



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ŘADICÍ VIDLIČKY MOTOCYKLU

MANUFACTURING OF A SHIFT FORK OF A MOTORCYCLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Oldřich Vysloužil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Oldřich Vysloužil
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Eva Peterková, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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

Výroba řadicí vidličky motocyklu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby vidličky řazení motocyklu JAWA. Tato tvarová součást bude vyráběna z plechu o tloušťce 3 mm pomocí sdruženého postupového nástroje. Pro výrobu budou navrženy vhodné technologie plošného tváření, jejichž princip bude popsán v úvodní části diplomové práce. Praktickým výstupem bude návrh postupu výroby zadané součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na zvolené technologie plošného tváření.
Návrh postupu výroby a provedení technologických a kontrolních výpočtů.
Volba vhodného stroje.
Návrh tvářecího nástroje pro výrobu zadané součásti.
Vlastní závěry.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce řeší návrh technologie výroby řadicí vidličky v převodovce motocyklu Jawa. Pro ohýbaný plechový dílec byl zvolen materiál 16MnCr5 (1.7131) o tloušťce 2,5 mm, který je následně tepelně zpracován. Jako nejvhodnější způsob výroby pro zadanou sérii 25 000 ks/rok byla zvolena metoda výroby ve sdruženém postupovém nástroji, která kombinuje stříhání a ohýbání. Pro zvolené tvářecí technologie byla vypracovaná krátká literární studie, která byla doplněna stanovením výrobního postupu. Pro vybraný postup byly provedeny výpočty, které byly zapotřebí pro ověření technologických podmínek například vyrobitelnosti součásti nebo pro zvolení stroje. Dle stanovené celkové tvářecí síly byl zvolen výstředníkový lis typu APA-60. Stroj je doplněn o zařízení, které umožňuje automatizaci výroby, jedná se o odvíjecí stojan na svitek pásu a krokový podavač. Na závěr je uveden popis a vizualizace nástroje.

Klíčová slova

plošné tváření, stříhání, ohýbání, sdružený postupový nástroj, ocel 1.7131

ABSTRACT

This master's thesis deals with the design of production technology of the shift fork in the gear box in a Jawa motorcycle. The 16MnCr5 (1.7131) basic material, with its thickness of 2.5 mm, was chosen for production of the bent sheet metal part, which is going to be subsequently heat treated. As the most suitable production method for the given series of 25,000 pcs. per year, was selected production method in the compound progressive tool, which combines shearing and bending. To select forming technologies, a short study of literature was made, which was supplemented by determination of the production process. The calculations, which were needed to verify the technological conditions, were made for the selected the manufacturing process of the part and also to select the machine. An APA-60 type eccentric press was chosen according to the determined total forming force. The machine is supplemented with a device that enable production automation, which is an unwinding stand for a scroll metal sheet and a step feeder. At the end, a description and visualization of the tool is presented.

Keywords

sheet metal forming, shearing, bending, progressive compound tool, steel 1.7131

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VYSLOUŽIL, Oldřich. *Výroba řadicí vidličky motocyklu* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149251>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba řadicí vidličky motocyklu vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....
místo, datum

.....
Oldřich Vysloužil

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Evě Peterkové Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za jejich podporu nejen v průběhu studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Druhy technologií výroby	11
2 LITERÁRNÍ STUDIE	16
2.1 Technologie stříhání	16
2.1.1 Střížná síla a práce	17
2.1.2 Střížná vůle	19
2.1.3 Kvalita střížné plochy	20
2.1.4 Těžiště střížných sil	21
2.1.5 Nástřihový plán.....	22
2.1.6 Technologičnost konstrukce výstřížků	23
2.1.7 Střížné nástroje	24
2.2 Technologie ohýbání	28
2.2.1 Princip ohýbání.....	28
2.2.2 Deformace průřezu, neutrální osa.....	28
2.2.3 Rozvinutý tvar součásti	30
2.2.4 Minimální a maximální poloměr ohybu	31
2.2.5 Odpružení po ohybu	32
2.2.6 Ohybová síla a práce.....	33
2.2.7 Technologičnost ohýbání.....	35
2.2.8 Ohýbací nástroje	36
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	39
3.1 Posouzení technologičnosti	39
3.2 Rozvinutý tvar součásti	40
3.3 Uspořádání výstřížků na plech	41
3.4 Varianty postupu výroby	44
3.4.1 Zhodnocení variant výroby.....	47
3.4.2 Výchozí polotovar	48
4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	49
4.1 Výpočty pro technologii stříhání	49
4.2 Výpočty pro technologii ohýbání	51
5 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE.....	54
5.1 Volba stroje	54
6 POPIS A FUNKCE NÁSTROJE	56
7 ZÁVĚR.....	60

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

V každodenním životě jsou lidé obklopeni věcmi, které mají určitý tvar a velikost. V odvětví strojírenství jsou to většinou funkční součástky, které mají různé využití a jsou vyráběny za pomoci správně určených výrobních postupů. Strojírenská technologie se rozděluje na oblasti obrábění, svařování, slévárenství a tváření, jenž je zařazeno mezi nejpoužívanější. [5]

Tváření se rozlišuje na plošné a objemové přetvoření materiálu, které je způsobeno vnějšími silami. Do plošného tváření se zařazují technologie jako jsou například ohýbání, stříhání a tažení. Objemové tváření zahrnuje technologie kování, válcování a protlačování. Proces tváření probíhá nad teplotou rekrystalizace (za tepla) nebo pod teplotou rekrystalizace (za studena). [6]

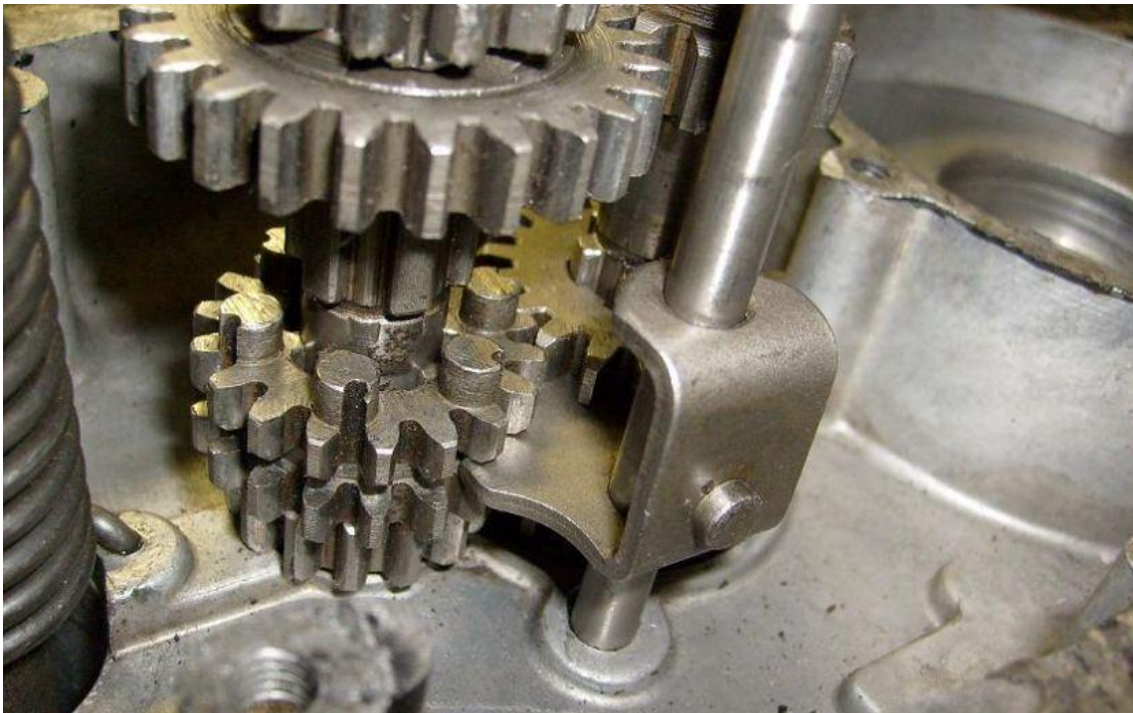
Plošné tváření má na trhu zásadní vliv a zastupuje široké množství výrobků. Jedná se především o plechové součásti, u kterých je nejprve zhotoven tvar a následně je proveden ohyb součásti nebo tažení atd. Na obr. 1 je možné vidět výrobky zhotovené plošným tvářením.



Obr. 1 Ukázka výrobků plošného tváření [1; 2; 3; 4]

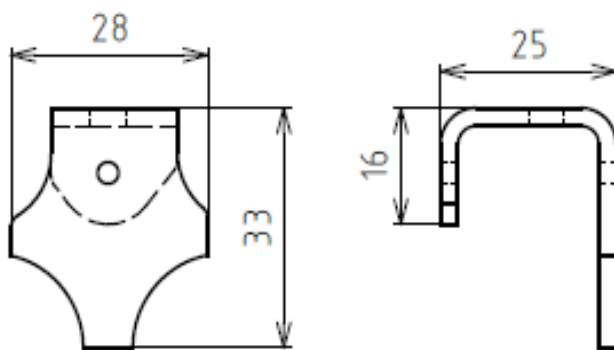
1 ROZBOR ZADÁNÍ

Uvedená diplomová práce se zabývá návrhem postupu výroby řadící vidličky tříступňové převodovky motocyklu Jawa 50 typ 20,21 a 23 lidově přezdívaný „pionýr“. Převodovka se skládá z hlavního a vedlejšího hřídele osazenými ozubenými koly, řadící vidličky, vodící hřídelky viz obr. 3. Řadící vidlička je určena ke změně převodového stupně a je uložena s vůlí na hřídelce, aby byl zajištěn volný posuv pomocí čepu, který se pohybuje v drážce kulisy řazení. Respektive přesouvají dvojici ozubených kol převodovky v axiálním směru na hlavní a vedlejší hřídeli a tím se mění převodový poměr. [7; 8]

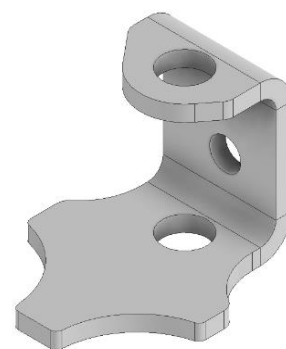


Obr. 2 Převodovka Jawa 50 [8]

Řešený díl je součást z plechu o tloušťce 2,5 mm znázorněna na obr. 5 a jsou na ní umístěny 3 otvory, dva protilehlé otvory jsou určeny pro hřídel a otvor na zadní straně je pro vodící čep. Součást je tvořena dvěma ohyby pod úhlem 90°. Jelikož je vidlička umístěna mezi rotujícími ozubenými koly, kdy při přerazení dochází ke krátkodobému kontaktu, bude nutné klást důraz na otěruvzdornost (cementováním nebo nitrídováním). Povrchovou úpravu materiálu jako je



Obr. 4 Základní rozměry vidličky



Obr. 3 Model vidličky

například zinkování, fosfátování, chromování atd. není nutné použít, protože vidličky se

nachází uvnitř bloku motoru spolu s převodovým olejem, který zabraňuje případné korozi. [9; 10]

Řadících vidliček existuje na trhu spousta, rozlišují dle tvaru, materiálu, tepelného zpracování, technologie výroby atd., ale směrodatná je konstrukce převodovky. Plechové vidličky se vyskytují u starších motocyklů převážně s nižším výkonem motoru například v dnešní době u modernějších motocyklů jsou většinou vidličky kované.



Obr. 5 Ukázka dalších vidliček [11; 12; 13]

Pro zhotovení součásti byl na základě vlastností zvolen materiál ocel s označením 16MnCr5 (1.7131) dle ČSN 14220 jedná se ušlechtilou mangan-chromovou ocel. Materiál je vhodný v žíhaném stavu k tváření za studena a k tepelnému zpracování. Dále je dobře obrobitelný a svařitelný. Je převážně používán pro středně namáhané díly strojů a vozidel. Následující tabulka mechanických vlastností je uvedena pro materiál ve stavu žíhaném na měkko. [14; 15]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 16MnCr5 [15].

Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tvrdoost [HV ₁₀]
440	250	max. 265

Tab. 2 Chemické složení oceli 16MnCr5 [14].

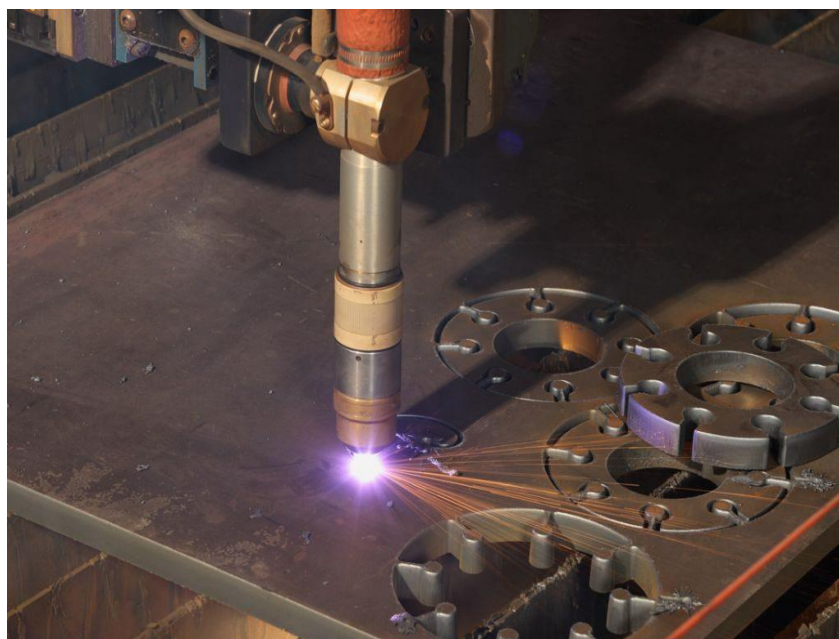
C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]
0,14 až 0,19	1,00 až 1,30	max. 0,40	0,80 až 1,10
Ni [%]	Cu [%]	P [%]	S [%]
-	max. 0,30	max. 0,035	max. 0,035

1.1 Druhy technologií výroby

K výrobě ohýbané plechové součásti je možné využít více způsobů technologií. Nejprve je zapotřebí zhotovit hlavní obrys rozvinutého tvaru s potřebnými otvory a následně vytvoření ohybů. Vhodnost technologie spočívá v požadavcích na přesnost rozměrů, ekonomickou výhodnost, případně nutné další opracování nebo práce na více strojích. Následně je možné vidět základní popis jednotlivých metod dělení materiálu a tváření materiálu (ohýbání).

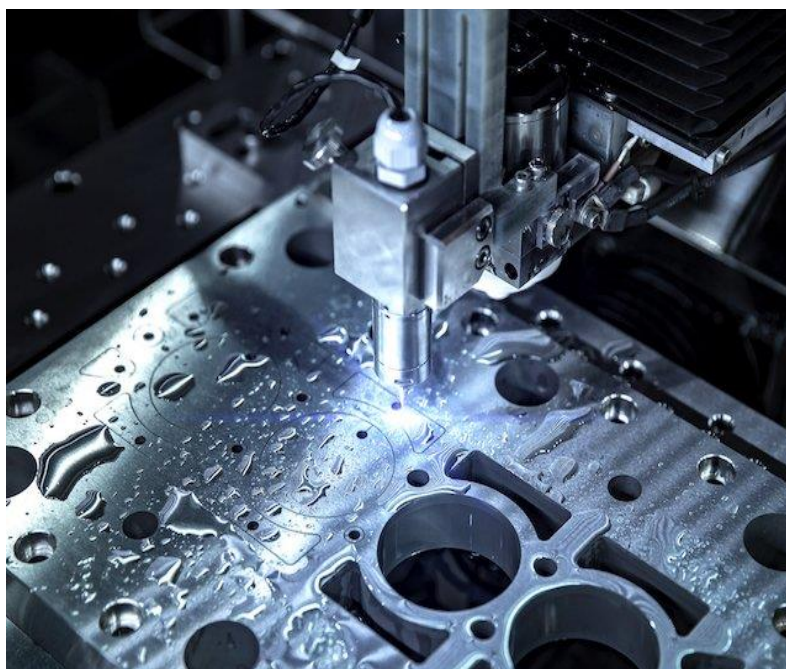
- Dělení plazmou – plazma je navenek elektricky neutrální plyn obsahující nabitě částice elektrony a ionty. Vzniká ionizací nebo disociací a produkuje úzký svazek o teplotě 8000-20000 K dle druhu plynu (vodík, dusík, argon a helium). Řezná rychlost je závislá na výkonu zdroje, vlastnostech děleného materiálu a plazmového plynu. Touto technologií se dělení provádí ručním i strojním hořákem, lze dělit všechny kovové

materiály a je možné dosáhnout oddělení materiálu v tloušťce až 250 mm. Výhoda plazmového řezání je snadná automatizace a mechanizace, relativně nízké pořizovací náklady například oproti laseru, ale na úkor horší kvality řezu. Dále je vhodné výpalky otryskat kvůli případné tvorbě návarků na spodní hraně. [17; 18]



Obr. 6 Ukázka plazmového řezání [16]

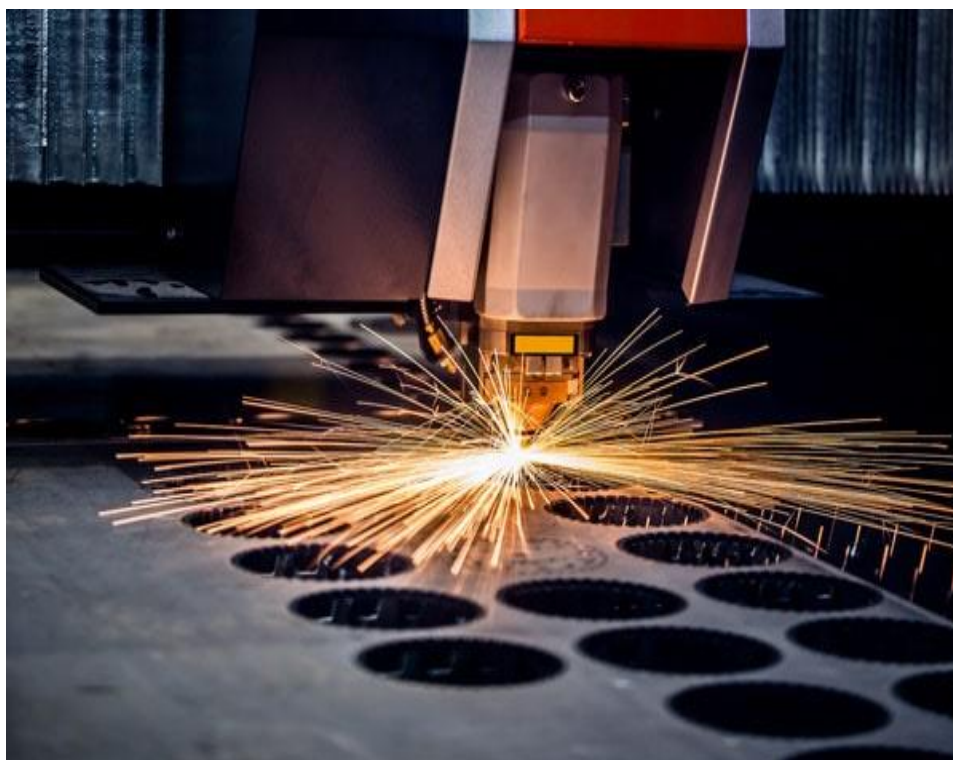
- Dělení vodním paprskem – technologie je založena na vysokotlakém proudění vody, které je usměrněováno dýzou do tenkého paprsku. Pracovní tlak se pohybuje mezi 50-400 MPa a lze řezat kovy do tloušťky 200 mm. Pro měkké materiály (plexisklo, lamináty, PVC folie atd.) se používá čistý vodní paprsek a při dělení ostatních materiálů (kovy, kámen, sklo) je nutné přidání abraziva, tudíž se jedná o tzv. hydroabrazivní řezání. Hlavní výhodou je nulové tepelné ovlivnění materiálu s vysokou čistotou řezu



Obr. 7 Ukázka dělení vodním paprskem [19]

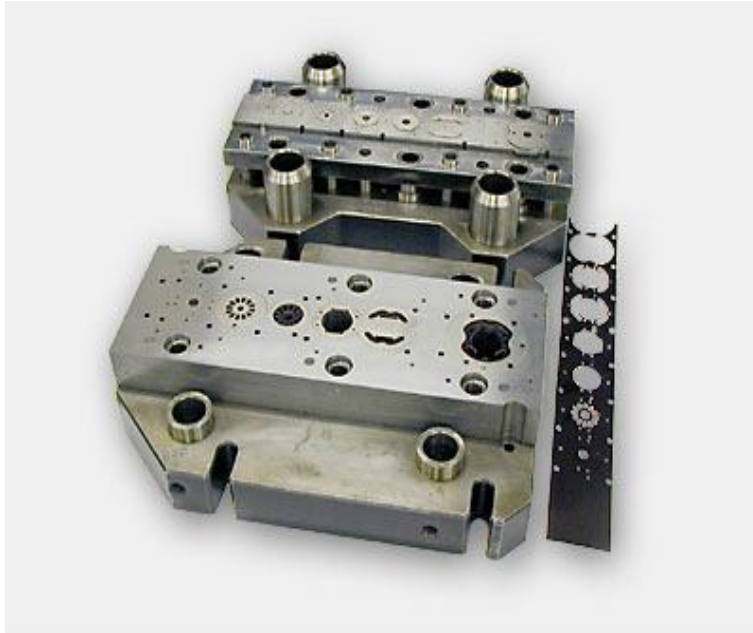
včetně hran. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady s provozem a nutnost ošetření materiálu proti korozi po řezném procesu. [19]

- Dělení laserem – technologie využívá zdroj energie, která dosahuje vysoké hustoty a je používán plyn nebo pevná látka. Laserový svazek je pomocí optiky zaostřen do místa materiálu a začne proces tavení a poté sublimace materiálu. Poté vzniká štěrba, ze které je zapotřebí vyfouknout nahromaděnou taveninu pomocí řezného plynu. Podle použití plynu je určena technologie řezu. Při použití dusíku se jedná o tavné řezání, kdy tavenina z řezu odchází tlakem plynu a při zvolení kyslíku je řezný proces oxidační, což znamená, že materiál částečně shoří při vyfukování. Metoda je vhodná pro tenké a střední plechy v tloušťce od 0,5 až 30 mm. Výhoda laseru v porovnání s plazmou je v rychlosti a kvalitě řezu, která je vyšší, jedná se tedy o produktivní technologii, která je vhodná jak pro kusovou výrobu, tak pro menší série. [20; 21]



Obr. 8 Ukázka laserového řezání [20]

- Postupové stříhání – stříhání je beztržková operace, která je prováděna za pomoci protilehlých nástrojů, které se nazývají střížník a střížnice a vytvářejí smykové napětí. Postup stříhání začíná pásmem elastické deformace, kdy střížník materiál ohýbá a vtlačuje do střížnice, dále nastává pásmo plastické deformace, kde je cílem překročení meze kluzu. Následně vznikají mikrotrhliny a proces je zakončen překročením meze pevnosti, kdy se docílí lomu materiálu. Při postupovém stříhání je výrobek zhotoven v několika krocích, kdy se svitek pásu postupně posouvá do jednotlivých sekcí stříhadla, které je možné vidět na obr. 10, kde se provádí vystřížení určitého tvaru nebo případně děrování otvoru. Proces lze snadno automatizovat a jedná se o velice produktivní výrobu. Počáteční náklady na výrobu nástroje vykompenzuje velkosériová výroba. Při požadavku na vysokou přesnost je tato metoda nevýhodná, ale vzhledem k rozšíření této technologie je přesnost pro většinu výrobků dostatečná. [22; 23; 24]



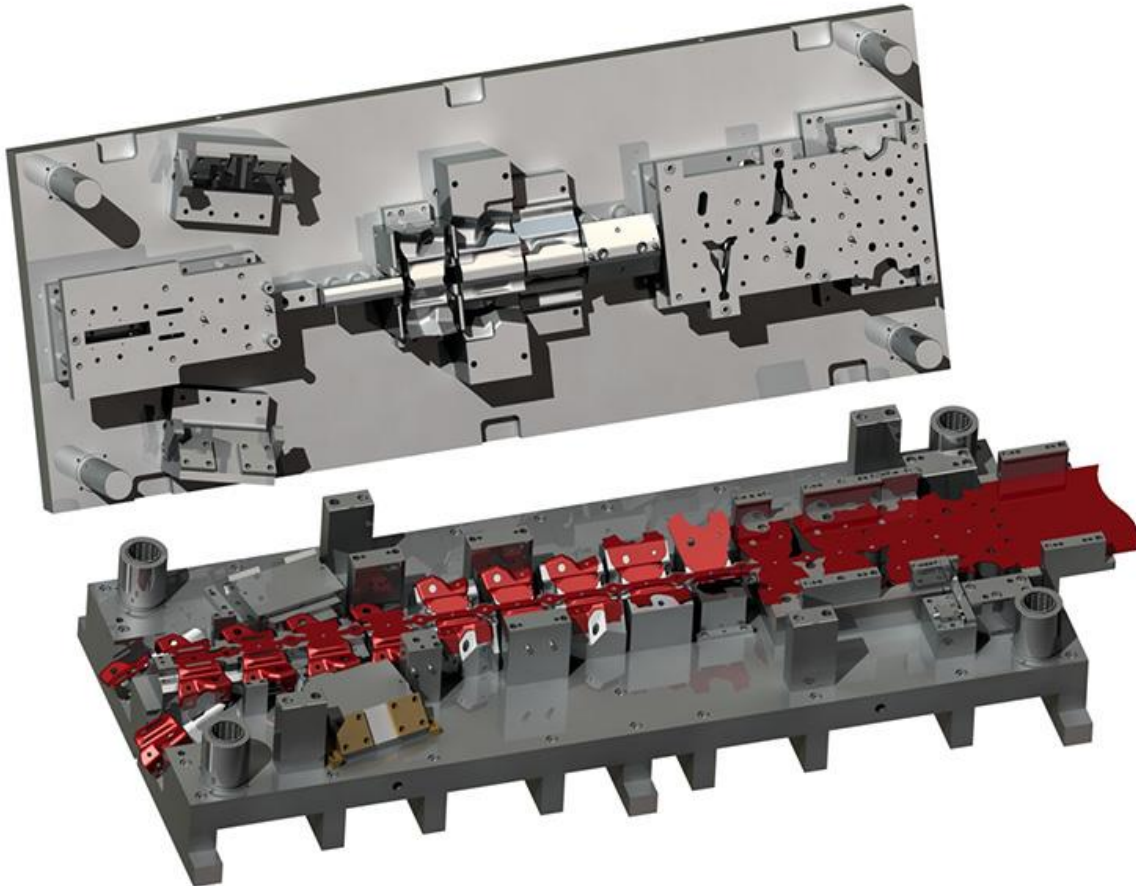
Obr. 10 Postupové stříhadlo [22]

- Ohýbání a ohraňování – technologie se zařazuje do plošného tváření, jelikož při procesu nedochází k významné změně průřezu materiálu při trvalé deformaci dílce-ohýbání do požadovaného tvaru. Technologii lze obecně rozlišit na ohyb do tvaru V a U, k ohýbání je využíváno nástroje zvaný ohybník, který působí ohybovou silou na materiál a vytváří ohybový moment. Dílec je podepřen matricí požadovaného tvaru a je situována proti ohybníku. Tvar matrice také charakterizuje, jestli se jedná o ohýbání volné nebo o technologii ražení. Při volném ohybu je materiál vtlačován do matrice, ale nedochází ke kontaktu se spodní stěnou, respektive se zápustkou. Jelikož je tvar matrice připomínající písmeno V, tak čím delší je dráha pohybu ohybníku, tím menší (ostřejší) úhel vzniká a následně je nutné počítat s odpružením materiálu při odtížení nástroje. Naopak u ražení je razník a matrice konstruována přesně podle požadovaného tvaru dílce. Je zapotřebí vyvinout vyšší tlak, který ustálí úhel na předepsané hodnotě, a tudíž je úplně eliminováno odpružení materiálu. Stroje používané k ohýbání (ohýbačky a ohraňovací lisy) jsou převážně hydraulické kvůli vyvinutí tlaku, ale mohou být i ruční nebo mechanické. [25; 26; 27]



Obr. 9 Technologie ohýbání [25]

- Sdružený postupový nástroj – z názvu je zřejmé, že se jedná o kombinaci více technologií umístěných v jednom nástroji. Především se využívá stříhání, děrování, ohýbání, tažení nebo lisování. Konstrukce nástroje umožňuje zhotovit více operací provedených v jednom kroku (na jeden zdvih lisu). Tato varianta vykazuje velkou výhodu v časové úspoře, která spočívá ve zhotovení součásti ideálně na jednom pracovišti a jedná se o vysoce produktivní metodu používanou ve velkosériové výrobě. Celý proces lze automatizovat do jedné výrobní linky, což zahrnuje podávání materiálu ze svitku plechu přes rovnačku až do postupového nástroje, a nakonec odštížení a skluz výrobku do místa, kde je dílec odebírán nebo shromažďován. [23; 24; 27]



Obr. 11 Sdružený postupový nástroj [28]

Zhodnocení vhodné technologie výroby bylo provedeno na základě konstrukce zadaného dílce, což zahrnuje hlavně požadavky na rozměry a přesnost. Dále je důležitá cena a produktivita výroby, kde je z ekonomického pohledu cílem výroba na co nejmenším počtu strojů a pracovních stanovišť, což souvisí i s počtem pracovníků obsluhy. Z hlediska charakteristiky výše uvedených metod se jako nejvhodnější technologie nabízí sdružený postupový nástroj. Při porovnání výhod a nevýhod jednotlivých postupů se jednoznačně prokazuje jako nejvhodnější i přes menší výrobní sérii, jelikož cenové náklady na sdružený postupový nástroj jsou vzhledem k ostatním metodám menší.

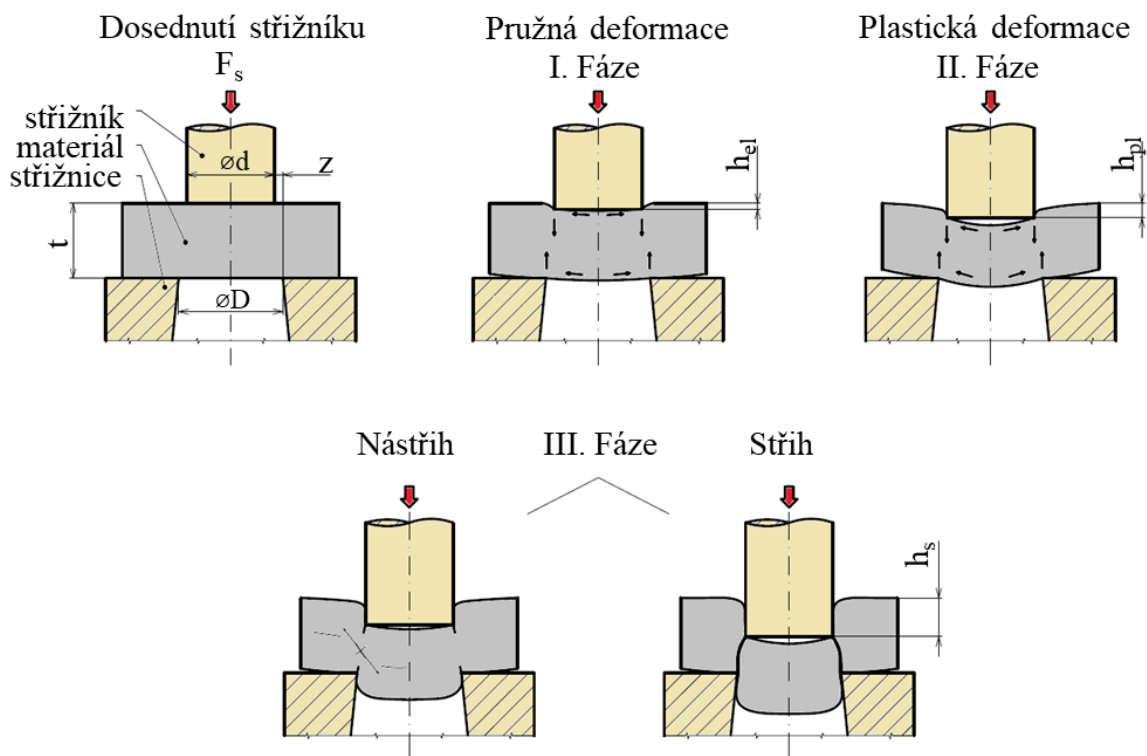
2 LITERÁRNÍ STUDIE

Zaměření této diplomové práce spočívá ve zvolení vhodného technologického postupu pro výrobu řadicí vidličky motocyklu. V předchozí kapitole byly stručně nastíněny možné technologie výroby, ze kterých byla zvolena kombinace stříhání a ohýbání v jednom nástroji, tedy ve sdruženém postupovém nástroji. Následně budou v dalších kapitolách důkladně rozebrány tyto zvolené technologie (stříhání a ohýbání) a jejich problematika.

2.1 Technologie stříhání

Stříhání je beztržková technologie, která se zařazuje mezi nejrozšířenější tvářecí operace využívané především u zpracování plechů a svitků plechových pásů, kdy se zhotoví finální výrobek, nebo polotovar určený k dalším operacím, jako je například ohýbání, tažení atd. Metodou stříhání lze rozřadit na další kategorie, například přistřihování, děrování, vystřihování a přesné stříhání. Proces probíhá převážně za studena, v případě tlustých a tvrdých materiálů je prováděno za tepla (cca 700 °C). Stříhání plechů je možné provádět ručně (ruční nůžky, pákové nůžky) nebo strojně (hydraulické lisy). Kvalita stříhu, respektive výsledná jakost povrchu střížné plochy je doprovázena a ovlivňována mnoha faktory (velikost střížné vřve, stav nástroje, vlastnosti materiálu atd.). [30; 31; 32]

Princip stříhání součástí ve střížných nástrojích spočívá v působení dvou hlavních funkčních částí nástroje, a to střížníku a střížnice. Tyto komponenty jsou situovány proti sobě a pohybem střížníku směrem dolů je vyvozován silový účinek od břitů střížníku a střížnice na materiál, který je podepřen pevnou střížnicí. Tímto silovým působením je vytvářeno v materiálu smykové napětí, které má za následek porušení soudržnosti materiálu a následné oddělení materiálu (vznik výstřížku). Na obr. 12 je možné vidět schéma procesu stříhání, který je rozdělen na 3 důležité fáze. [29; 33; 34]



Obr. 12 Střížné fáze [29]

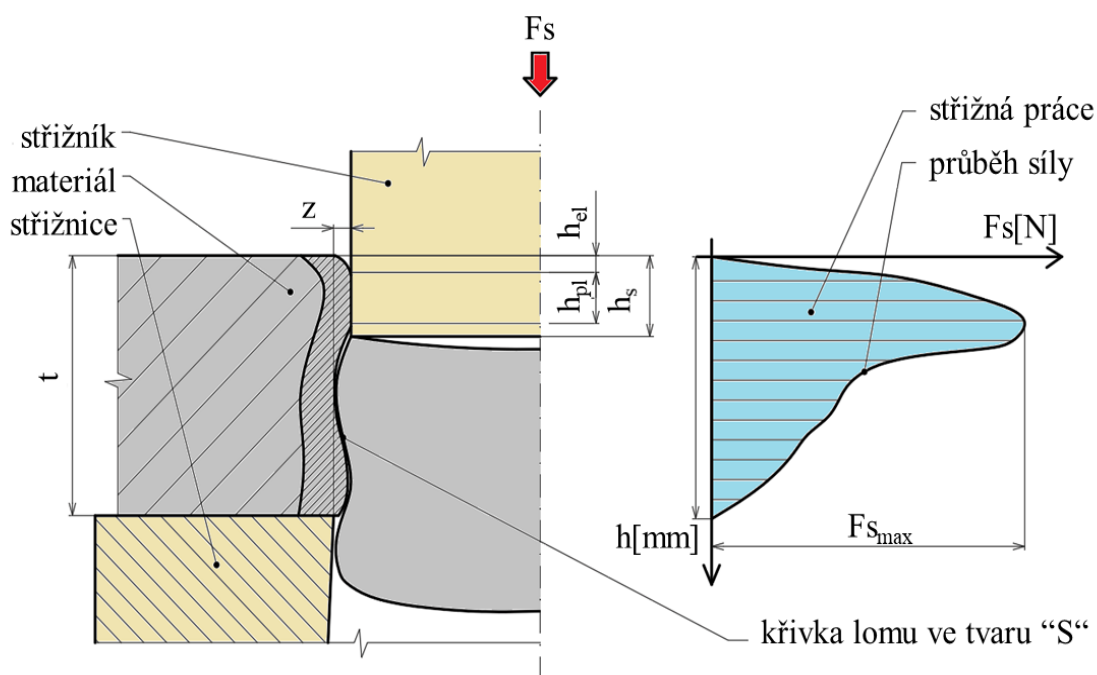
Zahájením celého procesu je přibližování střížníku a následné dosednutí čela střížníku na plech. V tomto okamžiku začíná první fáze, při které dochází k vtlačování střížníku do materiálu a tím se generuje smykové napětí, jehož hodnota nepřekračuje napětí meze kluzu (plechového dílce) a materiál je tedy namáhán v oblasti elastické deformace. Velikost dráhy střížníku od dosednutí na materiál až po hloubku elastického vniknutí h_{el} je závislá na materiálové charakteristice a udává se v rozmezí 5 – 8 % tloušťky plechu. Jelikož průřez střížníku je rozměrově menší než otvor ve střížnici, vzniká mezi nimi tzv. střížná vůle, která má za následek, že materiál je namáhán i ohybem. [29; 34]

Druhá fáze nastává při překročení meze kluzu a dochází k nevratnému ději v oblasti plastické deformace. Vlastnosti materiálu opět ovlivňují hloubku vniku h_{pl} a hodnota v této fázi dosahuje okolo 10-25 % tloušťky plechu. Hodnoty napětí se postupně přibližují k mezi pevnosti materiálu. [29; 30; 33; 34]

Třetí fáze je zahájena právě překročením meze pevnosti ve smyku. V místě působení střížných hran nástroje postupně vznikají mikroskopické trhliny, které je možné vidět v první části třetí fáze na schématu viz obr. 13. Následuje rozšíření a zvětšení trhlín, a nakonec lom materiálu. Rychlost šíření trhliny v poslední fázi stříhu je závislá primárně na vlastnostech materiálu (tvrdost a houževnatost) a velikosti střížné vůle. Měkké a houževnaté materiály odolávají déle napětí a je zapotřebí vykonání delší dráhy nástroje (střížníku) než dojde k lomu. Zatím co u křehkého a tvrdého materiálu nastává lom na počátku rozmezí hodnot h_s (10 – 60% tloušťky materiálu). [29;30; 33; 34]

2.1.1 Střížná síla a práce

Střížná síla je důležitým faktorem k dosažení správného technologického postupu v oblasti stříhání. Je ukazatelem parametrů, na kterých je závislá volba stroje (lisu). Špatné zvolení stroje pravděpodobně bude mít vliv na kvalitu střížné plochy, případně může dojít k poškození samotného stroje nebo nástroje. Při procesu se střížná síla mění a její průběh je znázorněn na obr. 13. [29; 33; 34]



Obr. 13 Průběh střížné síly [29]

V oblasti elastické a plastické deformace (h_{el} , h_{pl}) síla roste, než dosáhne meze pevnosti materiálu. Při tvorbě mikrotrhlin a lomu síla prudce poklesne a poté pozvolně klesá současně se třením střížných ploch o sebe (na tření se výrazně podílí plocha lomu ve tvaru „S“). Stříhání houževnatých a křehkých materiálu také ovlivňuje střížnou sílu. Křehké materiály se poruší obvykle dříve, na rozdíl od houževnatých materiálu, kde je zapotřebí hlubší vniknutí střížníku. U houževnatých materiálů vzniká deformační zpevnění v oblasti plastické deformace, a tím je způsoben růst střížného odporu, což vede k potřebě zvětšení síly. [29; 33; 34]

Střížné podmínky ve skutečnosti uvažují zvětšení síly o 20-50 % z důvodu kombinovaného namáhání, jelikož nedochází jen k čistému smyku, ale i k ohybu. Stejně tak kvalita střížných hran (otupení břitů) a tloušťka materiálu se opět podílí na zvýšení síly. [30; 34]

Naopak snížení střížné síly je možné dosáhnout úpravou tvaru břitu, například zkosením pod určitým úhlem. Další varianta je použití technologie postupového stříhání, kdy je možné použití délkově odstupňovaných střížníků, kdy velkoplošné střížníky jsou kratší než ty s menšími pružky a v daném zdvihu tedy začínají stříhat později. Tím se rozloží síla do dvou kroků a v daném okamžiku tedy není celková. Velikost síly F_s se určí dle následujícího vztahu [30; 32; 33; 34]:

$$F_s = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s, \quad (2.1)$$

kde: K – koeficient otupení břitu a nerovnoměrnosti tloušťky plechu (1,1 až 1,3) [-],
 S – střížná plocha [mm^2],
 τ_s – střížný odpor [MPa],
 t – tloušťka materiálu [mm],
 l – délka stříhu [mm].

K výpočtu střížné síly je zapotřebí veličina τ_s , což je střížný odpor. Střížný deformační odpor je mechanická vlastnost materiálu odolávat vnikání cizího tělesa (střížníku) do materiálu a následnému porušení soudržnosti materiálu (stříhu). Střížný odpor je závislý na faktorech jako je pevnost a tvárnost materiálu, tloušťka stříhaného plechu, velikosti střížné vůle atd. Určení střížného odporu τ_s pro ocel je pomocí následujícího vztahu [31; 34]:

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m, \quad (2.2)$$

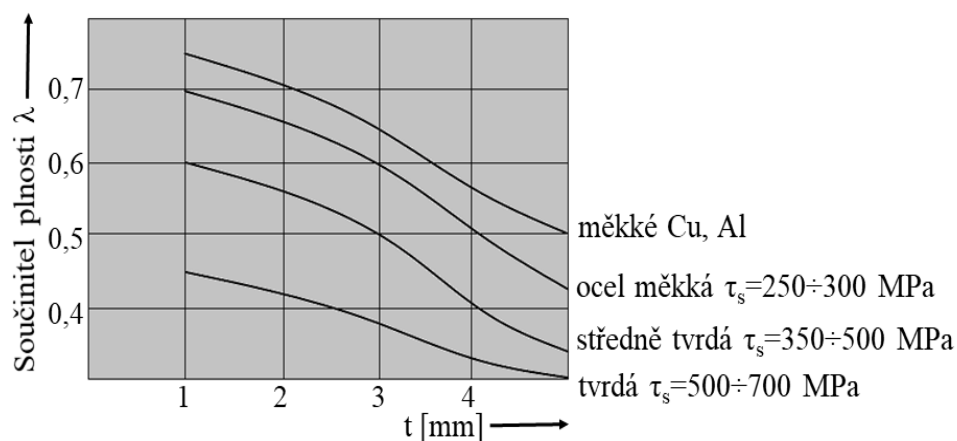
kde: R_m – mez pevnosti [MPa].

Střížná síla je hlavní faktor pro volbu stroje, která je ale doprovázena dalšími silami, které se nazývají stírací a protlačovací síla. Stírací síla zabraňuje ulpívání stříhaného materiálu na povrchu střížníku vlivem přítomné pružné deformace materiálu. Faktory ovlivňující její velikost jsou střížná vůle, tvarová složitost stříhu, tloušťka materiálu a případné použití maziva (lubrikace nástroje prodlužuje mimo jiné i životnost střížné hrany). Velikost stírací síly je 2 – 20 % F_s . Protlačovací síla je potřebná k protlačení ustríženého výstřížku či odpad skrze zbytek tloušťky plechu, neboť ke stříhu (lomu) dochází dříve, než střížník projede celou tloušťkou, a také skrze fazetku otvoru ve střížnici. Protlačovací síla dosahuje hodnot v rozmezí 1 – 8 % F_s . Celková střížná síla potřebná ke správné volbě stroje se zvyšuje síla střížná o 10-20 % vlivem síly stírací a protlačovací. [29; 31]

Průběh střížné síly viz obrázek 13 udává důležitou veličinu, která se nazývá střížná práce (energie potřebná k procesu stříhání). Střížná práce A_s je dána obsahem plochy, kterou vymezuje osa dráhy střížníku h a křivka průběhu síly. Střížnou práci A_s lze vypočítat pomocí vztahu [31; 34]:

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot t, \quad (2.3)$$

kde: λ – součinitel plnosti viz graf an obr. 15 [-],
 t – tloušťka materiálu [mm].



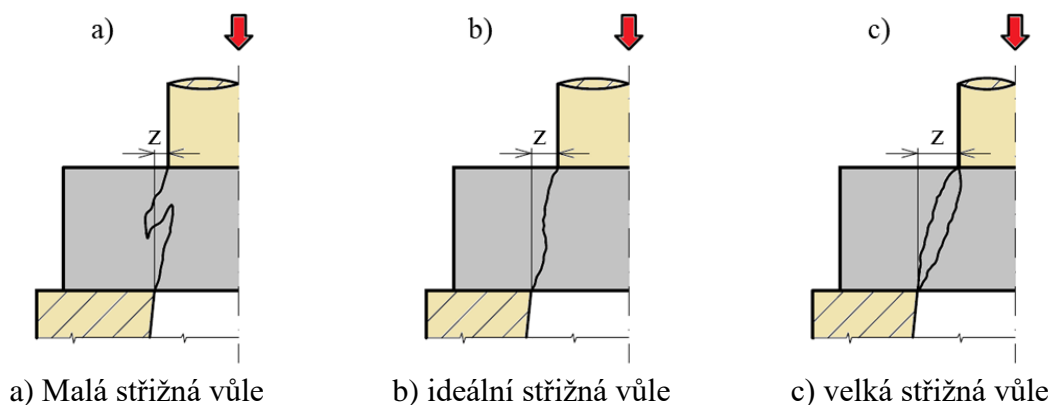
Obr. 14 Graf součinitele plošnosti [29]

2.1.2 Střížná vůle

Podstatnou veličinou u technologie stříhání je střížná vůle. Jedná se o parametr závislý především na tloušťce materiálu, například při zvyšující se tloušťce materiálu se zvětšuje střížná vůle). Polovina střížné vůle je nazývána střížnou mezerou, která vymezuje jednostrannou vzdálenost mezi střížníkem a střížnicí. [30]

Velikost střížné vůle, respektive mezery, by měla být ideálně v celém obvodu stříhu konstantní z důvodu dosažení co nejkvalitnější střížné plochy. Při proměnné velikosti mezery mohou vznikat povrchové vady, ostřiny a střížná plocha bude pravděpodobně nestejnorodá. Střížná vůle má mimo jiné vliv i na střížnou sílu, práci a životnost nástroje. Při velké vůli je větší namáhání výstřížku na ohyb, což přispívá k snížení střížné síly a prodloužení životnosti nástroje, ale kvalita střížné plochy se výrazně zhoršuje. Nevýhoda působení většího ohybového momentu je, že materiál je vtačován do otvoru střížnice a značně prohýbán. Výstřížek pak má velmi malou rovinnost. [30; 34]

Jak je možné vidět na obr. 15, když je zvolena malá nebo velká vůle (mezera), tak trhlinka iniciovaná střížníkem a střížnicí se prvotně nespojí. Ideální průběh křivky stříhu (jak již bylo zmíněno dříve) má tvar připomínající písmeno „S“, trhlinky se spojí a výsledná střížná plocha je bez ořepů a dalších vad, viz obr. 15 varianta b). Cílem ideální střížné vůle je dosažení



Obr. 15 Střížné vůle [29]

požadované kvality a přesnosti povrchu plochy, při které je zapotřebí co nejmenší velikost síly. [29]

Ve střížném procesu je cílem zhotovení stříhu po vnější kontuře výstřížku (vystříhování) nebo po vnitřní (děrování) a střížná vůle je zvolena na úkor střížníku nebo střížnice. Při požadavku na vnější rozměry tvaru výstřížku je nutné zvolit zmenšení střížníku, naopak u děrování je vůle stanovena na úkor rozměru střížnice. [30]

Stanovení střížné vůle je závislé na tloušťce plechu a vlastnostech materiálu (především na mezi pevnosti). Je možné ji určit z tabulek bez ohledu na charakteristiku materiálu nebo výpočtem ze vzorce, který rozlišuje tloušťku materiálu menší nebo větší než 3 mm. V první variantě (materiál do tloušťky 3 mm) platí pro výpočet vůle v vztah [30; 34]:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.4)$$

Vzorec vhodný pro tloušťku materiálu, která překračuje hodnotu 3 mm:

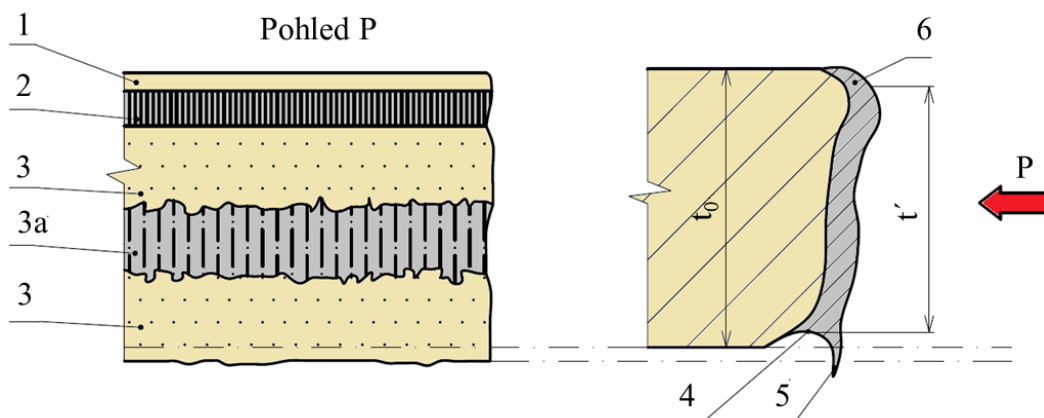
$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.5)$$

kde: z – střížná mezera [mm],
 c – součinitel stupně stříhu (kvality střížné plochy), volí se 0,005-0,025 [-],
 t – tloušťka materiálu [mm],
 τ_s – střížný odpor [MPa].

2.1.3 Kvalita střížné plochy

Výsledná kvalita střížné plochy, která je po dokončení stříhu nepatrně zkosená (křivka tvaru „S“) je ovlivněna především stavem nástroje, vlastnostmi materiálu a střížnou vůlí. Stav střížné hrany nástroje především způsobuje vznik ostřin, které vznikají při stříhání téměř vždy a lze pouze zmírnit jejich velikost nikoliv je úplně eliminovat. [29; 32]

Střížná plocha vykazuje několik pásem, viz obr. 17, které mají rozdílný charakter a různé



- 1) – pásmo zaoblení, 2) – pásmo vlastního stříhu, 3) – pásmo utržení, 3a) – pásmo otěru,
 4) – otláčení od střížné hrany, 5) – otřep, 6) – zpevněná oblast

Obr. 16 Kvalita střížné plochy [29]

drsnosti povrchu. První pásmo je oblast pružné deformace a nazývá se pásmo zeslabení nebo zaoblení hrany (velikost oblasti odpovídá 5 – 8% tloušťky materiálu). Velikost zaoblení je dána houževnatostí materiálu a velikostí střížné vůle (čím více houževnatý materiál a zvětšující se vůle, tím větší zaoblení nastává). Druhá část je oblast plastické deformace, kde dochází k tzv. plastickému stříhu a hloubka vniknutí střížníku je v rozmezí 10 – 25% tloušťky materiálu.

V této oblasti je střižná plocha nejkvalitnější a nejpřesnější. Třetí oblast je pásmo lomu (utržení materiálu), je to největší oblast a drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí hodnot $R_a = 3,2 - 6,3$. Jelikož tvar střižné plochy je tvořen „S“ křivkou, tak příčinou toho vzniká uprostřed pásma oblast otěru (3a) od tření plochy výstřižku a plochy stříhaného plechu o sebe. Spodní oblast je pásmo otačení, které je vyznačováno vznikem ostrin. Jak již bylo zmíněno výše, tak vznik ostrin a jejich velikost ovlivňuje nejen střižná hrana, ale i vlastnosti materiálu. Tvrdé materiály mají menší ostriny oproti houževnatým, jelikož nedochází k velkému otačení od střižné hrany střižnice. Vtisk břitů je možné vidět na obrázku č.17. Oblast č. 6 je příčinou deformování materiálu v celém průběhu stříhu, a to má za důsledek zpevnění materiálu (zpevnění je výraznější zejména u měkkých materiálů). Zpevněné pásmo má vyšší mechanické vlastnosti (mez kluzu a mez pevnosti), které lze případně odstranit například žiháním. [29; 31; 32]

2.1.4 Těžiště střižných sil

Při postupovém stříhání je běžně používáno současně několik střižníků a je velice důležité dbát na hlavní podmínku, že poloha výslednice střižných sil musí působit v ose tvářecího nástroje. Při nedodržení polohy výslednice sil a působením mimo osu lisu by vzniklo zatížení tzv. klopným momentem beranu. Zásadně by byla ovlivněna životnost nástroje, případně beranu lisu a pravděpodobně i přesnost výstřižku. [36]

Zjištění polohy těžiště je možné provést graficky nebo výpočtem. Grafický způsob se v současnosti moc nepoužívá z důvodu existence výpočetních a konstrukčních programů, kde lze snadno a přesně určit polohu těžiště. Výpočetní metoda spočívá ve využití podmínky rovnováhy momentů sil, která je uvedena ve vztahu viz 2.5 a 2.6 a spočívá ve zjištění polohy těžiště od osy x a y. Vzdálenost polohy těžiště na ose x se zjistí podle následujícího vztahu [36]:

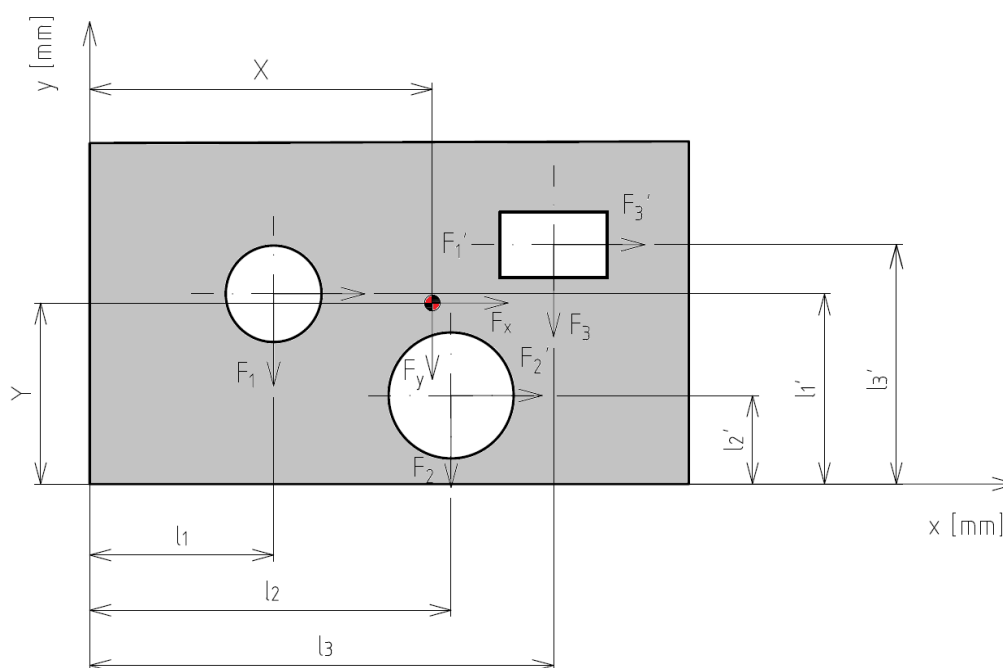
$$F_x \cdot X = F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3, \quad (2.6)$$

kde: X – vzdálenost polohy těžiště od osy [mm],

F_x – součet dílčích sil [N],

F_i – dílčí střižná síla [N],

l_i – vzdálenost dílčí síly od osy [mm].



Obr. 17 Schéma těžiště střižných sil [36]

Vzdálenost polohy těžiště na ose y se zjistí podle následujícího vztahu:

$$F_y \cdot Y = F'_1 \cdot l'_1 + F'_2 \cdot l'_2 + F'_3 \cdot l'_3, \quad (2.7)$$

kde: Y – vzdálenost polohy těžiště od osy [mm],

F_y – součet dílčích sil [N],

F'_i – dílčí střížná síla [N],

l'_i – vzdálenost dílčí síly od osy [mm].

2.1.5 Nástříhový plán

Požadovaný výstřížek má určitou velikost a tvarovou složitost. Je velice důležité co nejvíce minimalizovat odpadní materiál z důvodu finančních nákladů (výdaje na materiál tvoří cca 60-80 % nákladů) a s tím úzce souvisí rozmístění výstřížku na plech (vytvoření nástříhového plánu). U malé série odpad nehraje tak významnou roli jako u velkých sériích, kde představuje významnější podíl než ostatní vstupy. Plech je dodáván v několika velikostních formátech nebo ve svitku pásu, využití materiálu z hlediska tabule nebo svitku je ve prospěch svitku o cca 5 % hospodárnější. [34; 37]

Stupeň využití materiálu v nástříhovém plánu ovlivňuje primárně tvar výstřížku a následně velikost tzv. můstků, což je přepážka mezi jednotlivými výstřížky a přídavek materiálu na okraje pásu. Cílem je dosáhnout co nejmenší velikosti můstků a co „nejtěsnějšího“ uspořádání výstřížků a stupeň využití η by měl přesahovat 60 % z ekonomického hlediska. Výpočet η se provádí dle následujícího vztahu [34; 37]:

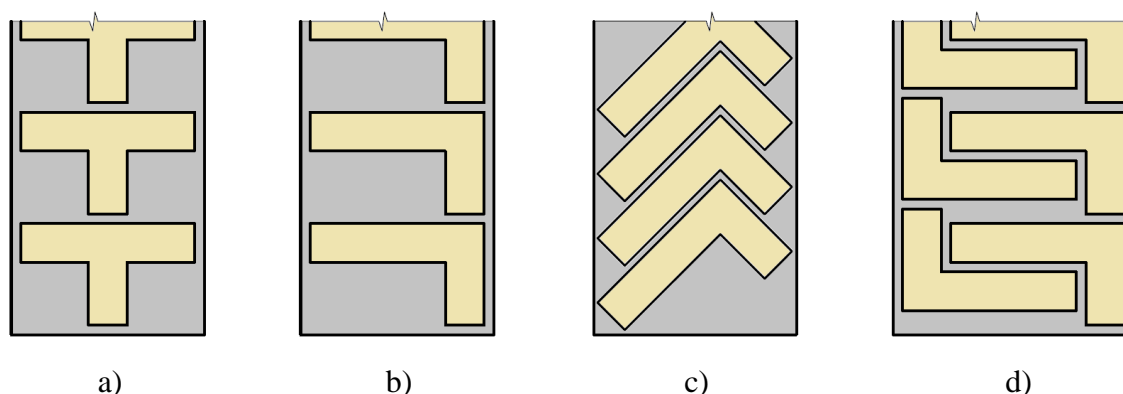
$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100, \quad (2.8)$$

kde: n_v – počet výstřížků na pásu [ks],

S_v – plocha výstřížku [mm²],

S_{sv} – plocha pásů [mm²].

Příklad využití materiálu je možné vidět na následujícím schématu viz obrázek 19, kdy v první variantě se jedná o nevhodný tvar výstřížku. Druhá varianta zobrazuje vhodnější tvar, ale nesprávné rozložení výstřížku a třetí varianta vykazuje optimální uspořádání výstřížku na pásu. Ve čtvrté variantě je sice největší využití materiálu, ale nevýhodou je potřeba dalšího střížníku (složitější konstrukce nástroje). [31]



Obr. 18 Možné varianty rozmístění [31]

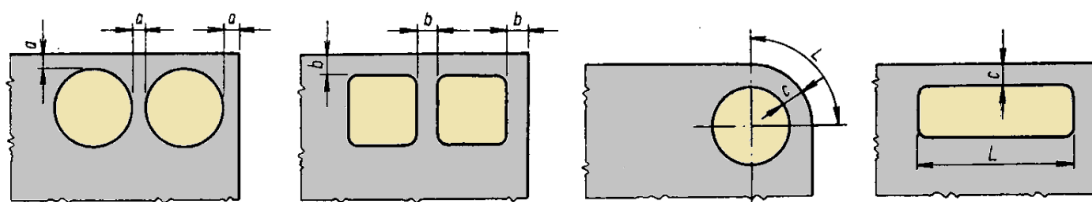
2.1.6 Technologičnost konstrukce výstřižků

Při navrhování celého střížného procesu je hlavním cílem zhotovit co nejlepší technologický postup (co nejnižší náklady, kvalita a funkčnost výstřižku atd.), který ale není možné dosáhnout, pokud se nezahrnou určité podmínky. Respektování pravidel a faktů jako je například nedokonalost technologie stříhání, vlastnosti materiálu, tloušťka materiálu, konstrukční jednoduchost výrobku atd. je uvedeno a shrnuto v následujících bodech:

- Kvalita střížné plochy – drsnost povrchu vzniklá lomem je ovlivněna houževnatostí.
- Kolmost střížné plochy – vlivem střížné vůle dochází k zešikmení střížné plochy, které ovlivňuje opotřebení střížného nástroje.
- Zaoblení hrany – podél roviny stříhu dochází ke ztenčení tloušťky materiálu.
- Zpevnění materiálu – hloubka deformačního zpevnění dosahuje $10 \div 20$ % tloušťky materiálu.
- Přesnost výstřižku – změna rozměru nastává především opotřebením nástroje.
- Prohnutí výstřižku – vlivem působením střížných sil vzniká ohybový moment.

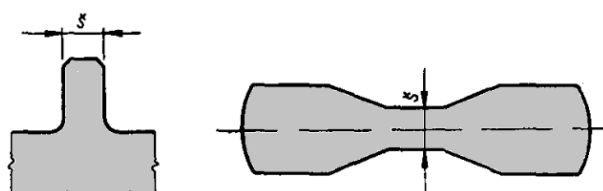
Výše uvedené zásady stanovují následující pravidla:

- Vhodné zvolení rozměrových tolerancí – nepřekračovat mez dosažitelných tolerancí při stříhání (běžná přesnost výstřižků nepřekračující rozměr 150 mm se pohybuje v toleranci IT12 – IT14).
- Střížná plocha součásti – nestanovovat její drsnost (obvykle dosahuje $R_a = 3,2 - 6,3$) ani kolmost k ploše plechu, pokud není funkční plochou.
- Minimální rozměr otvorů – nejmenší zhotovitelný průměr otvoru nebo šířka obdélníkového otvoru je závislá na tloušťce materiálu a vlastnostech materiálu (u měkké oceli se udává cca $\varnothing 0,8$ mm a šířka obdélníkového otvoru 0,6 mm).
- Tvar otvoru – nejvhodnější pro vystřihování je kruhový otvor.
- Vzdálenost výstřižků – rozmístění výstřižků mezi sebou nebo od kraje pásu jsou stanoveny hodnotami $a \geq 0,8 \cdot t$, $b \geq t$, $c \geq 1,5 \cdot t$ (pro polotvrde plechy, u měkkých je zapotřebí zvýšit hodnoty o cca 25 %). Schéma, ke kterým se vztahují tyto parametry je zobrazeno viz na obr. 19.



Obr. 19 Minimální vzdálenost otvorů [38]

- Minimální šířka výstřižku – tenké výčnělky nebo štihlejší části výstřižku jsou stanoveny dle hodnoty $s = 1,5 \cdot t$, viz obr. 20.



Obr. 20 Minimální šířka úzkých částí [38]

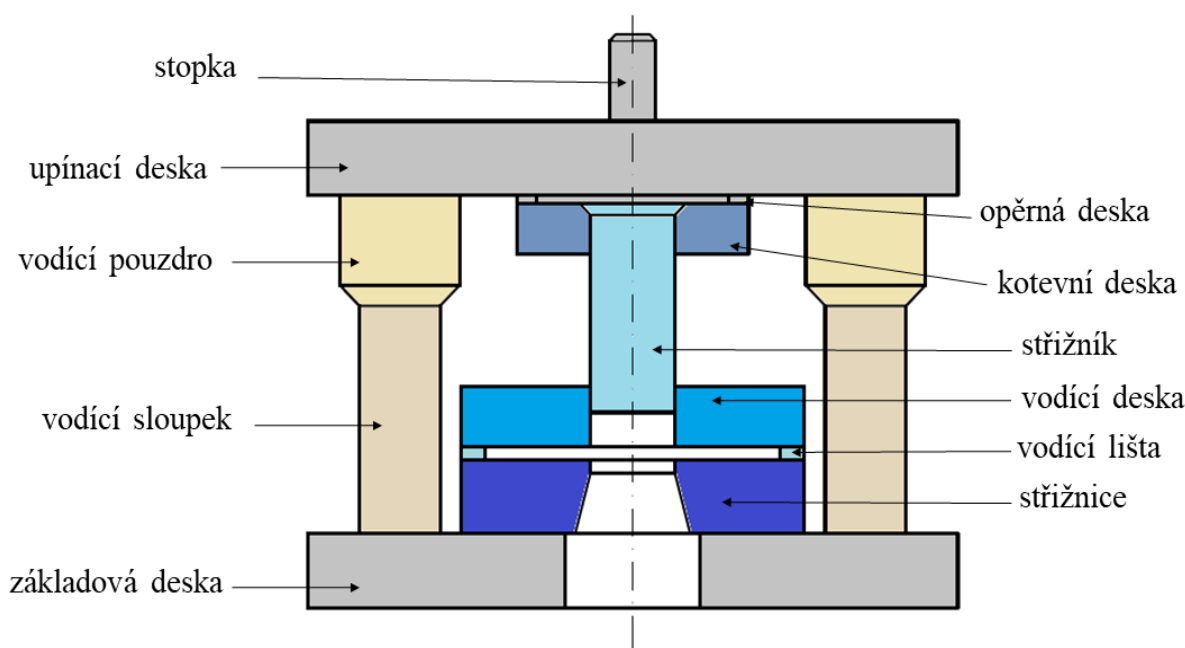
- Rohy výstřížku – pokud je požadován ostrý roh, je nutné zhotovení na dvě operace, v jiném případě je nutné zaoblení nebo sražení pod úhlem 45°.
- Tvar výstřížku – střídání velikosti poloměrů zaoblení vnějších a vnitřních rohů není vhodné. Plynulé přechody z oblouku do rovné části prodražují nástroj. Nejvhodnější tvar výstřížku je ten, jehož protilehlé strany do sebe zapadají (pozitiv a negativ). Kruhové výstřížky jsou méně vhodné (ideálně upravit do tvaru připomínající rovnostranný trojúhelník), jelikož využití materiálu je cca 60 % a za ekonomické se považuje více jak 70% využití materiálu. Čím jednodušší tvar výstřížku, tím levnější je nástroj (rozvětvené výstřížky jsou nevhodné). [37; 38]

2.1.7 Střížné nástroje

Střížný nástroj představují dva hlavní prvky, které se nazývají střížník a střížnice. Jsou situovány funkčními hranami proti sobě. Střížné nástroje se dělí dle účelu využití na:

- Jednoduché – výroba součástí na jednu operaci s převážně s jedním střížníkem.
- Postupové – složitější nástroj obsahující sestavu více střížníků, kdy je zpravidla součást vystříhována na několik kroků.
- Sdružené – jedná se o složitý nástroj, který kombinuje více technologií, nejčastěji je postupovým stříháním a následně ohybem, tažením atd.

Konstrukce střížných nástrojů může být nevedená nebo vedená. Vedením nástroje jsou rozuměny vodící sloupky a pouzdra. Nevedený nástroj tyto součásti neobsahuje a vedení je zajištěno pomocí beranu lisu, kdy celá přesnost stříhu se odvíjí od stavu nástroje (vůle na beranu). U vedených nástrojů se dosahuje vyšších přesností a nástroje jsou dražší. [31;33; 36]



Obr. 21 Schéma střížného nástroje [36]

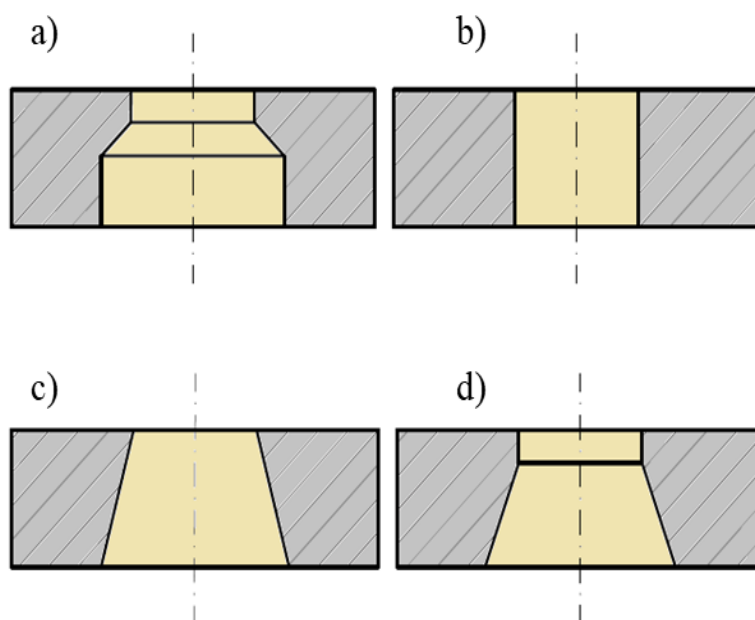
Sestava nástroje viz obr. 21 obsahuje spodní základovou desku, na které jsou umístěny střížnice, vodící lišty a vodící deska. Spodní část a horní část nástroje spojují vodící sloupky umístěny na spodní desce a vodící pouzdra na horní desce. Horní upínací deska je připevněna ke stopce, která zajišťuje upnutí do beranu lisu. Dále je na horní desce upevněna kotevní deska obsahující střížníky.[36]

První ze dvou činných částí je střížnice, jenž představuje nepohyblivou část nástroje, která je umístěna na základní desce. Jedná se o nejdražší část střížného nástroje, jelikož jejich střížný otvor vyžaduje přesné zpracování a většinou jsou to komplikované tvary. Hlavní rozdělení střížnic je dle jejich konstrukce:

- Celistvé – jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu, převážně jde o menší velikosti střížnic a jednoduché konstrukce. Z důvodu opotřebení nástroje je vhodné využití v menších sériích.
- Skládané – střížnice obsahuje sestavu segmentů, které jsou přišroubovány do nebo nalisovány do opěrné desky nástroje. Jsou vhodné u větších a složitějších nástrojů z důvodu vyrobitelnosti složitějšího tvaru střížnice. Výroba jednotlivých segmentů může být broušením, což je podstatně levnější než výroba celistvé střížnice například elektroerozivním obráběním.
- Vložkové – jsou podobné skládaným střížnicím, hlavní výhodou spočívá ve snadné vyměnitelnosti funkčních částí střížnice. Vložka je vyrobena většinou ze slinutého karbidu nebo z nástrojové oceli, použitím vložek tedy dochází k úspoře legovaných materiálů i nákladů na výrobu střížnice. Jsou vhodné pro velké a složité nástroje a velkosériovou výrobu. [36; 39]

Střížný proces ovlivňuje také geometrie nástroje, respektive tvar plochy pod střížnou hranou. Tyto různé plochy jsou zobrazeny obr. 22 a rozdělení je následující:

- Válcová plocha – vhodná pro použití s vyhazovačem.
- Válcová s rozšířením – používána pro prostřihování malých otvorů.
- Kónická plocha – pro menší dílce a dosahuje se střední přesnosti.
- Kónická s fazetkou – vhodná pro velký počet kusů a při požadavku na přesnost i u složitějších tvarů.



Obr. 22 Druhy střížnic [32]

Druhá hlavní funkční část je střížník, který je pohyblivý vůči střížnici. Střížník musí splňovat zásadní podmínky k výrobě kvalitního nástroje, mezi které se řadí tuhost, kolmé uchycení a kvalita ostří (střížné hrany). První dvě podmínky jsou souvislé s upevněním střížníku. Střížníky jsou upevněny na horní kotevní desku několika možnými způsoby. První způsob zajištění je

pomocí osazení střížníku (válcové nebo kuželové) a zapuštění do kotevní desky, která je následně přišroubovaná do základní horní desky. Jiné provedení je například upevnění šroubem s kuličkou, pružinou s kuličkou, roznytváním nebo zalití pryskyřicí. [31; 36]

Základní desky jsou z konstrukčních materiálů a v místě dosedací plochy střížníků jsou přenášeny velké tlaky. Hrozí tedy riziko vtlačení střížníků do základní desky. Z tohoto důvodu je nutná kontrola střížníků na otláčení, která zjišťuje, jestli během procesu nedojde k překročení dovoleného namáhání. Pokud je namáhání překročeno, tak je nutné použití opěrné kalené desky, která tomuto napětí odolá. Dovolené napětí pro ocel je 180 MPa a velikost napětí na dosedací ploše je určeno dle vztahu [29; 36]:

$$\sigma = \frac{F_S}{S_D} \leq \sigma_{dov}, \quad (2.9)$$

kde: σ – napětí na dosedací ploše střížníku [MPa],
 σ_{dov} – dovolené napětí u oceli [MPa],
 S_D – obsah dosedací plochy střížníku [mm²].

Střížníky se rozdělují také podle toho, jestli jsou vedené, nevedené nebo zesílené. Vedení střížníku zajišťuje vodící deska v případě, že se jedná o štíhlý střížník a je zapotřebí stabilizace. Z tohoto hlediska se provádí výpočet kritické délky střížníku, jejíž překročení by mělo za následek vyosení střížníku a následné prohnutí případně zlomení. Výpočet kritické délky střížníku vychází z kontrola vzpěrné stability dle Eulera, která je určena dle následujícího vztahu pro kritickou sílu F_{krit} [36]:

$$F_{krit} = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{l_{red}^2} = n \cdot F_S \quad (2.10)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu, $E = 2,1 \cdot 10^5$ [MPa],
 I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴],
 n – koeficient bezpečnosti, $n = 1,5 \div 2$ [-]
 l_{red} – redukovaná délka střížníku [mm].

Redukovaná délka střížníku zahrnuje kritickou délku střížníku l_{krit} , která je vyjádřena dle vztahu:

$$l_{red} = \mu \cdot l_{krit} \quad (2.11)$$

kde: μ – koeficient závislý na stupni namáhání střížníku [-].

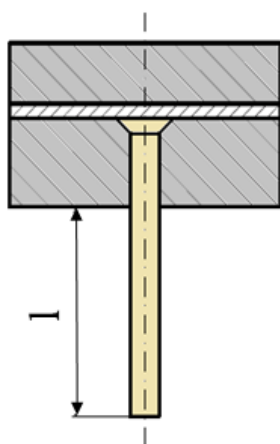
Koeficient závislý na stupni stříhu rozlišuje výpočet kritické délky střížníku pro střížník vedený a nevedený. Pro vedený střížník je stanovena hodnota $\mu = 2$, pak kritická délka střížníku je dána úpravou vztahu (2.x) :

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{n \cdot F_S}} \quad (2.12)$$

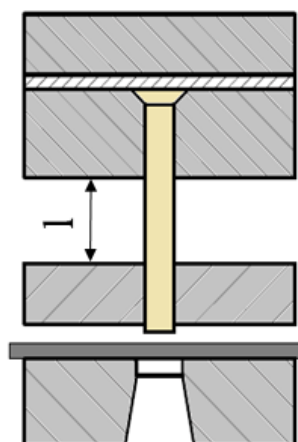
Koeficient stanovený pro nevedený střížník má hodnotu $\mu = 0,5$ a l_{krit} je opět vyjádřena dle vztahu (2.x):

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{\pi \cdot E \cdot I}{4 \cdot n \cdot F_S}} \quad (2.13)$$

Nevedený střížník



Vedený střížník



Obr. 23 Vedený a nevedený střížník [40]

Stříhání lze rozlišit na vystřihování a děrování z hlediska stanovení výrobní tolerance střížníku a střížnice. Při vystřihování je směrodatná střížnice, která určuje požadovaný rozměr a střížná vůle je stanovena zmenšením rozměru střížníku. Naopak při děrování je směrodatný rozměr střížníku a vůle vznikne zmenšením rozměrů střížnice. Střížná vůle je doplněna o výrobní tolerance obou střížných částí nástroje. Výpočty rozměrů funkčních částí nástroje jsou provedeny dle následujících vztahů [36]:

- Rozměr střížníku při vystřihování:

$$A_k = (A_j - \Delta - v) - \delta_k . \quad (2.14)$$

- Rozměr střížnice při vystřihování:

$$A_e = (A_j - \Delta) + \delta_e . \quad (2.15)$$

- Rozměr střížníku při děrování:

$$A_k = (A_j + \Delta) - \delta_k . \quad (2.16)$$

- Rozměr střížnice při děrování:

$$A_e = (A_j + \Delta + v) + \delta_e \quad (2.17)$$

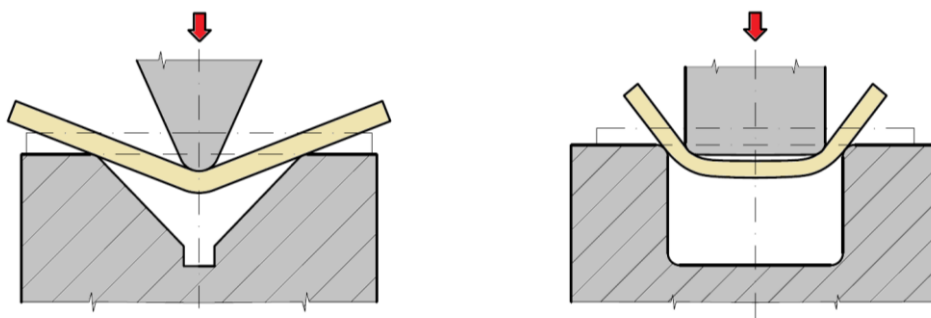
kde: A_e – jmenovitý rozměr střížnice [mm],
 A_k – jmenovitý rozměr střížníku [mm],
 A_j – jmenovitý rozměr otvoru [mm],
 Δ – tolerance otvoru [mm],
 δ_k – výrobní tolerance střížníku [mm],
 δ_e – výrobní tolerance střížnice [mm],

2.2 Technologie ohýbání

Ohýbání je technologie zařazující se do kategorie tváření, při níž dochází k trvalé změně tvaru polotovaru (plech, tyč, drát atd.) bez výrazné změny jeho průřezu. Ohyb nastává působením lokální síly, která vyvolává ohybový moment a následně při ohybu nastává zmenšení poloměru zakřivení. Ohnuté výrobky je možné navrátit zpět, tento proces je nazýván rovnání, při kterém dochází naopak ke zvětšování poloměru zakřivení. Ohýbání nebo rovnání je prováděno ve většině případů za studena (s předehřevem se ohýbají křehké a tvrdé materiály). Ohýbání většinou předchází jiné technologie (stříhání, dělení laserem atd.), která zhotoví tvar polotovaru, který je následně ohnut. [27]

2.2.1 Princip ohýbání

Nástroje používané k ohýbání se nazývají ohybník a ohybnice. Ohybník je umístěný na beranu lisu a vykonává pohyb v jeho ose (působí ohýbací silou na polotovar a tím vzniká ohybový moment). Ohybnice je pevná část a podpírá ohýbaný materiál na dvou místech. Rozlišují se dva základní ohýbací způsoby, a to jsou ohyb do tvaru U a V při jednoduchém ohybu, viz obr. 24. Průběh ohybu začíná dosednutím ohybníku na materiál, dále pohybem ohybníku směrem dolů působí elastická deformace, po jejíž překročení nastává plastická deformace. U ohýbání se pouze přibližuje k mezi pevnosti, v žádném případě se nesmí překročit, respektive nesmí dojít ke vzniku mikrotrhlin. Požadovaný úhel ohybu ovlivňuje tvar matrice nebo ohybová síla (dráha ohybníku) a je libovolně volitelný. [27; 29; 32;35]

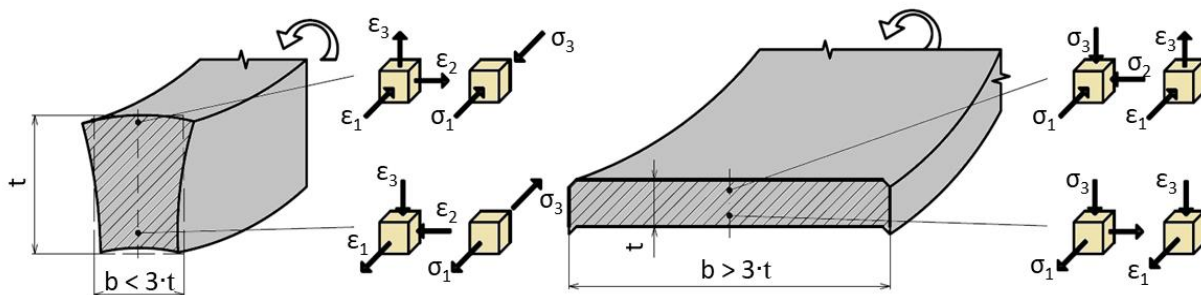


Obr. 24 Ohyb tvaru V a U [35]

2.2.2 Deformace průřezu, neutrální osa

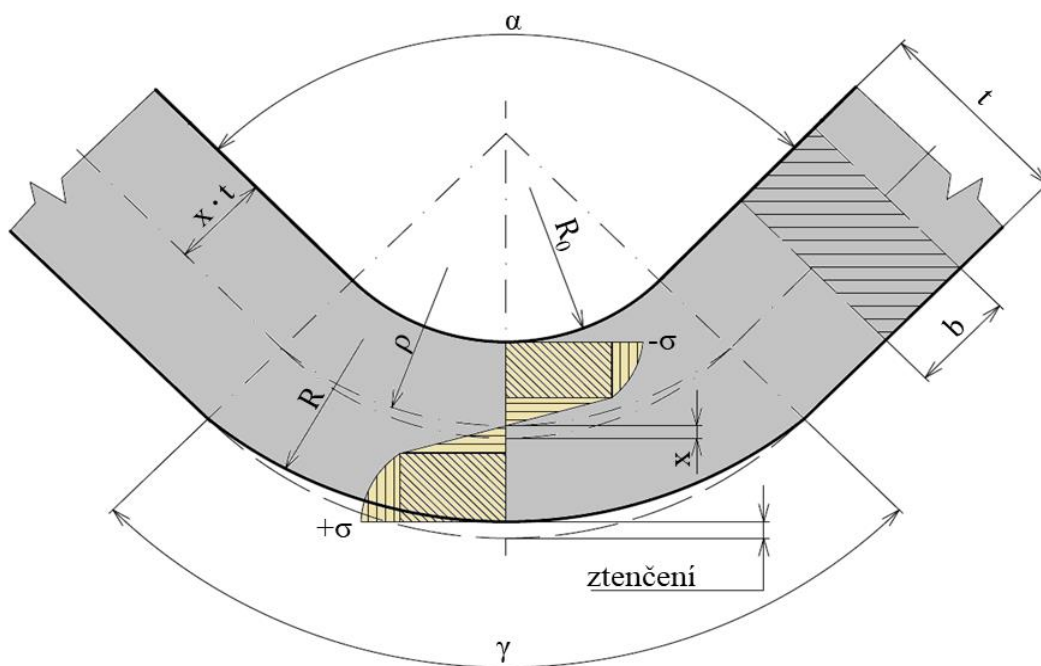
Při průběhu ohýbání je částečně deformován průřez materiálu, míra a způsob deformace se odvíjí od toho, zda se ohýbají úzké či široké polotovary. Úzkými polotovary se rozumí tyče, kde šířka je menší než tloušťka podle pravidla $b < 3 \cdot t$. Široké polotovary představují plechy nebo pásová ocel, kde platí pravidlo $b > 3 \cdot t$ (šířka je daleko větší než trojnásobek tloušťky materiálu). Ohýbání úzkých polotovarů doprovází deformace v podélném i v příčném průřezu. Na vnitřní straně ohybu v podélném směru je materiál stlačován a v příčném směru se zvětšuje jeho šířka, zatím co venkovní strana ohybu je zatěžována tahem a šířka v příčném směru se zužuje. U širokých pásů tento jev nenastává tak výrazně a příčné deformace jsou zanedbatelné (téměř nulové) z důvodu velké šířky materiálu a jejího odporu vůči přemístování. Na základě tohoto chování materiálu je ohýbání širokých plechů popisováno prostorovou napjatostí a

rovinnou deformací. Schéma deformace průřezu úzkých tyčí a širokých pásů je možné vidět na následujícím obrázku č. 25. [29; 32; 35]



Obr. 25 Deformace průřezu [35]

Proces ohybu lze z hlediska deformace rozdělit dvě fáze. Počáteční fáze ohybu probíhá v oblasti napětí menší než mez kluzu a materiál je pružně deformován. Oblast elastické deformace se řídí podle Hookova zákona a je vyznačena na obr. 26. Po překročení meze kluzu nastává druhá fáze, která se vyznačuje plastickou deformací. Průběh zvětšující se deformace materiál zpevňuje a zároveň se zvětšuje odpor proto přetvoření. [32; 35]



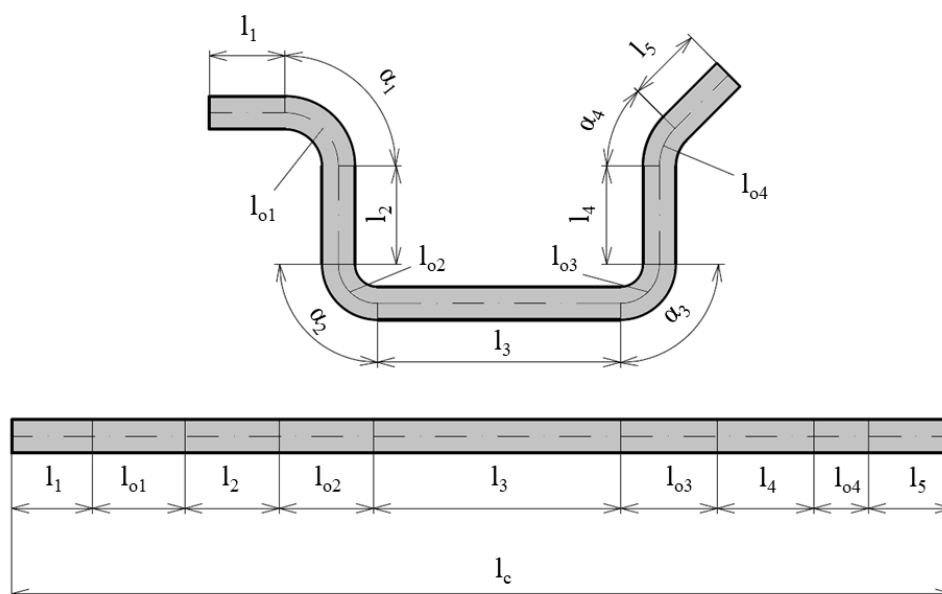
Obr. 26 Rozložení napětí v rovině ohybu [35]

Střední část průřezu je téměř nedeformovaná, objevují se zde malá napětí (elastické deformace), které nedosahují meze kluzu a tomu odpovídající elastické deformace. Přejít, kde se mění tahové a tlakové napětí iniciuje spojnicí, která se nazývá neutrální osa, respektive u plechů plocha. Tato plocha je charakteristická tím, že jsou vlákna materiálu bez napětí a deformace, a její délka se tím pádem při ohýbání nemění (neprodužuje ani nezkracuje). Poloha neutrální plochy je před začátkem ohybu shodná se středovou plochou polotovaru, ale v průběhu ohybu dochází k jejímu posunutí směrem k vnitřnímu poloměru ohybu. Tyto poznatky vedou k dosažení vyhovujícího ohybu, pro který je zcela zásadní určit délku rozvinutého tvaru

výchozího polotovaru a této problematice je věnována pozornost v následující kapitole. [27; 32; 35]

2.2.3 Rozvinutý tvar součásti

Zjištění délky polotovaru vychází z předpokladů znalosti polohy neutrální plochy. Pokud by byla chybně určena délka rozvinuté části polotovaru, byla by zcela jistě součást ohnuta špatně (vznikl by neshodný). Na obrázku č. 27 je zobrazena členitě ohnuta součást, která se skládá z několika ohybů s odlišným se úhlem ohybu a rovných úseků různé délky. Celková délka polotovaru se spočítá součtem délek rovných úseků a délek oblouků. Vzdálenost rovných úseků se určí například odečtením z výkresové dokumentace, ale u délky oblouku je zapotřebí použít výpočet uvažující posun neutrální plochy. [32]



Obr. 27 Stanovení rozvinuté délky [32]

Posun neutrální plochy není vždy totožný, ale je ovlivněn dvěma faktory, a to je tloušťka materiálu a poloměr ohybu. Z hlediska poloměru ohybu je daný mezní vztah, který určuje, jestli se jedná o velký nebo malý poloměr ohybu. Velký poloměr ohybu je definován tehdy, když poměr $R_o/t \geq 12$. V takovém případě nejsou tak velké deformace, tudíž posunutí neutrální plochy je téměř zanedbatelné a je možné ztotožnit neutrální plochu se středovou plochou součásti. Výpočet poloměru neutrální plochy ρ pro tuto variantu je dle následujícího vztahu [27; 32; 35]:

$$\rho = R_o + \frac{t}{2}, \quad (2.18)$$

kde: R_o – poloměr ohybu [mm],
 t – tloušťka materiálu [mm].

Druhý případ je malý poloměr ohybu, kde již vlivem velké deformace materiálu dochází k posunutí neutrální plochy a se zmenšujícím se poloměrem roste deformace a napětí, a osa se posouvá k vnitřnímu poloměru ohybu, kde dochází pěchování materiálu. V tomto případě se do vztahu zahrnuje součinitel posunutí neutrální osy x a výpočet se provádí podle následujícího vzorce [27; 32; 35]:

$$\rho = R_o + x \cdot t, \quad (2.19)$$

kde: x – součinitel posunutí neutrální osy [mm].

Hodnoty součinitele x jsou uvedeny v tabulce ... a platí pro úhel ohybu 90° u ocelí třídy 11 a 12 (orientačně je možné použití u jiných tříd ocelí).

Tab. 3 Hodnoty součinitele x [35].

$\frac{R_o}{t}$	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,424	0,486

Na základě zjištění poloměru neutrální osy je možné vypočítat její délku l_n , kterou ovlivňuje úhel oblouku [35]:

$$l_n = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot t), \quad (2.20)$$

kde: γ – úhel ohnuté části, $\gamma = 180 - \alpha$ [$^\circ$],

α – úhel ohybu [$^\circ$].

Celková délka polotovaru l_c , jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, se skládá ze součtu délek rovných částí a délek ohnutých částí viz následující vztah [35]:

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_{oi} + \sum_{i=1}^n l_i, \quad (2.21)$$

kde: l_{oi} – délka oblouku ohnuté části [mm],

l_i – délka rovné části [mm].

2.2.4 Minimální a maximální poloměr ohybu

Poloměr ohybu, jehož výpočet potřebný ke stanovení délky polotovaru byl řešen v předchozí kapitole, má svou mezní minimální a maximální hodnotu (R_{min} , R_{max}). Minimálním poloměrem ohybu se rozumí taková hodnota, při které nedojde porušení materiálu (vznik mikrotrhlin) především v místě vnějšího ohybu (strana ohybu zatížená tahem). Tuto hodnotu ovlivňují faktory jako jsou například plastičnost, anizotropie materiálu, úhel a způsob ohybu. Z hlediska způsobu ohybu je myšleno například provedení ohybu napříč směru vláken válcovaného polotovaru. U méně plastických materiálů je možný vznik mikrotrhlin důsledkem většího deformačního zpevnění a tím pádem je zapotřebí zvolení vhodné tepelné zpracování například žihání. Dále ovlivňuje poloměr ohybu založení polotovaru do ohýbacího nástroje, tak aby ostřiny vzniklé po předchozím stříhání byly situovány na vnitřní stranu ohybu z důvodu jejich stlačování. Hodnoty minimálního poloměru se běžně určují jen v krajních případech a většinou jsou jejich hodnoty zvětšovány o 20 %. Výpočet minimálního poloměru R_{min} je stanoven dle následujícího vztahu [32; 35]:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot t, \quad (2.22)$$

kde: ε_c – mezní prodloužení, při jehož překročení nastane porušení materiálu [-],

c – součinitel technologických podmínek [-].

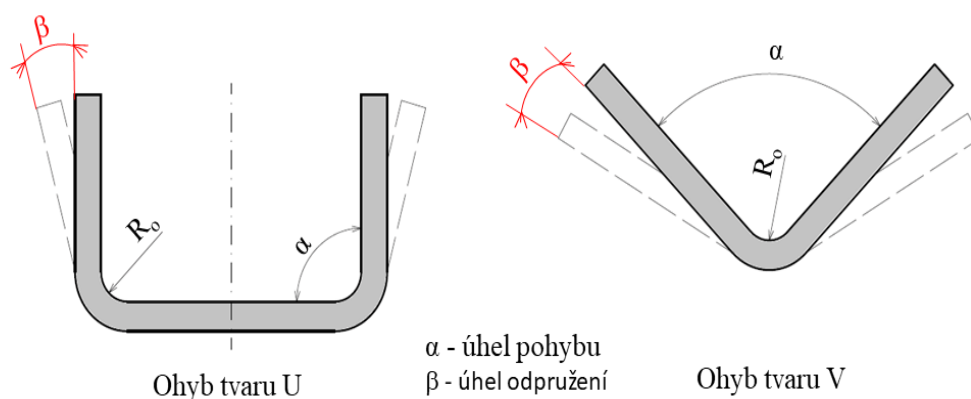
Maximální poloměr ohybu je součástí technologického návrhu ohýbané součásti, když je u polotovaru požadován velký poloměr ohybu. R_{max} zaručuje, že při ohýbání dojde k trvalé deformaci. Při nedosažení stanoveného poloměru zcela jistě nastane po odlehčení návrat do výchozího stavu polotovaru, jelikož je dosaženo pouze elastické deformace a materiál nepřekročí mez kluzu. Podmínka maximálního poloměru je opět zřídka využívána a závisí především na posouzení technologa, zdali je zapotřebí překontrolovat ohýbanou součást výpočtem dle následujícího vztahu [32; 35]:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \approx \frac{t \cdot E}{2 \cdot R_e}, \quad (2.23)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa],
 R_e – mez kluzu materiálu [Mpa].

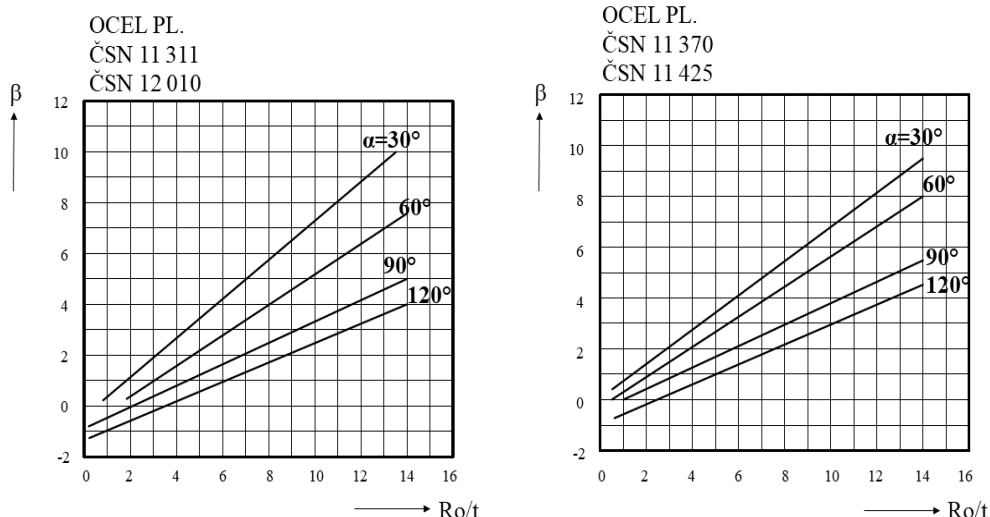
2.2.5 Odpružení po ohybu

Nežádoucí vliv při ohýbání, který komplikuje dosažení požadovaného úhlu ohybu, je odpružení. Odpružení materiálu je zapříčiněno primárně elastickou deformací a je charakterizováno změnou úhlu ohybu po odtížení ohýbané součásti. Pro dosažení přesného ohybu je třeba zahrnout do technologického návrhu tuto skutečnost a předejít tím případným komplikacím. [27]



Obr. 28 Úhel odpružení [27]

Na úhel odpružení β má vliv mimo pružnou deformaci několik dalších faktorů, jako jsou mechanické vlastnosti materiálu, tloušťka polotovaru, velikost úhlu ohybu, způsob ohybu (U nebo V) a v poslední řadě konstrukce ohýbadla. Velikost úhlu odpružení se běžně pohybuje v rozmezí 3 až 15°. Například při velkém poloměru ohybu a malé tloušťce materiálu (nízký stupeň plastické deformace) bude odpružení výrazně větší, než u malého poloměru ohybu s větší tloušťkou materiálu (větší hodnota plastické deformace). Přibližné hodnoty odpružení lze určit z tabulek nebo odečtením z diagramu, který je zpracovaný přímo pro oceli a určuje závislost úhlu odpružení na poměru poloměru ohybu vůči tloušťce materiálu, viz obr. 29.



Obr. 29 Graf závislosti odpružení na poměru R_o/t [35]

Pro zjištění přesnější hodnoty úhlu odpružení je vhodné použití výpočtových vztahů rozlišující způsob ohybu U a V. Pro ohyb tvaru V platí následující vztah [27; 29; 35; 39]:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.24)$$

kde: β – úhel odpružení [°],

l_v – vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm],

k – součinitel polohy neutrální osy závislý na poměru R_o / t [-], ($k = 0,5 \div 0,68$).

Pro ohyb tvaru U platí vztah:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.25)$$

kde: l_u – rameno ohybu, zároveň $l_u = r_m + R_o + 1,2 \cdot t$ [mm].

Existují však řešení, kterými je možné odpružení výrazně zmírnit nebo případně úplně eliminovat. Těmito řešeními mohou být:

- Kalibrace – zvýšení ohýbací síly na tzv. kalibrační sílu a v místě působení ohybníku vznikne větší plastická deformace, která zmírní odpružení.
- Upravení konstrukce nástroje – podbroušení ohybníku o úhel odpružení, zaoblení spodní hrany ohybníku nebo úprava dna ohybnice tvaru U.
- Použití prolisů – vytvořením vyztužujícího prolisu nebo žeber je možné dosažení úplné eliminace odpružení.

2.2.6 Ohybová síla a práce

Technologie ohýbání rozlišuje základní ohyb dle tvaru U nebo V, stejně tak tomu je i v určení ohybové síly a práce. Zjednodušeně při ohýbání dochází k silovému působení na nosník, který je umístěn na dvou podpěrách. Tato síla je důležitá pro volbu vhodného stroje a je ovlivněna několika faktory, kterými jsou například rozměry polotovaru (tloušťka a šířka), úhel a poloměr ohybu, mez kluzu. Pro výpočet síly F_V tvaru ohybu V byl vybrán následující výpočtový vztah dle ČSN 22 7340 [27; 32; 35]:

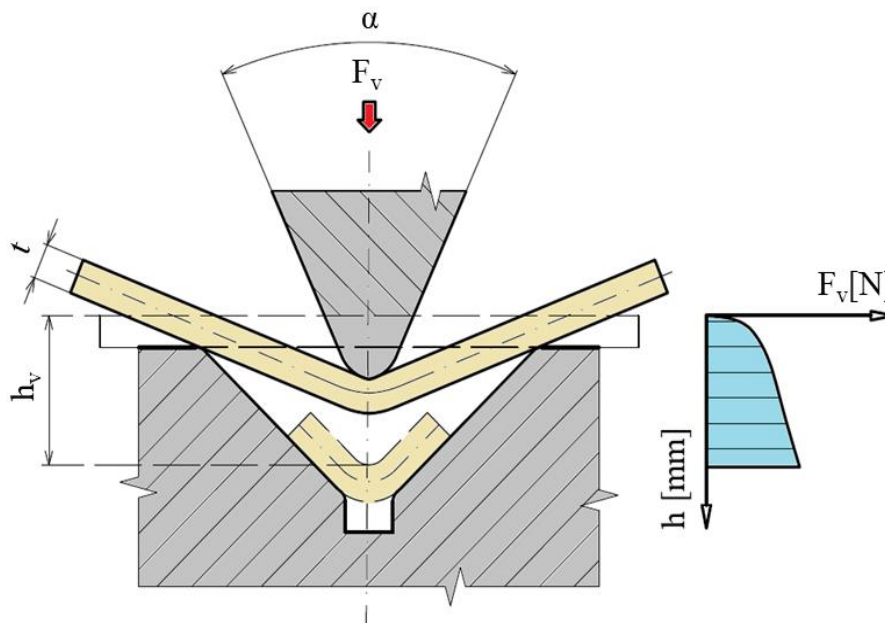
$$F_V = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.26)$$

kde: α – úhel ohybu [°].

Průběh ohýbací síly je zobrazen na obr. 30 a je možné vidět v první části strmý nárůst síly (elastická deformace) a následně pozvolný nárůst (plastická deformace) až do konečné fáze ohybu (požadovaný úhel ohnutí). Plocha průběhu síly určuje práci A_V , kterou lze spočítat dle následujícího vztahu [27; 32; 35]:

$$A_V = \frac{F_V \cdot h_V \cdot \psi}{1000}, \quad (2.27)$$

kde: h_V – dráha beranu lisu od dosednutí na materiál po konečnou fázi [mm],
 ψ – součinitel plnosti diagramu, volí se v rozmezí 0,5 až 0,65 [-].



Obr. 30 Průběh síly u ohybu V [35]

Pro druhou variantu ohybu do tvaru U, která se liší zatížením nosníku na dvou místech vlivem tvaru čela ohybníku se síla ohybu F_U vypočítá opět podle normy ČSN 22 7340[27; 32; 35]:

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t}, \quad (2.28)$$

kde: f – součinitel tření mezi nástrojem a polotovarem [-].

Na obrázku 31 je znázorněn průběh ohýbací síly tvaru U. Nejprve má křivka rychlý nárůst a po vtažení výlisku do ohybnice a kontaktu se stěnou ohybníku poklesne. Po dosednutí na dno ohybnice nastává opět nárůst síly z důvodu rovnání dna výlisku. Plocha pod křivkou průběhu síly opět udává vykonanou práci A_U , která se spočítá [27; 32; 35]:

$$A_U = \frac{F_U \cdot h_U \cdot \psi}{1000}, \quad (2.29)$$

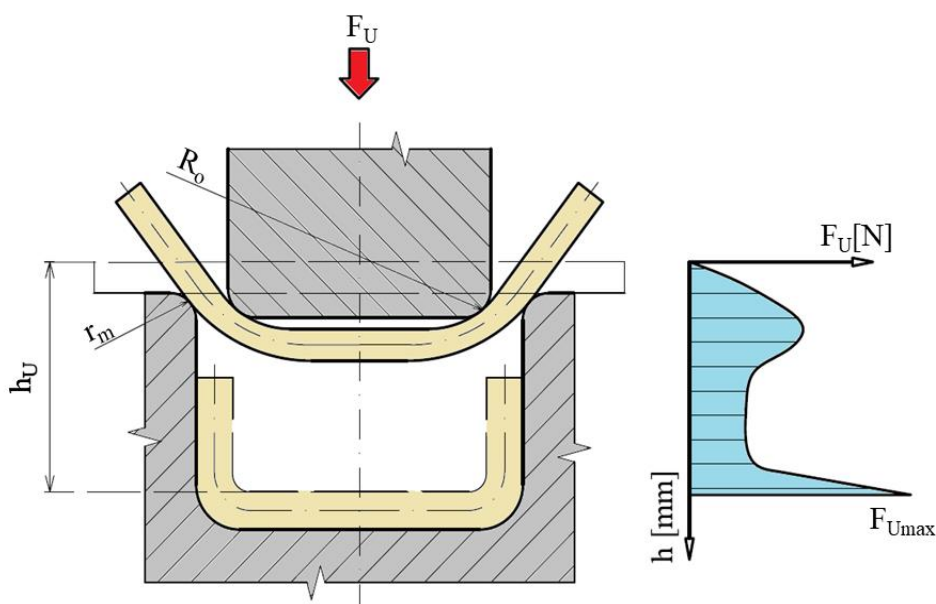
kde: A_U – ohybová práce typu ohybu U [J],

h_U – dráha beranu lisu od dosednutí na materiál po konečnou fázi [mm].

Výpočet síly dle předchozích vztahů udává jen část celkové ohybové síly, která je z důvodu tření zvětšena až o 30 %. V případě použití přidržovače nebo kalibrace je nutno zahrnout i tyto složky síly do celkové ohybové síly.

$$F_{omax} = F_{U(v)} + 1,3 \cdot F_{U(v)} + F_K, \quad (2.30)$$

kde: F_{omax} – celková (maximální) ohybová síla [N],
 F_K – kalibrační síla [N].



Obr. 31 Průběh síly u ohybu U [35]

Kalibrační síla se počítá na základě kolmého průmětu kalibrační plochy na dráhu ohybníku a měrného tlaku pro kalibrování dle druhu materiálu viz:

$$F_K = S_k \cdot p, \quad (2.31)$$

kde: S_k – kalibrační plocha [mm²],
 p – měrný tlak pro kalibrování [MPa].

V případech, kdy je použita speciální úprava čela ve prospěch zamezení vlivu odpružení se celková ohýbací síla zvětšuje až o 25 %.

2.2.7 Technologičnost ohýbání

Výroba funkčního ohnutého dílce v požadované kvalitě je docílena pouze v případě dodržování technologických zásad při ohýbání. Jejich nedodržení by mohlo zapříčinit například nežádoucí deformace, porušení materiálu v místě ohybu atd. Níže jsou uvedeny charakteristické vlastnosti a technologická doporučení při ohýbání:

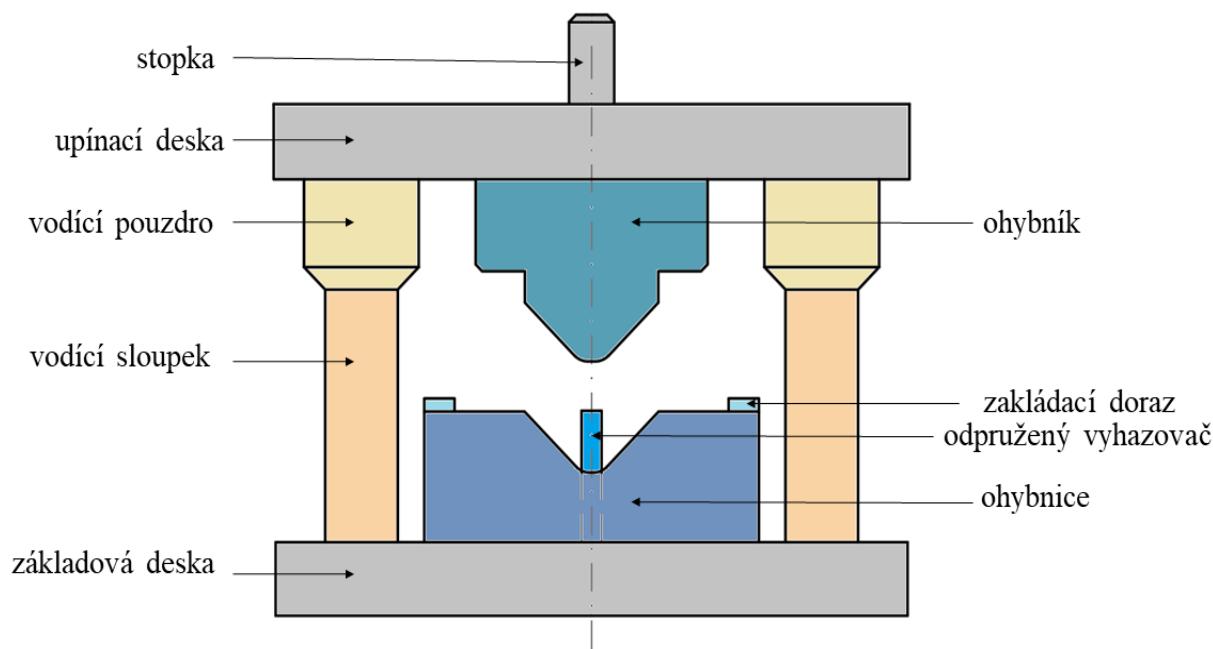
- Zpevnění materiálu – při ohýbání dochází k deformačnímu zpevnění v místě ohybu.
- Deformace úzkých tyčí – úzké tyče nebo plechy se deformují v příčném směru (do šířky) z důvodu malého odporu materiálu.
- Tolerance – nepředepisovat tolerance, pokud to není nutné a případně použít takové, které lze běžným ohýbáním dosáhnout.
- Osa ohybu – ideální stav polohy osy ohybu je kolmo na směr vláken materiálu, při jiné orientaci je nutná změna minimálního poloměru ohybu.
- Poloměr ohybu – volba co nejmenšího poloměru ohybu zmírňuje projev odpružení, zároveň překročení hranice minimálního poloměru povede k tvorbě trhlin především na vnější tahové straně.

- Odpružení – zmírnění, případně odstranění odpružení je dosaženo kalibrací.
- Posunutí součásti – použití přidržovací síly, nebo technologického otvoru včetně použití kolíku k zafixování dílce se zamezí posunutí místa ohybu.
- Konstrukční úpravy nástroje – podbroušení ohybníku nebo úprava dna ohybnice má opět vliv na odpružení.
- Délka ohýbaného ramene – minimální délka ramene od osy ohybu má být $a \geq 2 \cdot t$, při požadavku na kratší rameno je zapotřebí přebytečnou část například odstříhnout.
- Deformace otvoru – otvor musí být vzdálený od ohybu minimálně dle pravidla $a \geq 2 \cdot t$, přesné otvory je nutné vystříhnout dodatečně.
- Ztenčení – v místě ohybu se vždy projeví ztenčení, které je přípustné do 20 % tloušťky plechu.

Přesnost technologie ohýbání je především závislá na velikosti a tvaru dílce, anizotropii mechanických vlastností materiálu, konstantní tloušťce materiálu, přesnosti ohýbacího nástroje a na závěr použití kalibrace. [29; 32; 35;]

2.2.8 Ohýbací nástroje

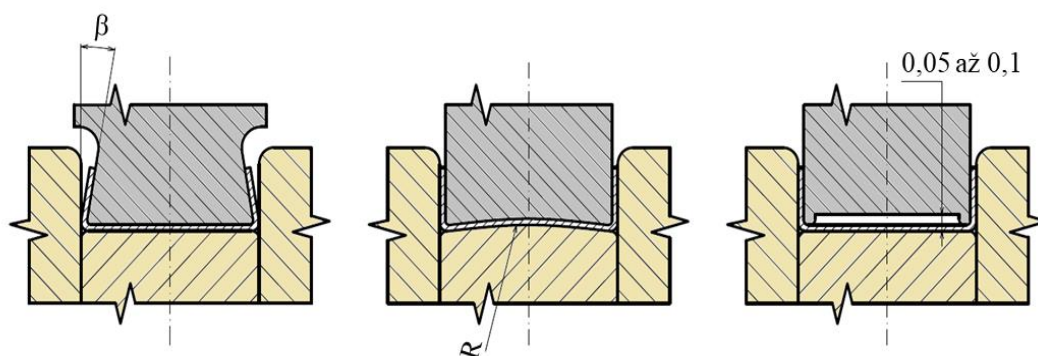
Ohýbací nástroje viz obr. 32 jsou obdobné jako nástroje střižné. Zásadními funkčními prvky tvořící ohybový nástroj nazývaný ohýbadlo jsou ohybník a ohybnice. Kompletní ohybový nástroj je ale tvořen sestavou několika doplňujících prvků. Spodní část sestavy představuje základová deska, na kterou je uchycena ohybnice, která může být osazena zakládacím dorazem, vyhazovačem nebo konstrukčním kolíkem na fixování dílce a vodící sloupky, které zajišťují přesnost ohybu a eliminují vůle beranu stroje (vodící sloupky nejsou vždy nutné, například jednoduché ohýbadlo je neobsahuje). Horní část ohýbadla je tvořena upínací deskou, na které je umístěn ohybník, vodící pouzdro pro sloupky a stopka k uchycení ke stroji. [36; 39]



Obr. 32 Ohýbací nástroj [36]

Ohybník je elementární pohyblivou složkou nástroje a je pevně přichycen ke stopce, která zamezuje jeho pootočení. U jednoduchých nástrojů může být stopka a ohybník vyrobena z jednoho kusu materiálu. Z důvodu úspory legovaných materiálů a nákladů na výrobu ohybníku je u rozměrných nástrojů doporučeno vyvolžkování funkčních částí. Vyměnitelné

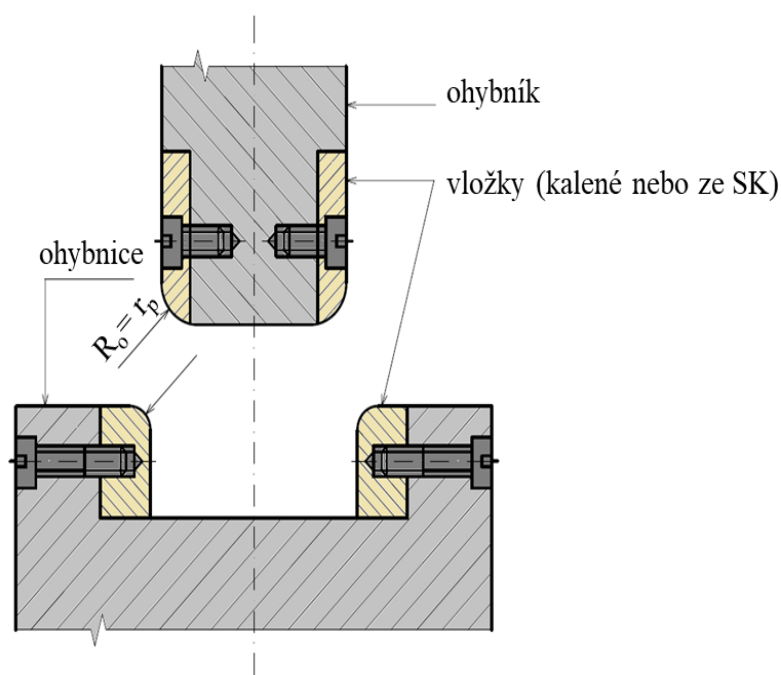
vložky mohou být kalené nebo vyrobené ze slinutých karbidů a jejich výhoda spočívá ve zvýšené odolnosti nástroje a v případě opotřebení je lze snadno vyměnit. Poloměr zaoblení ohybníku zpravidla kopíruje výsledný poloměr ohybu ohýbaného dílce, eventuálně u ohýbaných dílců s tloušťkou větší než 3 mm je vhodné srazit hrany pod úhlem 45°. Dále mohou být další konstrukční úpravy ohybníku, které se využívají k eliminaci odpružení viz obr. 33. [29; 36; 39]



Obr. 33 Tvarové úpravy střižníku [32]

Ohybnice je základní složka nástroje, která je na rozdíl od ohybníku nepohyblivá. Umístěná je proti ohybníku na základní desce, se kterou je pevně spojená. Funkční plochy mohou být opět celistvé nebo vyvločkované ze stejných důvodů jako ohybník. Zaoblení nebo sražení hran je opět shodné s ohybníkem. Ohybnice obsahuje různé volitelné doplňky. První z nich je zakládací doraz, který zajišťuje správné založení ohýbaného dílce do nástroje. Druhá volitelná součást je vyhazovač, který má za úkol setření či vyhození ohnuté součásti po dokončení ohybu. Dále může být použit přidržovač pro případ, že by materiál měl tendenci se posouvat při ohybu. [29; 35; 39]

Sestava nástroje je vyrobena z konstrukční oceli a částečně z nástrojové oceli. Z konstrukční oceli (například 11 523) jsou vyrobeny základové desky a vodící lišty. Nástrojová ocel



Obr. 34 Vložkovaná ohybnice a ohybník [29]

(například 19 191.3) je použita na výrobu ohybníku a ohybnice včetně jejich částí (vloček). Z hlediska namáhání a opotřebení jsou funkční části nástroje cementovány a kaleny v rozmezí 58 - 62 HRC. [29]

Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí v_o je velmi podobná se střížnou vůlí, tedy jde o mezeru jejíž velikost udává vzdálenost mezi ohybníkem a ohybnicí. U tvaru ohybu V se velikost vůle mění a projeví se až na konci ohybu při dosednutí ohybníku na materiál, tudíž její velikost je dána tloušťkou ohýbaného materiálu. Vůle u ohybu tvaru U se dána vzdáleností mezi stěnami činných nástrojů. Tato vůle je důležitější než u tvaru V, jelikož musí dojít ke vtažení polotovaru do ohybnice. Orientační velikost ohybové vůle je udávána roznásobením daného koeficientu tloušťkou materiálu [32; 35]:

$$v_o = (1,05 \text{ až } 1,15) \cdot t, \quad (2.32)$$

Přesněji ji lze spočítat dle následujícího vztahu zahrnující vliv tření materiálu:

$$v_o = t + c_t \cdot t, \quad (2.33)$$

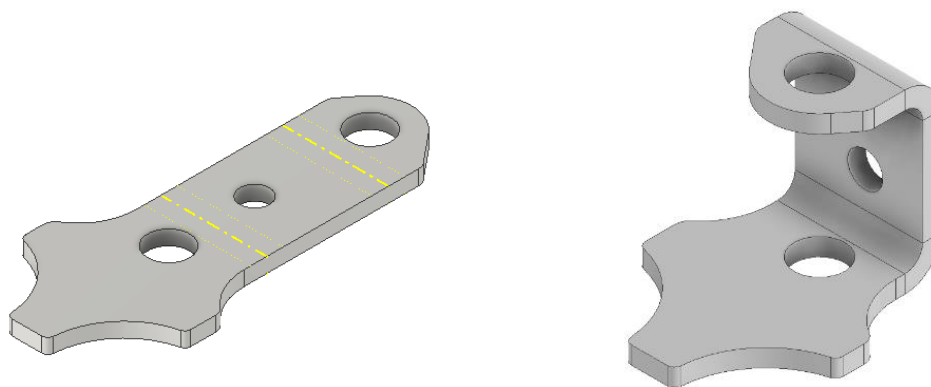
kde: v_o – ohybová vůle [mm],

c_t – součinitel zahrnující vliv tření součásti o nástroj, $c_t = 0,1 \div 0,15$ [-].

Malá velikost ohybové vůle má vliv na ohybovou sílu, jelikož ji zvětšuje z důvodu zvýšení tření. Naopak velká vůle ohybovou sílu snižuje, ale výrazně zvětšuje projev odpružení materiálu. [32; 35]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Předloženou součástí je řadicí vidlička motocyklu Jawa zobrazená v 3D pohledu na obr. 35, která bude vyráběna z plechového polotovaru o tloušťce 2,5 mm. Z pohledu funkčnosti není požadavek na následnou povrchovou úpravu, ale je kladen důraz na otěruvzdornost dané součásti. Zvolený materiál z oceli 1.7131 (16MnCr5) odpovídá daným požadavkům, jelikož je vhodná v žíhaném stavu polotovaru k tváření za studena a následnému tepelnému zpracování – cementování. Jako nejvhodnější technologie výroby byl zvolen sružený postupový nástroj, který zahrnuje stříhání včetně ohýbání a výrobní série činí 25000 ks.



Obr. 35 Rozvinutý a ohnutý tvar vidličky

3.1 Posouzení technologičnosti

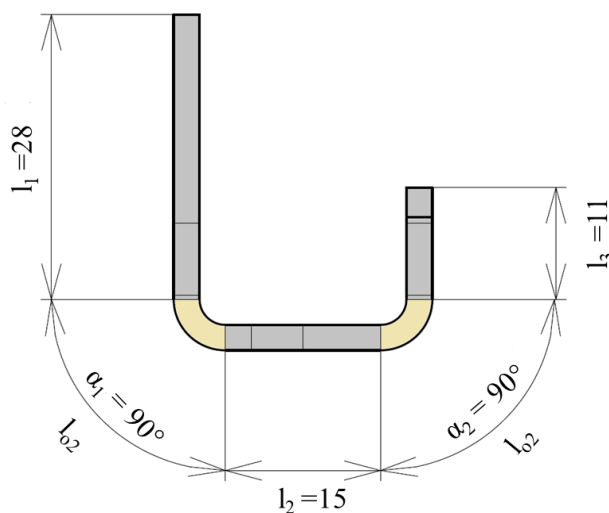
Zahájení výrobního postupu je možné na základě zhodnocení technologičnosti konstrukce součásti. V případě nevyhovujících výsledků výpočtů je zapotřebí provést úpravy konstrukce součásti nebo zvolení další technologie výroby například dodatečné zhotovení otvoru třískovým obráběním. Níže je uvedeno základní shrnutí střížných a ohybových podmínek posuzující vyrobiteľnost součásti:

- Funkční rozměry – kontura součásti nevyžaduje žádné tolerance na celkové rozměry (šířka a délka) a střížná plocha obrysu dílce neklade důraz na texturu povrchu, jelikož není funkční plochou.
- Otvory – dva větší otvory, které mají $\varnothing 7$ mm jsou funkční. Je požadavek na souosost a uložení s vůlí na vodící hřídeli. Otvor $\varnothing 5$ mm je určen k dodatečnému vložení vodícího čepu a následnému roztemování a není tedy nutné otvor tolerovat. Všechny otvory dostatečně převyšují nejmenší vyrobiteľný otvor v měkké a tvrdé oceli ($\varnothing 0,8$ a $\varnothing 1,5$ mm).
- Délka ramene ohybu – v tomto případě je splněn požadavek na minimální délku ohýbaného ramene dle pravidla: $a \geq 2 \cdot t$.
- Deformace otvoru – není splněna podmínka vzdálenosti otvoru od ohybu $a \geq 2 \cdot t$, což znamená, že předem vystřižené otvory budou při následném ohybu deformovány. Je tedy nutné zhotovit otvory na požadovanou velikost až po ohybu.
- Minimální poloměr ohybu – určuje se dle vztahu $R_{min} = c \cdot t$ pro ohyb příčně na směr vláken materiálu a v případě ohybu podél vláken je třeba zdvojnásobit hodnotu. Pro tloušťku materiálu 2,5 mm s poloměrem ohybu $R_o = 2,5$ mm vyhovují obě varianty uspořádání výstřížků na plech.

Z celkového posouzení technologičnosti výroby zadané součásti vyplývá, že z hlediska stříhání nebyl shledán žádný problém a daný tvar rozvinu je možný vyrobit v dané přesnosti. Z hlediska ohýbání se vyskytl problém, a to konkrétně ve velmi malé vzdálenosti místa ohybu od vystřižených otvorů o průměru $\varnothing 7$ mm. Tato malá vzdálenost bude způsobovat deformaci vystřižených otvorů, které jsou na součásti nutné pro nasunutí součásti na vodící hřídel. Jejich kruhovitost je proto nutné zachovat. Na základě tohoto zjištění bylo rozhodnuto, že tyto otvory budou ve sdruženém postupovém nástroji předstřiženy na menší průměr, a to průměr $\varnothing 3$ mm, který již při ohybu nebude deformován a následně budou tyto otvory dokončeny na požadovaný průměr třískovým obráběním v dokončující operaci.

3.2 Rozvinutý tvar součásti

Výpočet délky rozvinutého tvaru je důležitý z hlediska určení šířky a délky výstřižku. Na základě rozměrů výstřižku bude následně stanoven nástřihový plán, který zahrnuje okrajové můstky a orientaci výstřižku na pásu. Šířka výstřižku je neměnná (není ovlivněna ohybem), lze ji určit z modelu součásti a její hodnota je 28 mm. Je tedy nutné vypočítat celkovou délku výstřižku. Celková délka výstřižku se spočítá podle rovnice (2.x), kde jsou sečteny všechny rovné a ohnuté části dílce, který je zobrazen na obr. 35.



Obr. 36 Výpočet délky ohybu

Hodnoty rovných úseků $l_1 = 28$ mm, $l_2 = 15$ mm, $l_3 = 11$ mm jsou uvedeny v předchozím obrázku a je tedy nutné dopočítat délku ohnutých úseků l_{o1} a l_{o2} pod úhlem 90° , kde je možný posun neutrální plochy. Posunutí neutrální plochy je uvažováno v případě, že poměr ohybu a tloušťky materiálu je menší než 12:

$$\frac{R_o}{t} = \frac{2,5}{2,5} = 1 < 12$$

Z předchozího vztahu vyplývá, že musí být zahrnut posun neutrální plochy. Poloměr neutrální plochy je vypočten ze vztahu (2.18) s pomocí součinitele x zvoleného z tabulky 3. Poměr $R_o/t = 1$ udává hodnotu součinitele $x = 0,42$ a poloměr neutrální plochy je pak:

$$\rho = R_o + x \cdot t = 2,5 + 0,42 \cdot 2,5 = 3,55 \text{ mm.}$$

Pro výpočet délky neutrální plochy je využit vzorec (2.20), kde je zapotřebí úhlu ohybu $\gamma = 90^\circ$. Vzhledem k tomu, že poloměry i úhly ohybu jsou pro oba případy stejné, budou stejné i úseky l_{o1} a l_{o2} . Výpočet stačí provést pro jeden z nich:

$$l_n = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = l_{o1} = l_{o2} = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 3,55 = 5,58 \text{ mm.}$$

Nyní jsou známé délky všech úseků, a je tedy stanovit celkovou délku rozvinu dosazením do vzorce (2.21):

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_{oi} + \sum_{i=1}^n l_i = l_{o1} + l_{o2} + l_1 + l_2 + l_3 = 5,58 + 5,58 + 28 + 15 + 11 = 65,16 \text{ mm.}$$

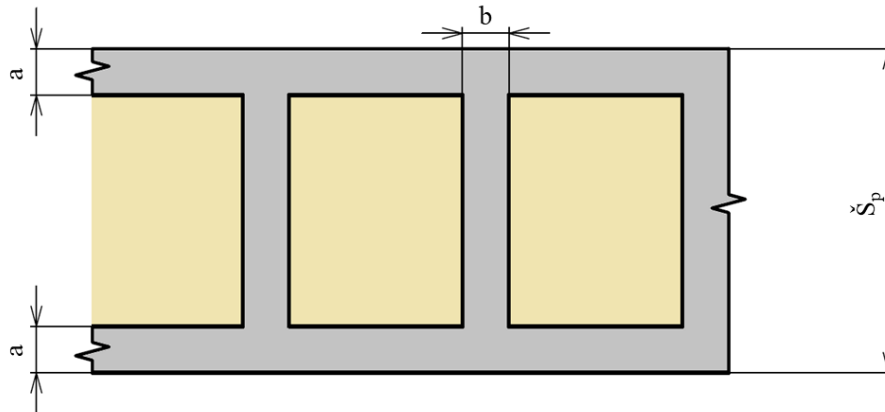
Výsledná celková délka polotovaru l_c je důležitá k doplnění celkových rozměrů polotovaru, což souvisí s další kapitolou, která řeší uspořádání výstřížků na plech.

3.3 Uspořádání výstřížků na plech

Vytvoření nástřihového plánu zahrnuje zvolení uspořádání výstřížků na pásu plechu. Uspořádání výstřížku je voleno především na základě jeho tvaru. Tvar řešené součásti je osově nesymetrický a při připodobnění k základním geometrickým tvarům připomíná obdélník. Z důvodu tvaru součásti a zachování jednoduchosti střížného nástroje připadají v úvahu pouze dvě základní varianty, kterými jsou příčné a podélné uspořádání. Ostatní rozmístění jako je například šikmé rozmístění, je hned na první pohled nevhodné z důvodu ohybu součásti a střídavé rozmístění zvyšuje počet střížníků a složitost nástroje. Uspořádání ovlivňuje spolu s tloušťkou materiálu volbu můstku mezi výstřížky a přídavky na okraj plechu. Tyto rozměry jsou voleny z tabulky x, kde jsou různé hodnoty pro určité rozmezí šířky pásu. Na obr. 37 je možné vidět schéma uspořádání obdélníkového tvaru pro který je uvedena tabulka 4.

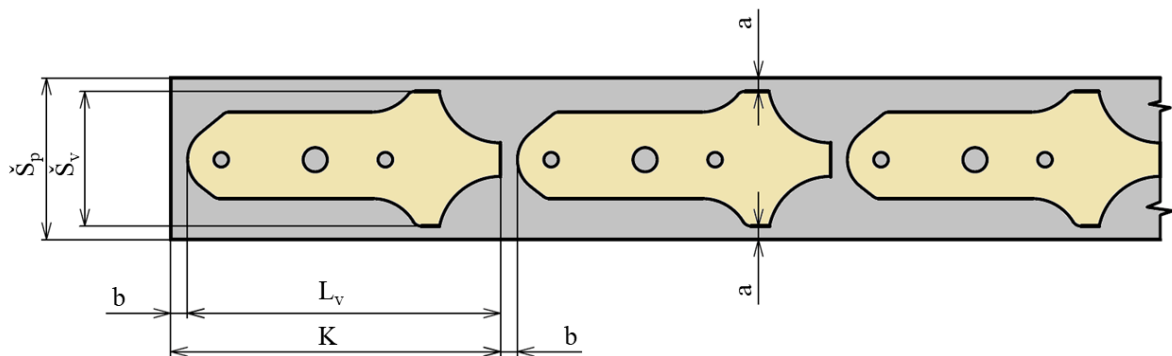
Tab. 4 Tabulka technologických přídavek [31].

Tloušťka materiálu (mm)	Šířka pásu (mm)											
	do 15		15 - 50		50 - 100		100 - 200		200 - 300		nad 300	
	Rozměr a, b (mm)											
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
0,1 – 0,2	1	1,2										
0,3 – 0,4	1	1,2	1,3	1,6								
0,4 – 0,6	1	1,2	1,3	1,6	2	2,5						
0,7 – 0,9	1	1,2	1,3	1,6	2	3	3,2					
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3,5	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	4	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4,2	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,3	6,3	6,3	7,2



Obr. 37 Přidavky na okraj pásu [31]

- Podélné uspořádání výstřížků – výstřížky jsou umístěny v řadě na páse, viz obr. 22. Tato varianta se vyznačuje úzkým pásem plechu, dlouhým krokem a ohyb je výhodně situován kolmo na směr vláken. Šířka součásti $\check{S}_v = 28$ mm a na základě toho byly zvoleny z tabulky 4 hodnoty přidavku na okraje $a = 2,8$ mm a můstku $b = 3,5$ mm z rozmezí šířky pásu $15 \div 50$ mm.



Obr. 38 Podélné uspořádání

Podle velikostí přidavku na okraj pásu a velikosti můstku je možné vypočítat následující veličiny jako je například šířka pásu \check{S}_p a délka kroku K :

$$\check{S}_p = \check{S}_v + 2 \cdot a = 28 + 2 \cdot 2,8 = 33,6 \text{ mm}, \quad (3.1)$$

$$K = L_v + b = 65,16 + 3,5 = 68,66 \text{ mm}. \quad (3.2)$$

Pro zjištění stupně využití je důležitá znalost počtu výstřížků na určitou délku pásu, obsah plochy pásu a výstřížku. Počet výstřížků je stanoven pro zvolenou délku pásu $L_p = 2000$ mm následovně:

$$n_v = \frac{L_p}{K} = \frac{2000}{68,66} = 29,12229 \text{ ks}. \quad (3.3)$$

Plocha výstřížku S_v byla určena dle programu Inventor a nejsou v ní zahrnuty otvory, jelikož nemají vliv na využití materiálu:

$$S_v = 1137,68 \text{ mm}^2.$$

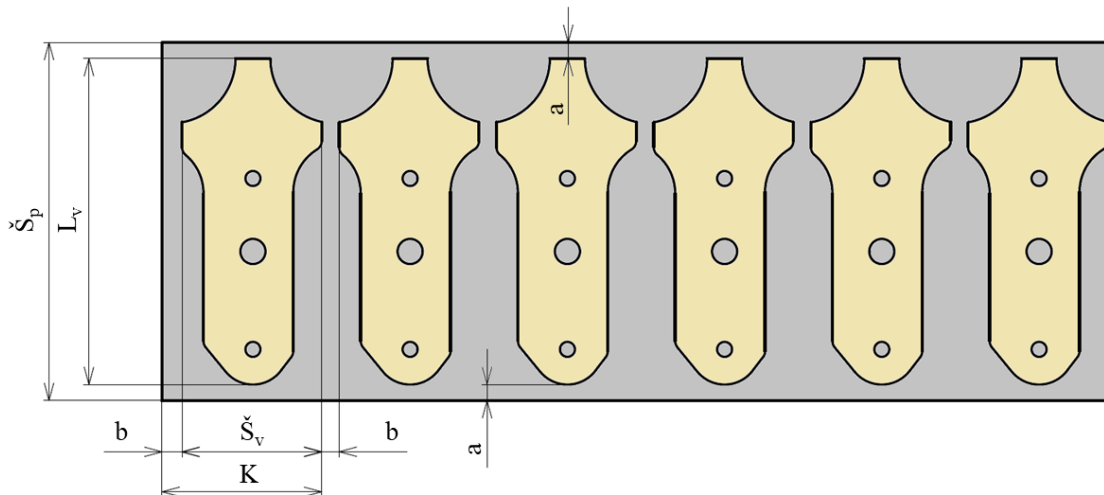
Obsah plochy pásu S_p v délce $L_p = 2000 \text{ mm}$ je stanoven následovně:

$$S_p = L_p \cdot \check{S}_p = 2000 \cdot 33,6 = 67200 \text{ mm}^2. \quad (3.4)$$

Stupeň využití materiálu η je stanoven dle vztahu:

$$\eta = \frac{n_v \cdot s_v}{S_p} = \frac{29 \cdot 1137,68}{67200} \cdot 100 = 49,1 \%. \quad (3.5)$$

- Příčné uspořádání výstřížku na plech – oproti předchozí variantě došlo k zvětšení šířky pásu, výraznému zkrácení kroku a ohyb výstřížku je situován podél směru vláken válcování. Výpočty jsou totožné s předchozí variantou, až na hodnoty přídavek materiálu na okraj plechu a můstku mezi výstřížky. Šířka pásu plechu je zde odvislá od délky rozvinu součásti, která činí $l_c = 65,16 \text{ mm}$. Z tabulky 4 se bude šířka pásu volit z rozsahu 50 až 100 mm. Při tloušťce plechu $t = 2,5 \text{ mm}$ vychází hodnoty přídavku na okraje $a = 3,2 \text{ mm}$ a $b = 4 \text{ mm}$. Příčné rozmístění výstřížků je zobrazeno na obr. 38



Obr. 39 Příčné rozmístění na pás

Výpočet šířky pásu pro příčné uspořádání:

$$\check{S}_p = L_v + 2 \cdot a = 65,16 + 2 \cdot 3,2 = 71,56 \text{ mm}.$$

Stanovení délky kroku:

$$K = \check{S}_v + b = 28 + 3,5 = 31,5 \text{ mm}.$$

Počet výstřížků na délku pásu 2000 mm:

$$n_v = \frac{L_p}{K} = \frac{2000}{31,5} = 63,5 \rightarrow 63 \text{ ks}.$$

Obsah plochy výstřížku je shodný, ale je potřeba určit obsah plochy pásu v délce $L_p = 2000 \text{ mm}$ a šířce pásu $\check{S}_p = 71,56 \text{ mm}$:

$$S_p = L_p \cdot \check{S}_p = 2000 \cdot 71,56 = 143120 \text{ mm}^2.$$

Stanovené stupně využití u příčného uspořádání je viz následující vztah:

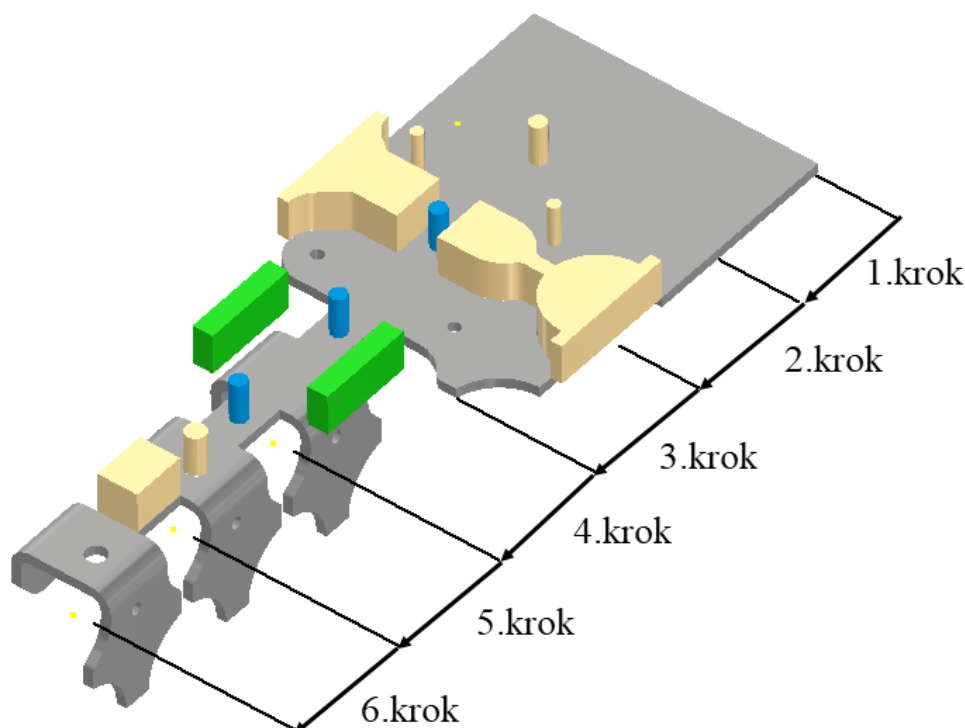
$$\eta \frac{n_v \cdot s_v}{S_p} = \frac{63 \cdot 1137,68}{143120} \cdot 100 = 50 \%$$

Výsledek stupně využití materiálu je u obou variant nižší z důvodu nesymetrického tvaru součásti. Dle stupně využití materiálu je nepatrně lepší varianta příčného uspořádání výstřižků na plech. V případě nepatrných rozdílů ve stupni využití materiálu je převážně zohledňován technologický postup, který spočívá v upřednostnění kratšího kroku i za cenu širšího pásu a horšího využití materiálu. Dále musí být zohledněna i úvaha snadného posuvu pásu nástrojem vzhledem k možnostem ohybu součásti.

3.4 Varianty postupu výroby

Výroba zadané součásti ve sdruženém postupovém nástroji zahrnuje technologické operace stříhání a ohýbání. Výrobní postup se skládá z rozmístění výstřižku na plech, vhodného zvolení sledu střížných operací (děrování otvorů a vystřížení tvaru), ohybu součásti a finální operace odstřížení zhotoveného dílce z pásu plechu. Cílem výrobního postupu je zhotovení součásti na co nejmenší počet kroků, dále jednoduchost sestavy nástroje a v poslední řadě velikost nástroje.

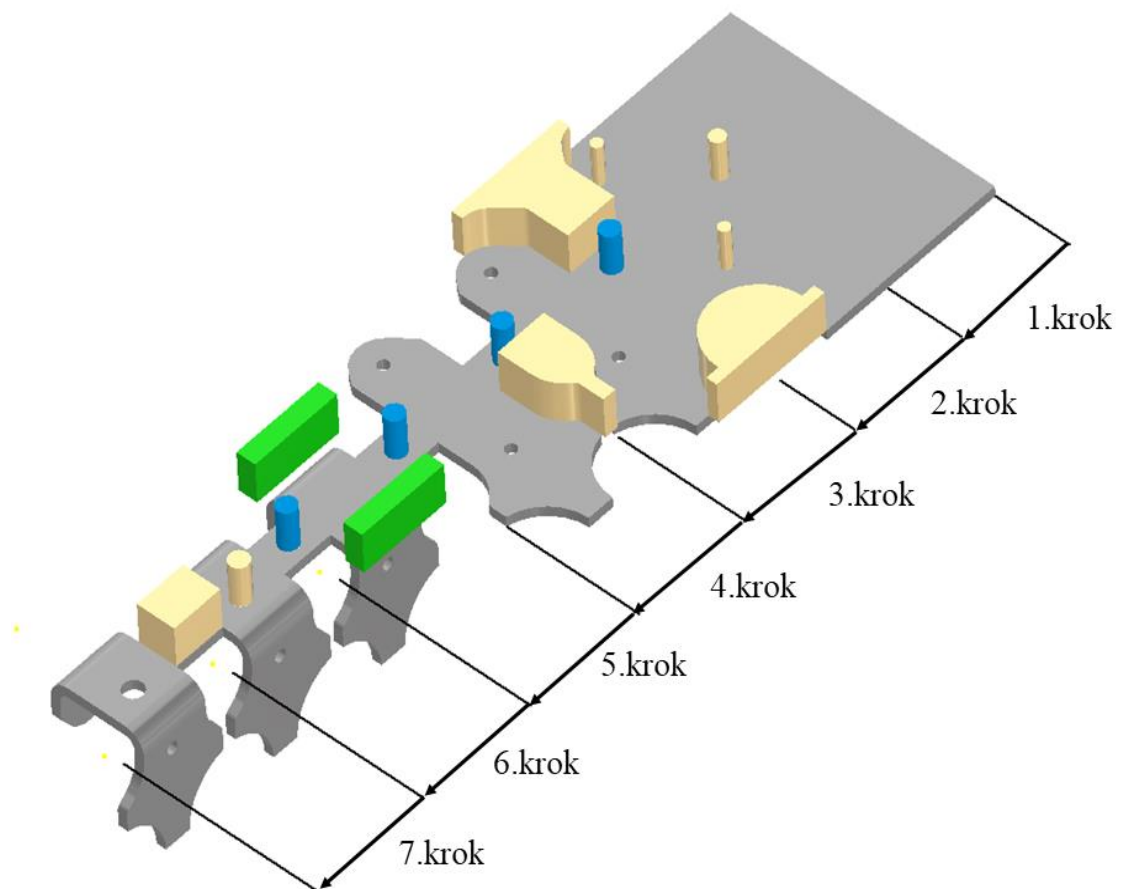
Následující varianty schematicky zobrazují různé technologické postupy výroby s rozmístěním výstřižků podélně nebo příčně. Pro lepší znázornění jsou od polotovaru barevně rozlišeny střížníky(žlutá), ohybníky(zelená) a hledáčky(modrá).



Obr. 40 Varianta výroby č. 1

Varianta 1 zobrazuje příčné uspořádání výstřižků na plech viz obr. 40 a součást je zhotovena v šesti krocích:

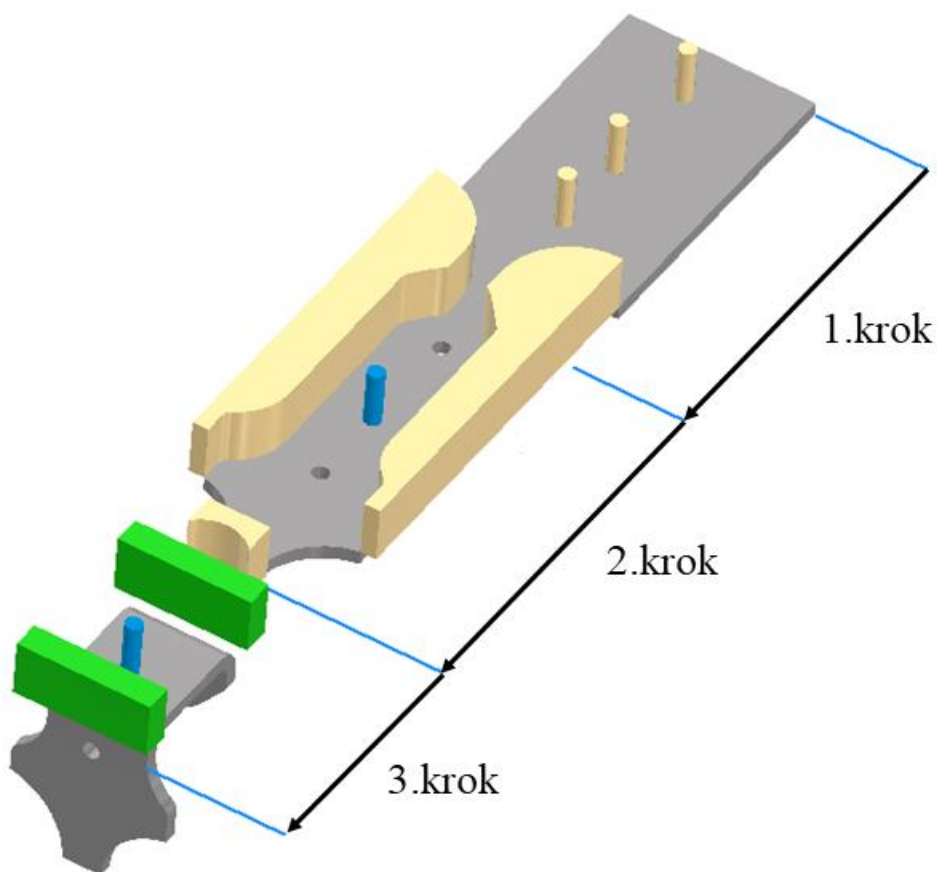
- První krok – vystřížení otvoru $\varnothing 5$ mm určený pro hledáček, zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm, vystřížení dvou otvorů $\varnothing 3$ mm a vystřížení pravé části kontury dílce tvarovými střížníky.
- Druhý krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm a vystřížení levé části kontury tvarovými střížníky.
- Třetí krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm na můstku a zhotovení ohybu směrem dolů.
- Čtvrtý krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm na můstku a prostřížení otvoru $\varnothing 5$ mm.
- Pátý krok – odstřížení můstku, což má za následek oddělení hotového dílce od pásu



Obr. 41 Varianta výroby č. 2

Varianta 2 – uspořádání je stejné jako u varianty č. 1 (příčné) a v této variantě, která je zobrazena na obr. 41, je přidán navíc jeden krok, jelikož došlo k rozdělení horního tvarového střížníku na dvě části.

- První krok – vystřížení otvoru $\varnothing 5$ mm určený pro hledáček, zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm, vystřížení dvou otvorů $\varnothing 3$ mm, vystřížení pravé horní a dolní části kontury dílce tvarovými střížníky.
- Druhý krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm, vystřížení levé horní a dolní části kontury tvarovými střížníky a vystřížení pravé střední části kontury tvarovým střížníkem.
- Třetí krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm a vystřížení levé střední části kontury tvarovým střížníkem.
- Čtvrtý krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm na můstku a zhotovení ohybu směrem dolů.
- Pátý krok – zahledání otvoru $\varnothing 5$ mm na můstku a prostřížení otvoru $\varnothing 5$ mm.
- Šestý krok – odstřížení můstku, což má za následek oddělení hotového dílce od pásu.



Obr. 42 Varianta výroby č. 3

Varianta 3 – představuje podélné umístění výstřížku na pás a je zobrazena na obr. 42. Součást je zhotovena pouze na tři kroky:

- První krok – vystřížení třech otvorů \varnothing 3 mm a vystřížení pravé části výstřížku tvarovými střížníky.
- Druhý krok – zahledání prostředního otvoru \varnothing 3 mm a vystřížení horní a dolní části výstřížku tvarovými střížníky.
- Třetí krok – odstřížení můstku mezi výstřížky, přitlačení přidržovače s hledáčkem a následný ohyb součásti směrem dolů.

3.4.1 Zhodnocení variant výroby

První varianta je řešena příčným uspořádáním výstřížku. V první fázi dojde k vytvoření můstku s otvorem pro hledáček. Tento můstek je vytvořen z důvodu posuvu součástí a vytvoření otvoru pro hledáček, jelikož by nebylo možné umístit hledáčky přímo na součást. Dále dochází k vystřížení otvorů o průměru \varnothing 3 mm. Nevýhodou je zde komplikovaný tvarový střížník připomínající tvar přesýpacích hodin, který je spojen tenkým můstkem a je zde riziko prasknutí. Samotný ohyb je směrem dolů a je orientovaný podél směru vláken vzniklých při válcování pásu. Ohyb podél vláken není ideální, ale v tomto případě je to stále přijatelné, jelikož minimální poloměr ohybu je stejný jako poloměr zhotovovaný na součásti. Výhodou je odpovídá výpočtům a hlavní důvod je jednoduchý posuv mezi jednotlivými kroky bez překážek a nutnosti nadzvedávání pásu. Otvor \varnothing 5 mm pro dodatečné osazení vodícím čepem je vystřížen až po ohybu, tudíž nehrozí žádná deformace. V poslední fázi dojde k odstřížení můstku a ke skluzu součásti mimo nástroj.

Druhá varianta je téměř totožná jako první varianta s tím rozdílem, že zde byla provedena úprava střížníku tvaru přesýpacích hodin. Respektive došlo k jeho rozdělení na dva samostatné střížníky. Touto úpravou bylo odstraněno nebezpečí prasknutí střížníku, snížení jeho hmotnosti a zjednodušení výroby. Pokud by došlo k prasknutí můstku u původní varianty střížníku, výměna by byla nákladnější než výměna prasklé tenké části u nově vzniklého střížníku, jehož tvar připomíná tvar "lahve". U této varianty je ohyb opět ve směru vláken, ale je zajištěn plynulý pohyb pásu nástrojem bez potřeby nadzvedávání pásu.

Třetí varianta je řešena s podélným uspořádáním výstřížků na pás. Krok je sice delší oproti opačnému uspořádání, ale výhodou je jeho menší počet. V první fázi dochází k prostřížení třech otvorů \varnothing 3 mm a částečnému vystřížení pravé části obrysu dílce. V dalším kroku je zhotoven kompletní obrys součásti. Poslední fáze je zahledání otvoru \varnothing 3 mm, odstřížení můstku a ohyb součásti. Ohyb směřuje směrem dolů a je situován kolmo na směr vláken materiálu, což je výhoda. Velkou nevýhodou je právě provedení ohybu, kde by bylo nutné použít horního pružného přidržovače, aby byl ohyb proveden přesně vůči středovému otvoru o průměru 5 mm. To by zkomplikovalo nástroj včetně toho, že by v tomto případě musel být vyřešen boční odsun součásti z nástroje. To by vyžadovalo přídavné zařízení v podobě stěrače, respektive vyhazovače, neboť by součást po ohybu zůstávala ležet na spodním ohybníku. U této varianty by byl sice krátký počet kroků, ale na úkor složitosti nástroje.

Jako nejvhodnější technologický postup se nabízí varianta č. 2 z důvodu lepšího stupně využití, jednodušších a pevnějších nástrojů, celkové jednoduchosti sestavy nástroje a zhotovení přesného otvoru pro vodící čep. Zhotovený finální otvor o průměru 5 mm může být určen například jako funkční otvor k ustavení součásti otvoru do přípravku k dokončení součásti vrtáním.

3.4.2 Výchozí polotovar

Výchozí polotovar může být zvolen ve formě tabule plechu rozstříhané na pásy požadované šířky. Tato možnost je využívána v malosériové výrobě s formou ručního podávání do nástroje, který musí být uzpůsoben tomuto druhu podávání, což znamená konstrukční úpravy nástroje různými dorazy pro správnou aretaci každého kroku. Druhá varianta je použití svitku pásu plechu, jehož výhody spočívají ve větším využití materiálu a v automatizaci celého procesu. Svitek je umístěn na stojanu, ze kterého je odvíjen podávacím zařízením přímo do nástroje. Podavač určuje přesné kroky a tím pádem není nutné užití dorazů v nástroji a aktivní činnosti pracovníka.

Pro účely této diplomové práce byl zvolen jako výchozí polotovar svitek. Důvodem této volby byla možnost využití podávací linky, kterou firma vyrábějící danou součást disponuje a samozřejmě i jednoduchost obsluhy a rychlost výroby. Svitek musí splňovat určité parametry, které určuje odvíjecí stojan. Tyto parametry jsou vnitřní průměr svitku, vnější průměr svitku a nosnost stojanu. Jednoramenný odvíječ plechu typ MT-300 udává maximální šířku plechu 300 mm, minimální vnitřní průměr svitku v rozmezí $\varnothing 450 - 530$ mm, vnější průměr svitku maximálně $\varnothing 1200$ mm a hmotnost svitku max. 500 kg. Vnitřní a vnější průměr svitku je zvolen na zakázku společně s šířkou pásu. Případná kontrola může být provedena na váhu svitku nebo pro zjištění délky. Hmotnost svitku m_{sv} se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S}_p \cdot \rho_o, \quad (3.6)$$

kde: D_{sv}^2 – vnější průměr svitku [mm],
 d_{sv}^2 – vnitřní průměr svitku [mm],
 ρ_o – hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Dle následujícího vzorového výpočtu pro šířku pásu 71,5 mm a při zvolení maximálních hodnot průměrů (vnitřního a vnějšího) svitku bylo zjištěno, že váha svitku vyhovuje a není nutné zmenšit vnější průměr. Konkrétní výpočty hmotnosti svitku by byly řešeny v případě poptávky svitku a na základě možností dodavatele.

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (1200^2 - 500^2)}{4} \cdot 71,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 511 \text{ kg}.$$

Délka pásu L_p se se pak určí dle:

$$L_p = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4 \cdot t} = \frac{\pi \cdot (1200^2 - 500^2)}{4 \cdot 2,5} = 373848,5 \text{ mm} \doteq 374 \text{ m}. \quad (3.7)$$

Počet výstřižků na délku pásu 373000 mm:

$$n_v = \frac{L_p}{K} = \frac{373000}{31,5} = 11841,26 \rightarrow 11841 \text{ ks}.$$

Ze dvou svitků pásu je možné zhotovit 23682 ks součástí, je tedy nutné zmenšení vnitřního průměru svitku na takovou velikost, aby se počet zhotovitelných součástí zvýšil na 12500 ks/pás a tím byla splněna série 25000 ks.

4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Stanovení finálního výrobního postupu a určení vhodného polotovaru v předchozích kapitolách je nutné doplnit o výpočty potřebné k ohýbání a stříhání. Na základě následujících výpočtů je závislá konstrukce sestavy nástroje, kontrola střížníků, a nakonec volba stroje. Pro následující výpočty bude využito poznatků uvedených v teoretické části této diplomové práce.

4.1 Výpočty pro technologii stříhání

Technologický výpočet pro stříhání zahrnuje výpočty střížného odporu a následně střížné síly. Na základě získání celkové střížné síly součtem dílčích sil bude určena střížná práce. Následně bude spočítána velikost střížné vůle, výška střížnice a rozměry funkčních částí střížníků. Důležitá je také kontrola střížníků na vzpěr a otláčení, čímž se zjistí nutnost použití kalené opěrné desky.

- Střížný odpor – před výpočtem střížných sil, je nutné určení střížného odporu materiálu. Výpočet střížného odporu materiálu je převzat ze vztahu (2.2). Výpočet je možný na základě znalosti meze pevnosti materiálu 16MnCr5. Mez pevnosti R_m materiálu 16MnCr5 ve stavu žíhaném na měkko je 450 MPa, viz Tab. 1. Tato maximální hodnota byla pro výpočty zvolena z důvodu úvahy těch nejhorsích podmínek procesu, a tedy z důvodu bezpečnosti. Střížný odpor τ_s je tedy určen dle následujícího vztahu:

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m = 0,77 \cdot 450 = 346,5 \text{ MPa.}$$

- Střížná síla – výpočet střížné síly je dle vzorce (2.1). Výpočet střížné síly je složen z délky křivky stříhu, tloušťky materiálu, střížného odporu a součinitele otupení bříty. Délka křivky stříhu u válcových střížníků je vypočítána jednoduchým výpočtem obvodu kružnice a délka stříhu u složitějších střížníků je určena dle programu Inventor. U střížníků, které v následujících operacích částí svého obvodu stříhají do volného prostoru vzniklého po prostřížení otvorů v předchozích krocích, se délkou křivky stříhu rozumí jen ta délka obvodu střížníku, která stříhá do plného materiálu. Tloušťka materiálu je $t = 2,5$ mm a součinitel otupení bříty $K = 1,2$ (zvolen z rozmezí 1,1 – 1,3). Dílčí střížné síly jsou určeny následovně:

- Síla na válcovém střížníku $\varnothing 5$ mm:

$$F_{s1} = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 9,42 \cdot 346,5 = 16320 \text{ N.}$$

- Síla na válcovém střížníku $\varnothing 3$ mm:

$$F_{s2} = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 15,7 \cdot 346,5 = 9792 \text{ N.}$$

- Síla na horním tvarovém střížníku tvaru „půlkruhu“:

$$F_{s3} = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 87,42 \cdot 346,5 = 90873 \text{ N.}$$

- Síla na dolním tvarovém střížníku tvaru „obrácené písmeno T“:

$$F_{s4} = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 102,6 \cdot 346,5 = 106653 \text{ N.}$$

- Síla na prostředním tvarovém střížníku tvaru „lahve“:

$$F_{s5} = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 69,17 \cdot 346,5 = 71902 \text{ N.}$$

- Síla na střižníku tvaru obdelníku:

$$F_{S6} = K \cdot S \cdot \tau_s = K \cdot t \cdot l \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 51 \cdot 346,5 = 53015 \text{ N}.$$

- Výsledná střižná síla – je součtem střižných sil a je zapotřebí zahrnout všechny střižníky, jelikož výpočty byly provedeny u stejných střižníků jen jedenkrát. Pak výsledná síla F_s se vypočítá:

$$F_s = 2 \cdot F_{S1} + 2 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + F_{S6} = 2 \cdot 16320 + 2 \cdot 9792 + 90873 + 106653 + 71902 + 53015 = 364875 \text{ N} \doteq 364,9 \text{ kN}.$$

- Protlačovací síla – výpočet je proveden dle vztahu, ve kterém je obsažen koeficient protlačování $c_2 = 0,05$, pak je protlačovací síla F_{pr} dána vztahem:

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s = 0,05 \cdot 364,9 = 18,245 \text{ kN} \doteq 18,25 \text{ kN}. \quad (4.1)$$

- Stírací síla – výpočet je dle vzorce, který obsahuje součinitel stírání $c_1 = 0,1$, pak stírací síla F_T je vypočítána dle následujícího vztahu:

$$F_T = c_1 \cdot F_s = 0,1 \cdot 364,9 = 36,49 \text{ kN} \doteq 36,5 \text{ kN}. \quad (4.2)$$

- Celková střižná síla – je vypočtena jakou součet výsledné střižné, protlačovací a stírací síly dle vztahu:

$$F_{cs} = F_v + F_{pr} + F_T = 364,9 + 18,25 + 36,5 = 419,65 \text{ kN}. \quad (4.3)$$

- Střižná práce – je vypočítána na základě celkové střižné síly a pomocí součinitele plnosti $\lambda = 0,55$ určeného z grafu na obr. 14. a dle vztahu (2.3):

$$A_s = \lambda \cdot F_{cs} \cdot t = 0,55 \cdot 419650 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 577,018 \text{ J} \doteq 577 \text{ J}.$$

- Střižná vůle – je určena dle vztahu (2.4) a zahrnuje součinitel závislý na stupni stříhu. Součinitel stupně stříhu byl zvolen $c = 0,015$ z rozmezí hodnot 0,005 – 0,025. Střižná vůle je pak vypočítána následovně:

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,015 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{346,5} = 0,447 \text{ mm}.$$

- Minimální výška střižnice – je určena dle celkové střižné síly:

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{sc}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 419650} = 34,75 \text{ mm}. \quad (4.4)$$

Tento výpočet je důležitý v případě, že by byla střižnice položena na dvou podpěrách a hrozilo by její prohnutí. Vzhledem k tomu, že je uvažováno, že střižnice bude celou plochou ležet na základové desce, lze tento výpočet brát jako informativní a tloušťku střižnice si navolit dle vhodné konstrukce nástroje.

- Kontrola střižníků na otláčení – kontrola je provedena u střižníku $\varnothing 3 \text{ mm}$. Jedná se o střižník s nejmenším průřezem, a v případě splnění kontroly na otláčení u tohoto střižníku není nutné již provádět výpočty pro další střižníky. Vztah je převzat ze vzorce (2.9) a jeho výpočet zahrnuje plochu osazení střižníku, která má průměr $\varnothing 6 \text{ mm}$. Dovolené napětí se pro ocel udává $\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa}$ a tato hodnota bude tedy porovnaná s vypočítanou hodnotou napětí σ :

$$\sigma = \frac{F_{S2}}{S_D} = \frac{9792}{\pi \cdot 3^2} = 346 \text{ MPa}.$$

Vypočítané napětí přesahuje téměř dvojnásobně dovolené napětí a řešení spočívá v použití opěrné kalené desky. Úpravy střížníku nebo další výpočty nejsou zapotřebí.

- Kontrola střížníků na vzpěr – výpočet je opět nutný především pro nejmenší průřez střížníku a pro střížníky, u kterých není možné zajistit vedení. Výpočet kritické délky vedeného a nevedeného střížníku zahrnuje výpočet momentu setrvačnosti průřezu **I** pro válcový střížník Ø 3 mm:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3^4}{64} = 33,6 \text{ mm}^4, \quad (4.5)$$

- Kritická délka nevedeného střížníku – výpočet je dle vztahu (2.13), který zahrnuje modul pružnosti v tahu pro ocel $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa a koeficient bezpečnosti $n = 2$, pak kritická délka je vypočítaná v následujícím vztahu:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{\pi \cdot E \cdot I}{4 \cdot n \cdot F_{s2}}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 33,6}{4 \cdot 2 \cdot 9792}} = 16,82 \text{ mm}.$$

- Kritická délka vedeného střížníku – výpočet je dle vztahu (2.12) a zahrnuje stejné parametry jako předchozí vztah:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{s2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 33,6}{2 \cdot 9792}} = 67,3 \text{ mm}.$$

Jelikož bude použita vodící deska u střížníků, tak je brán v potaz výsledek pro kritickou délku vedeného střížníku, který dle konstrukce nástroje vyhovuje.

- Rozměrová tolerance střížníku a střížnice – výrobní tolerance jsou určeny dle vztahů (2.16) a (2.17). Tyto tolerance jsou nutné ke stanovení rozměrů střížníku a střížnice. Především jsou prováděny pro funkční otvory součástí. Hodnoty tolerancí jsou dle ČSN 22 6015. Jako vzorový výpočet bude uveden otvor Ø 5 mm, který je děrován po ohybu dílce:

- Výpočet rozměru střížníku (2.x):

$$A_k = (A_j + \Delta) - \delta_k = (5 + 0,1)_{-0,040} = 5,1_{-0,040} \text{ mm}.$$

- Výpočet střížnice (2.x):

$$A_e = (A_j + \Delta + v) + \delta_e = (5 + 0,1 + 0,447)_{-0,063} = 5,547_{-0,063} \text{ mm}.$$

4.2 Výpočty pro technologii ohýbání

Řešená součást je výstřížek, který je následně ohýbán do tvaru U. Ohýbány jsou dvě rozdílně dlouhá ramena pod úhlem 90°. Ohyb doprovází dva vystřížené otvory, které podléhají deformaci. Výpočty jsou uvedeny pro ohyb tvaru U a zahrnují řešení minimálního a maximálního poloměru ohybu, délku ohýbaného ramene, odpružení, vůli mezi ohybníkem, ohybovou sílu a práci.

- Minimální poloměr ohybu – je důležité zkontrolovat minimální poloměr ohybu z důvodu možného porušení materiálu trhlinou na vnější straně ohybu. Navržená součást je orientovaná z důvodu výhodného technologického postupu výroby příčně na pás a ohyb je tedy situován podél směru vláken. Tato varianta nese větší riziko porušení materiálu, a proto je minimální poloměr ohybu zdvojnásoben. Pro výpočet minimálního poloměru ohybu byl použit vztah (2.22), který zahrnuje součinitel $c = 0,5$:

$$R_{min} = 2 \cdot c \cdot t = 2 \cdot 0,5 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ mm.}$$

Vypočítaný poloměr ohybu je shodný s poloměrem na ohýbané součásti. Tato hodnota je minimální, a tedy ji lze stále použít pro součást, která je ohýbaná podél směru vláken materiálu.

- Maximální poloměr ohybu – jelikož minimální poloměr ohybu splňuje hraničně spodní hodnotu a úhel ohybu je 90° , tak není třeba počítat maximální poloměr ohybu.
- Odpružení – je nežádoucí vliv pružné deformace materiálu a pro přesný ohyb je nutné tento jev zahrnout do výpočtů. Odpružení zahrnuje dílčí veličiny, které je nutné nejdříve vypočítat dle:

- Délka ramene l_u – veličina $r_m = 5 \text{ mm}$ je zvolena z rozmezí $(2 \div 6) \cdot t$ a $R_o = 2,5 \text{ mm}$:

$$l_u = r_m + R_o + 1,2 \cdot t = 5 + 2,5 + 1,2 \cdot 2,5 = 10,5 \text{ mm.}$$

- Součinitel polohy neutrální osy k – je stanoven dle následujícího vztahu a hodnota součinitele $x = 0,44$ je zvolena z tabulky 3:

$$k = 1 - x = 1 - 0,44 = 0,56.$$

Vztah pro odpružení materiálu je určen dle (2.25):

$$\text{tg } \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{10,5}{0,56 \cdot 2,5} \cdot \frac{250}{2,1 \cdot 10^5} = 6,7 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 0,38^\circ = 0^\circ 23' 2''$$

Vzniklé odpružení bude eliminováno zvýšením ohýbací síly v závěrečné fázi na sílu kalibrační, což výrazně sníží úhel odpružení. Nepatrná odchylka v úhlu je přípustná, jelikož protilehlé otvory budou svrtány na přípravku, a tím pádem nebude omezena funkčnost otvorů.

- Ohybová vůle – je určena dle vztahu (2.30), který zahrnuje součinitel $c_t = 0,15$ zvolená z rozsahu $0,1 - 0,15$, pak vypočítaná vůle je:

$$v_o = t + c_t \cdot t = 2,5 + 0,15 \cdot 2,5 = 2,875 \text{ mm.}$$

- Ohýbací síla – je nezbytným doplněním hodnoty celkové tvářecí síly pro volbu stroje. Její hodnota je vypočítána dle vztahu (2.28) pro ohyb U dle ČSN 22 7340, hodnota součinitele tření je zvolena $f = 0,15$ a hodnota $b = 36 \text{ mm}$ (celková šířka ohýbaných ramen):

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{36 \cdot 2,5^2 \cdot 250}{2,5 + 2,5} = 23063 \text{ N.}$$

- Kalibrační síla – síla potřebná k eliminaci odpružení, její hodnota je složena z kolmého průmětu kalibrované plochy $s_k = 45 \text{ mm}^2$, který byl stanoven pomocí programu inventor a měrného tlaku $p = 100 \text{ MPa}$, který je určen pro ocel třídy 12 do tloušťky materiálu 3 mm :

$$F_k = s_k \cdot p = 45 \cdot 100 = 45000 \text{ N.}$$

- Celková ohýbací síla – je dána součtem ohýbací síly a síly kalibrační:

$$F_{oc} = F_U + F_k = 23063 + 45000 = 68063 \text{ N} \doteq 68,1 \text{ kN.}$$

- Ohybová práce – je určena na základě vztahu (2.29), výpočet zahrnuje hloubku ohybnice h_o a součinitel plnosti diagramu $\psi = 0,55$, který je volen v rozmezí hodnot $(0,5 \text{ až } 0,65)$.

- Hĺoubka ohybnice – je vypočítána dle následujícího vztahu:

$$h_o = R_o + r_m + (5 \cdot t) = 2,5 + 5 + (5 \cdot 2,5) = 20 \text{ mm}.$$

- Ohybová práce – je dána vztahem viz:

$$A_U = \frac{F_U \cdot h_U \cdot \psi}{1000} = \frac{68100 \cdot 20 \cdot 0,55}{1000} = 749,1 \text{ J}.$$

5 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE

Návrh správného tvářecího stroje závisí především na velikosti celkové tvářecí síly. Celková tvářecí síla je dána součtem všech působících sil v nástroji, které jsou zahrnuty v celkové střižné síle a celkové ohýbací síle, tato síla musí být menší, než jmenovitá síla použitého stroje. Další důležité parametry jsou například velikost pracovního stolu lisu (nástroj by neměl přesahovat pracovní plochu lisu), upnutí stopky do beranu lisu, velikost zdvihu beranu a v poslední řadě jeho celkové rozměry. Velikost celkové tvářecí síly F_{ctv} je z důvodu bezpečnosti zvýšena o 20 % a je vypočítána dle vztahu [35]:

$$F_{ctv} = 1,2 \cdot (F_{cs} + F_{oc}) = 1,2 \cdot (419,65 + 68,1) = 585,3 \text{ kN}. \quad (5.1)$$

5.1 Volba stroje

Na základě hodnoty celkové tvářecí síly byl zvolen stroj APA – 60 od firmy CNC systémy s.r.o., který je zobrazen na obr. 43. Hlavní vyhovující parametry jsou jmenovitá síla lisu 600 kN a pracovní plocha 900 x 500 mm. Další charakteristika stroje je uveden v tabulce č. 5.



Obr. 43 Lis APA – 60 [41]

Tab. 5 Technické údaje stroje [41].

Typ	APA – 45	výstředníkový
Jmenovitá síla lisu	600	kN
Oblast podložky	900 x 500	mm
Max. výška formy	310	mm
Zdvih	20 – 90	mm
Rozměr lisu	1600 x 1000 x 2800	mm
Hmotnost stroje	5600	kg

Vybraný polotovar ve formě svitku umožňuje automatizaci celého procesu, ale stroj musí být doplněn o další zařízení, kterými jsou odvíjecí stojan a podávací zařízení. Toto příslušenství

bylo zvoleno od stejné firmy jako výstředníkový lis. Na obrázku č. 44 je zobrazen odvíjecí stojan a pod obrázkem je tabulka technických parametrů. [42]



Obr. 44 Odvíjecí stojan [42]

Tab. 6 Technické údaje odvíječky [42].

Typ	MT-300	výstředníkový
Max. šířka pásu	300	mm
Max. hmotnost pásu	800	kg
Max. průměr svitku	1200	mm
Vnitřní průměr svitku	Ø450 - 530	mm

Podávací zařízení automatizuje proces a zjednodušuje nástroj, který nemusí obsahovat různé dorazy (například zpětné dorazy při ručním zakládání do stroje). Podavač je vybaven přesnými servomotory, které určují krok podávání do nástroje. [43]



Obr. 45 Podavač pásu [43]

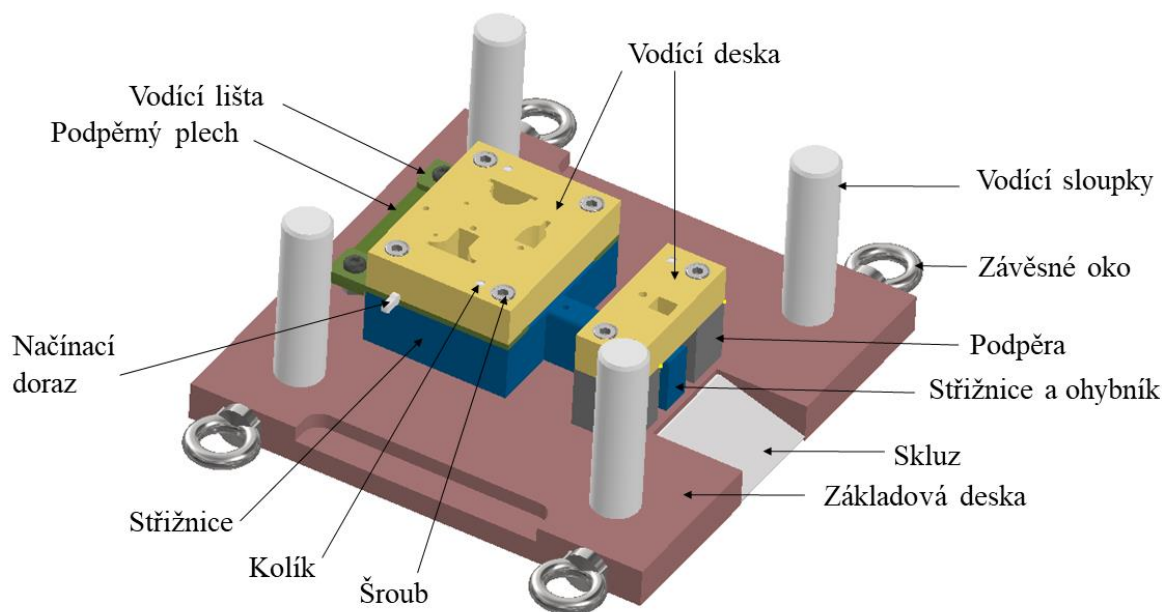
Tab. 7 Technické údaje podávacího zařízení [43].

Typ	NCF200	-
Max. šířka pásu	200	mm
Tloušťka plechu	0,2 – 3,2	mm
Přesnost podávání	±0,05	mm

6 POPIS A FUNKCE NÁSTROJE

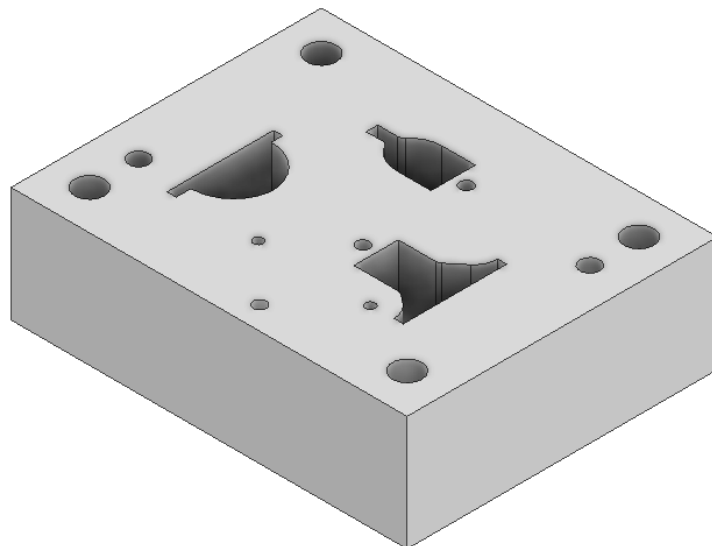
Sdružený postupový nástroj byl navržen na základě technologických předpokladů a postupů společně s výpočty pro technologii stříhání a ohýbání. Konstrukce nástroje byla sestavena v programu Autodesk Inventor, ze kterého jsou zobrazeny pohledy na následujících obrázcích. Sestava nástroje je složena ze dvou hlavních částí, které jsou uchyceny pomocí upínek k pracovnímu stolu a beranu lisu.

Spodní část nástroje viz obr. 46 je složena z několika komponentů, kterými jsou základní deska, střížnice, ohybník, vodící lišty, vodící sloupky a spojovací materiál. Základní deska je osazena vodícími sloupky, které jsou do ní nalisovány a zajišťují spojení s horní částí nástroje. Dále je na tuto desku přišroubovaná hlavní střížnice a vedlejší střížnice kombinovaná s ohybníkem. Spojení je zajištěno pomocí šroubů a k vystředění jsou použity kolíky. Hlavní střížnice dále tvoří sestavu s vodícími lištami a vodící deskou pro střížníky a hledáčky. Tato sestava je samostatně opět spojena čtyřmi šrouby a dvěma kolíky. V přední části jsou vodící lišty umístěny s přesahem, na který je přišroubován podpěrný plech. Tento plech zabraňuje otěr pásu o střížnici při podávání materiálu a zároveň zlepšuje navádění pásu plechu. Vedlejší střížnice a ohybník je vyrobena z jednoho kusu a vodící desku bylo nutné usadit pomocí podpěrných kvádrů do určité vzdálenosti nad střížnici. Vodící lišty zde již nejsou zapotřebí, jelikož plech je veden po kombinované střížnici. Základní deska obsahuje 4 otvory v bočních stěnách pro umístění závěsných ok. Otvory pro závěsná oka jsou zároveň určeny k umístění rozpěrných plochých tyčí, které zajistí pevnou aretaci celého nástroje při přepravě nebo manipulaci. Obdélníkový otvor v základní desce, kde je umístěn plech je určen ke skluzu zhotovené součásti. Tento plech je přišroubován do boční stěny výřezu.



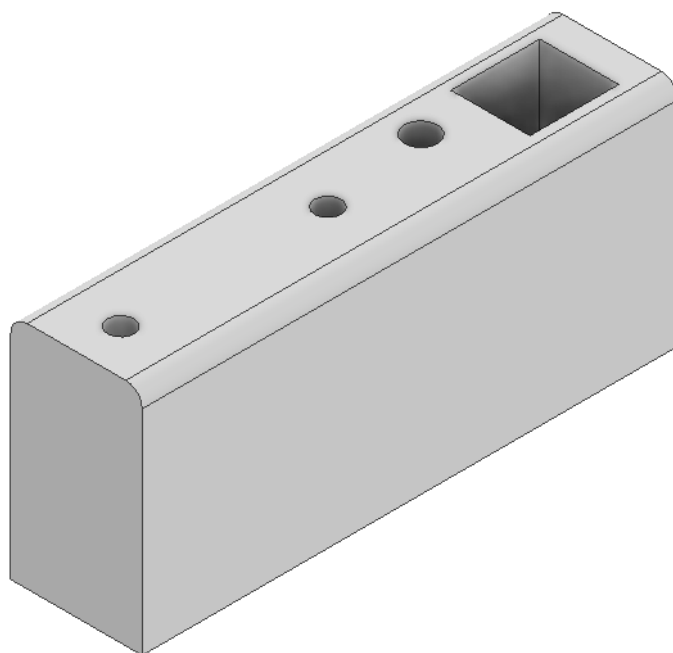
Obr. 46 Spodní část nástroje

Střižnice je hlavní funkční část a je zhotovena z jednoho kusu materiálu a je kalena. Obsahuje tři tvarové a tři válcové otvory pro střižníky, dva technologické otvory pro hledáček a po stranách jsou otvory pro šrouby a kolíky.



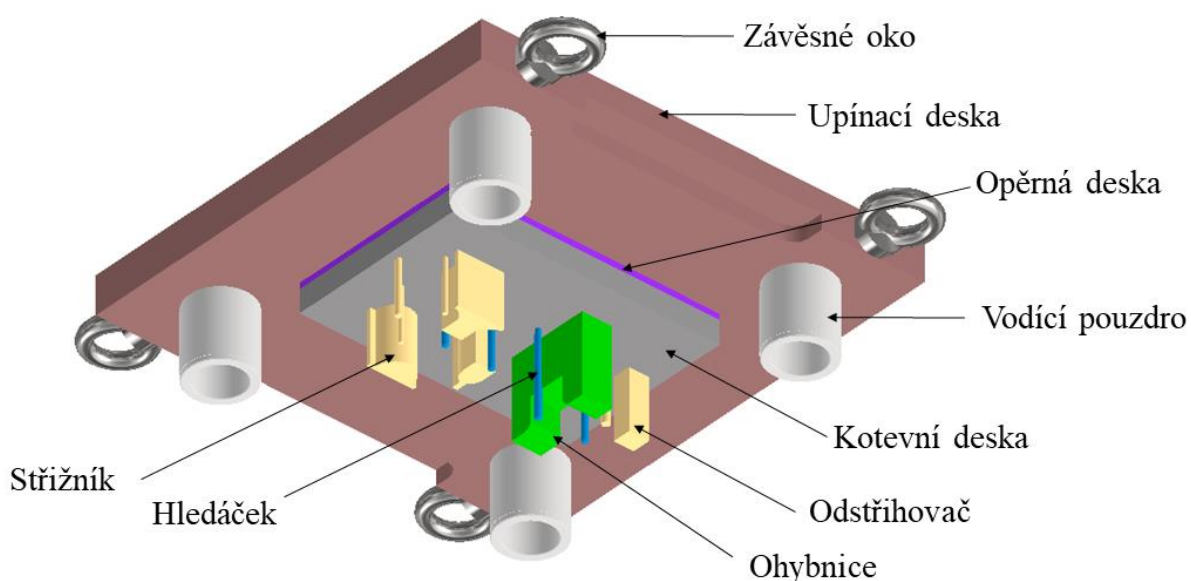
Obr. 47 Střižnice

Další funkční součást je kombinovaná střižnice s ohybníkem, která je opět vyrobena z jednoho kusu a tepelně zpracovaná kalením. V levé části obsahuje dva technologické otvory pro hledáček a v pravé části válcovou a obdélníkovou střižnici. Tato střižnice s ohybníkem zajišťuje po ohnutí součásti její vedení.



Obr. 48 Ohybník a střižnice

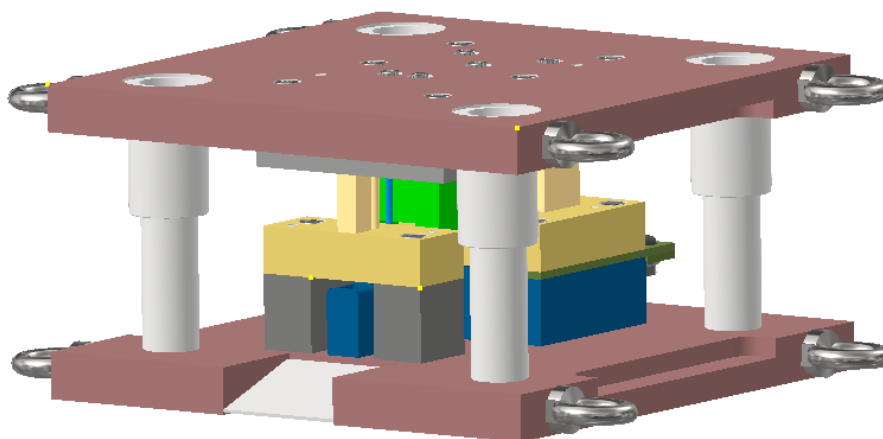
Horní část nástroje tvoří sestavu viz obr. 49, která obsahuje horní upínací desku, vodící pouzdra pro sloupky, opěrnou desku, kotevní desku, střížníky, ohybnici a hledáčky. Na horní upínací desce jsou nalisovány kluzná pouzdra, která jsou určena pro pohyb po vodících sloupcích. Mezi upínací deskou a kotevní deskou je vložena opěrná kalená deska, která zabraňuje vtlačování střížných a ohybových nástrojů do upínací desky. Do kotevní desky jsou upevněny střížníky, ohybnice a hledáčky. Sestava upínací, opěrné a kotevní desky je spojena šrouby a přesně vystředěna kolíky. Horní deska je opatřena vyfrézovanými drážkami pro upnutí nástroje do beranu lisu. Dále deska obsahuje boční otvory pro závěsná oka a umístění rozpěrných plochých tyčí, tak jako je tomu i u spodní základové desky.



Obr. 49 Horní část nástroje

Střížníky jsou umístěny do kotevní desky pomocí osazení, které se opírá o opěrnou desku. Druhá varianta je přišroubování střížníků přes upínací desku šrouby a dosedací plocha je opět opřena o opěrnou desku.

Sestava nástroje ve složeném stavu je zobrazena na obr. 49, v horní poloze nástroje jsou střížníky zasunuty v kotevní desce. Nesmí se stát, že při zdvihu by střížníky vyjely, jelikož by mohlo dojít k naražení do vodící desky.



Obr. 50 Kompletní sestava nástroje

7 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na výrobu plechového dílce, který plní funkci řadicí vidličky v převodovce motocyklu Jawa 50. Dílec bude vyroben z polotovaru pásu plechu o tloušťce 2,5 mm a materiálu 16MnCr5, který je vhodný k tváření za studena v žíhaném stavu a následně vhodný k tepelnému zpracování. Předpoklad na výrobní sérii je 25 000 ks/rok.

Nejdříve byly nastíněny možné technologie výroby, kterými jsou dělení laserem, plazmou a vodním paprskem, stříhání v postupovém nástroji, ohýbání a ohraňování. Jako nejvhodnější byla zvolena technologie výroby ve sdruženém postupovém nástroji, který kombinuje stříhání a ohýbání v jednom nástroji.

Na základě volby technologie výroby byla vytvořena rešerše zvolených technologií stříhání a ohýbání. Byly nastíněny pravidla a předpoklady jednotlivých metod a výpočtové vztahy, které byly potřebné k dalšímu postupu návrhu výroby.

Návrh výroby byl zahájen posouzením technologičnosti zadaného dílce a dále byl určen rozvinutý tvar součásti. Dále bylo zvoleno uspořádání výstřížku na pás plechu, které mělo vliv na zvolení postupu výroby v nástroji, kdy byly představeny tři varianty výroby. Jako nejvhodnější byla zvolena varianta č. 2 s příčným uspořádáním výstřížků na plech a výrobou v šesti krocích. Postup byl navržen v následujícím sledu operací: prostřížení technologického otvoru pro hledáček současně s otvory pro dokončení obráběním, vystřížení tvaru, ohnutí, prostřížení otvoru po ohybu kvůli deformaci a odstřížení dílce od pásu plechu.

Následně byly provedeny technologické výpočty pro zvolený výrobní postup a konstrukci nástroje. Byl proveden výpočet dílčích střížných sil jednotlivých střížníků, které byly následně zkontrolovány na otláčení a vzpěr. Výpočty u ohybu byly stanoveny pro zjištění odpružení a ohybové síly. Na základě zjištěných sil (střížných a ohybových) byla určena celková tvářecí síla 585,3 kN.

Na základě výsledku celkové tvářecí síly byl zvolen výstředníkový lis APA-60. Stroj je doplněn o příslušenství, které umožňuje automatizaci výroby. V první řadě je to odvíjecí stojan, který je nezbytný pro výrobu ze svitku a další zařízení je podavač plechu, který stanovuje přesný krok podávání plechu do nástroje.

V závěrečné části byl zobrazen 3d model nástroje, který se skládá ze dvou hlavních částí. Sestavy těchto částí byly jednotlivě popsány a byla vysvětlena jejich funkčnost. Dále byly zobrazeny jednotlivé funkční díly.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ÚHELNÍK S PROLISEM 90 X 90 X 65 X 2 MM, KPL 1. *Hrebik* [online]. Lubná: PINIE Lubná [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.hrebik.cz/uhelnik-s-prolisem-90-x-90-x-65-x-2-mm-kpl-1.html>
 2. Plechová krabička - s pantem na pastilky 95x60x21mm. *FOTO-DÁRKY Večerek* [online]. Teplice: Večerek, c2021 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.hrebik.cz/uhelnik-s-prolisem-90-x-90-x-65-x-2-mm-kpl-1.html>
 3. Střešní hák nastavitelný - NEREZ - pro taškové střechy. *SOLAR SUN* [online]. Praha: BUTTERFLY VISION, c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.solarsun.cz/stresni-hak-nastavitelny-nerez-pro-taskove-strechy/>
 4. Dojezdová kapsa LAST S doraz spodní pro posuvnou samonosnou bránu pro STEGE SB/SZ. *GARDON INT s.r.o.: Průmyslová a garážová vrata* [online]. Jindřichův Hradec: Čejka, c2014 - 2021 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.gardon.cz/dojezdova-kapsa-last-s-doraz-spodni-pro-posuvnou-samonosnou-branu-pro-stege-sb-sz-z1252.html>
 5. Strojírenská technologie. *Strojírenství - Vše co student potřebuje vědět* [online]. c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/strojirensk-technologie.html>
 6. Úvod. *Katedra vozidel a motorů: Fakulta strojní Technická univerzita v Liberci* [online]. Liberec: Katedra vozidel a motorů, c2005-2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1886>
 7. Manuální převodovka. *Elektronická učebnice* [online]. 2015 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1476>
 8. Návod na složení motoru. *Jawa 50 Pionýr* [online]. Ševčík, c2003–2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://www.jawa-50.cz/clanek/navod-na-slozeni-skladani-generalku-motoru.html>
 9. Galvanické zinkování. *Galva: Galvanické zinkování* [online]. Prostějov: Galva [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.galva.cz/zinkovani/>
 10. Fosfátování. *Galva: Služby v oblasti povrchových úprav* [online]. Prostějov: Galva [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.galva.cz/fosfatovani/>
 11. Vidlička řazení - Jawa Bizon, 634, 638, 640, ČZ 472 - kovaná. *ETovar.cz* [online]. Cerhenice: Technitrade Limited [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://etovar.eu/cs/jawa-634/3032-ddmg63324012.html>
 12. Řadící vidlička převodovky APRILIA V4 1000. *Yshop* [online]. Praha: A Spirit, c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.yshop.cz/radici-vidlicka-prevodovky-aprilia-v4-1000-product-171868>
 13. Hlavní vidlička řazení XMOTOS 250cc V4. *XMOTOS* [online]. Rapotín: Xmotos, c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.xmotos.cz/cs/dily-motoru-250cc-h2o-v4/446-hlavni-vidlicka-razeni-xmotos-250cc-v4-2500040065659.html>
 14. Chemické složení oceli ČSN 14 220. *JZK: Prémiové nástrojové oceli* [online]. Bučovice: JZK [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-14-220-17131-16mncr5/>
 15. Ocel 14 220. *Ústav strojní technologie: Fakulta strojního inženýrství* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_14220.pdf
 16. CNC plasma cutter. *Direct industry* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/selmani/product-222273-2265967.html>
 17. Co je obloukové plazmové řezání?. *Esab* [online]. c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://esab.com/cz/eur_cs/esab-university/blogs/what-is-plasma-arc-cutting/
 18. Dělení a svařování svazkem plazmatu. *Obor technologie svařování a povrchových úprav: Studijní opory* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z:
-

- https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_deleni_a_svarovani_plasmou_2013_mrna.pdf
19. Řezání vodním paprskem. *KT MetSteel* [online]. Praha: KT MetSteel [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/rezani-vodnim-paprskem>
 20. Řezání laserem: Zakázková kovovýroba. *Řezání Laserem: Zakázková kovovýroba* [online]. Praha: Cut-Tech, c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://rezani-vypalovani-laserem.cz/>
 21. Technologie využívající laser. *Obor technologie svařování a povrchových úprav: Studijní opory* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_svarovani_laserem_2013_mrna.pdf
 22. Nástrojárna FESTOOL s.r.o. *Festool* [online]. Česká Lípa: FESTOOL [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://www.vyrobaforem.cz/>
 23. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
 24. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
 25. CNC ohraňování. *AMADEUS FIN s.r.o.* [online]. Kamenice nad Lipou: Dvořák [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.amadeusfin.cz/www.amadeusfin.cz/21864/cnc-ohranovani/index.html>
 26. Ohýbání - postup a metody. *Triumpf* [online]. Ditzingen: TRUMPF SE + Co. KG (Holding), c2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/ohybani/
 27. *Technologie II. Technická univerzita Liberec: Fakulta strojní* [online]. Liberec: Katedra strojírenské technologie [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
 28. Technical overview. *LogoPress* [online]. ZA Les Salines 25115 Pouilly Les Vignes - FRANCE: LOGOPRESS [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.logopress.com/products.php>
 29. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
 30. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, c2001-2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
 31. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
 32. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
 33. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. Second edition. New York: McGraw-Hill, [2006]. McGraw-Hill handbooks. ISBN 00-714-6271-6.
 34. *Technologie II. Technická univerzita Liberec: Fakulta strojní* [online]. Liberec: Katedra strojírenské technologie [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
 35. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
 36. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 37. Akademie tváření: *Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, c2001-2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>
-

38. FOREJT, Milan. Ročníkový projekt I. -Tváření, svařování: sylabus pro studium bakalářského studijního programu strojírenství. 2002. Brno, 2002, 89 s. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_2019_forejt.pdf
 39. TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.
 40. LIDMILA, Zdeněk. Tvářecí nástroje. Brno, 2019.
 41. Prodej výstředníkových lisů. *CNC systemy s.r.o.* [online]. Brno: Kostka [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.cncsystemy.eu/konstrukce/prodej-hotovych-stroju/prodej-vystrednikovych-lisu/>
 42. Odvíječe plechu k lisům. *CNC systemy s.r.o.* [online]. Brno: Kostka [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.cncsystemy.eu/konstrukce/prodej-hotovych-stroju/odvijece-plechu-k-lisum/>
 43. Podavače plechu k lisům. *CNC systemy s.r.o.* [online]. Brno: Kostka [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.cncsystemy.eu/konstrukce/prodej-hotovych-stroju/podavace-plechu-k-lisum/>
 44. Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.
 45. *CITACE PRO: generátor citací* [online]. Brno: Citace.com, c2012-2020 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/info>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A_e	jmenovitý rozměr střižnice	[mm]
A_j	jmenovitý rozměr otvoru	[mm]
A_k	jmenovitý rozměr střižníku	[mm]
A_s	střižná práce	[J]
A_U	práce pro ohýbání do tvaru U	[J]
A_V	práce pro ohybu do tvaru V	[J]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
c_t	součinitel zahrnující vliv tření součásti o nástroj	[-]
D_{sv}	vnější průměr svitku plechu	[mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku plechu	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
f	součinitel tření	[-]
F_{0max}	celková (maximální) ohybová síla	[N]
F_{cs}	celková střižná síla	[N]
F_i	dílčí střižná síla	[N]
F_k	kalibrační síla	[N]
F_{krit}	kritická vzpěrná síla dle Eulera	[N]
F_s	střižná síla	[N]
F_{si}	dílčí střižné síly	[N]
F_{pr}	protlačovací síla	[N]
F_T	stírací síla	[N]
F_U	ohýbací síla při ohybu do tvaru U	[N]
F_V	ohýbací síla při ohybu do tvaru V	[N]
F_v	výsledná střižná síla	[N]
F_x	součet dílčích sil	[N]
F_y	součet dílčích sil	[N]
H	tloušťka střižnice	[mm]
h_U	dráha beranu lisu od dosednutí na materiál po konečnou fázi	[mm]
h_V	dráha beranu lisu od dosednutí na materiál po konečnou fázi	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
K	součinitel otupení břitu	[-]
k	součinitel určující polohu neurální plochy závislý na R_o	[-]
h_{el}	hloubka elastického vniknutí	[mm]
h_{pl}	hloubka plastického vniknutí	[mm]
h_s	hloubka stříhu	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
L	rozvinutá délka výchozího polotovaru	[mm]
l_i	Vzdálenost dílčí síly od osy	[mm]
l_{krit}	kritická délka střižníku	[mm]
l_n	délka neutrální plochy v místě ohybu	[mm]
l_{red}	redukovaná délka střižníku	[mm]
L_{sv}	délka svitku plechu	[mm]
l_u	rameno ohybu	[mm]
l_v	vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
n	koeficient bezpečnosti	[-]
n_v	počet výstřížků na pásu plechu	[ks]

p	měrný tlak po kalibrování	[MPa]
R_0	poloměr ohybu	[mm]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
r_m	poloměr zaoblení hran ohybnice	[mm]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
S	plocha stříhu pásu	[mm ²]
S_k	Kalibrační plocha	[mm ²]
S_s	plocha stříhu	[mm ²]
S_{sv}	plocha pásu plechu	[mm ²]
S_v	plocha výstřížku	[mm ²]
t	tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
v_0	vůle ohybová	[mm]
X	vzdálenost polohy těžiště od osy	[mm]
Y	vzdálenost polohy těžiště od osy	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
Δ	tolerance jmenovitého otvoru	[mm]
δ_e	výrobní tolerance střížnice	[mm]
δ_k	výrobní tolerance střížníku	[mm]
λ	Součinitel plnosti	[-]
μ	koeficient závisící na stupni namáhání střížníku	[-]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
σ	velikost napětí na dosedací ploše střížníku	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
τ_s	střížný odpor	[MPa]
ψ	součinitel plnosti diagramu	[-]
η	využití pásu plechu	[%]
