



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KONZOLY

MANUFACTURING OF BRACKET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROSTISLAV STRAČÁNEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Rostislav Stračánek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba konzoly

v anglickém jazyce:

Manufacturing of bracket

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby delta konzoly z ocelového plechu. Součástka slouží jako držák police, je prostorového tvaru s několika otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. 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.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
6. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

STRAČÁNEK Rostislav: Výroba konzoly

Bakalářská práce řeší návrh výroby konzoly, která slouží jako podpěra polic. Součást je zhotovena z konstrukční oceli 11 320 tloušťky 2 mm. Velikost výrobní série je 30 000 ks/rok. Jako nejoptimálnější technologie výroby byla zvolena metoda postupového stříhání a metoda ohýbání. Na základě technologických a konstrukčních výpočtů byl navržen nástroj pro postupové stříhání a nástroj pro ohýbání. Pro nástroje byla vytvořena výkresová dokumentace. Jako výrobní stroj byl zvolen výstředníkový lis S 250 s jmenovitou silou 2 500 kN. V ekonomické části práce je spočítaná cena jednoho výrobku, která činí 41 Kč.

Klíčová slova: Ocel 11 320, konzola, technologie stříhání, technologie ohýbání, lis S250

ABSTRACT

STRAČÁNEK Rostislav: Manufacturing of bracket

Bachelor thesis deals with the manufacture of bracket, which serves as support rack. This component is produced from construction steel 11 320 of width 2 mm. The production lot of 30 000 pieces a year. As a most optimal technology were chosen technology of shearing and technology of bending. On the basis of technological and engineering calculations there was designed a tool for technology of shearing and tool for bending technology. There was created a drawing specification for tools. As a manufacturing machine was selected eccentric press S 250 with a nominal power of 2500 kN. In the economic part of thesis is calculation of one product, which is 41 CZK.

Keywords: steel 11 320, bracket, technology of shearing, technology of bending, S250 press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRAČÁNEK, Rostislav. *Výroba konzoly*. Brno, 2015. 42 s, 5 výkresů, 1 příloha, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 2.6.2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD 9

1 ROZBOR AKTUÁLNÍHO STAVU 10

1.1 Výrobní možnosti 11

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ 14

2.1 Technologie stříhání 14

2.1.1 Střížná vůle 15

2.1.2 Střížná síla a práce 16

2.2 Technologie ohýbání 17

2.2.1 Minimální a maximální poloměr ohybu 18

2.2.2 Velikost odpružení 19

2.2.3 Ohybová síla a práce 19

2.3 Technologičnost součásti 20

2.4 Nástroje 21

2.5 Stroje 25

2.5.1 Těžiště výslednice sil 26

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY 27

3.1 Rozvinutý tvar 27

3.2 Nástřihový plán 28

3.2.1 Technologické výpočty návrhů uspořádání 28

3.2.2 Volba nástřihového plánu a postup stříhání 31

3.3 Výpočty pro technologii stříhání 32

3.5 Výpočty pro technologii ohýbání 36

3.6 Popis nástrojů 37

3.7 Volba pracovního stroje 39

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 40

5 ZÁVĚRY 42

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků a tabulek

Seznam příloh a výkresů

ÚVOD [5],[23]

Strojírenská technologie představuje odvětví techniky, které se zabývá tvorbou výrobních postupů pro vyhotovení součástí s ohledem na co nejnížší výrobní náklady a nejkratší výrobní časy. Díky neustálému rozvoji v oblasti výrobních technologií se naskytuje vyhotovení požadované součásti mnoha způsoby. Mezi nejrozšířenější technologie společně s obráběním, odléváním, svařováním patří technologie tváření.

Technologie tváření zastupuje jednu z těch nejproduktivnějších metod výroby. Jedná se o proces, při kterém dochází k trvalé změně tvaru vlivem působení vnější síly, přičemž nedochází k třískovému úběru materiálu. Kromě vysoké produktivity výroby jsou dalšími výhodami především rozměrová přesnost, kvalita výrobku, úspora materiálu apod. Podle působení vnějších sil se tváření rozděluje na objemové a plošné. Při objemovém tváření dochází k přeskupení objemu materiálu a tím ke změně průřezu. Při plošném tváření se dosáhne prostorového tvaru součásti bez změny tloušťky výchozího materiálu.

Mezi plošné tváření se řadí technologie stříhání, ohýbání, tažení apod. Příklady součástí vyhotovených technologií stříhání a ohýbání jsou zobrazeny na obr. 1.

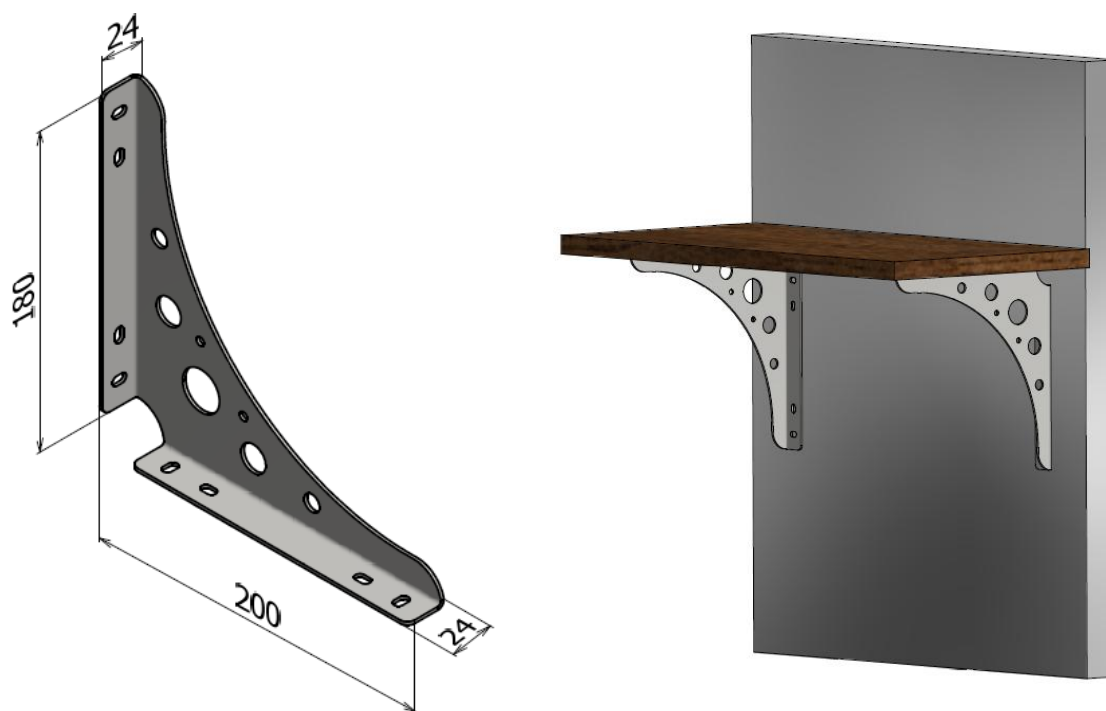


Obr. 1 Příklady výrobků vyhotovené technologií stříhání a ohýbání [23]

1 ROZBOR AKTUÁLNÍHO STAVU [8],[10],[22]

Vyráběná součást se nazývá delta line konzola (obr. 2.). Slouží jako podpora polic, které jsou nezbytným doplňkem každého pokoje, skladu, kanceláře či garáže. Tvoří ji ocelová konstrukce s kruhovými elementy různých průměrů, které vytvářejí příjemný kontrast, například mezi kovem konzoly a dřevem police. Výrobní série je plánovaná na 30 000 kusů za rok. Na součást nejsou kladeny zvýšené nároky na rozměrovou a geometrickou přesnost a na strukturu povrchu. Nenacházejí se na ni tolerované rozměry.

Konzola je vyráběna z plechu tloušťky 2 mm. Největší rozměry konzoly jsou 200 x 200 mm. Na bočních stěnách, které jsou ohnuty do pravého úhlu, se nacházejí čtyři otvory pro šrouby s rozměry 5,6 x 9,1 mm. Šrouby dále spojují konzolu s policí a zdí. Všechny rozměry součásti jsou uvedeny na výkresu.



Obr. 2 Delta line konzola

Součást nebude významně zatěžována. Slouží jako podpora, kde bude namáhána staticky. Z hlediska působícího namáhání je nezbytné, aby měl materiál vyhovující mechanické vlastnosti. Materiál musí také vykazovat dobrou tvařitelnost pro operce stříhání a ohýbání. Součást bude práškově lakována. Povrchová úprava chrání materiál před možným vznikem koroze.

Po zvážení výše uvedených požadavků na výrobu součásti byla zvolena konstrukční nelegovaná ocel třídy 11 320. Tato ocel je dobře tvárná za tepla i za studena a je vhodná pro dané technologie výroby. Mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení vlastnosti oceli 11 320 [8]

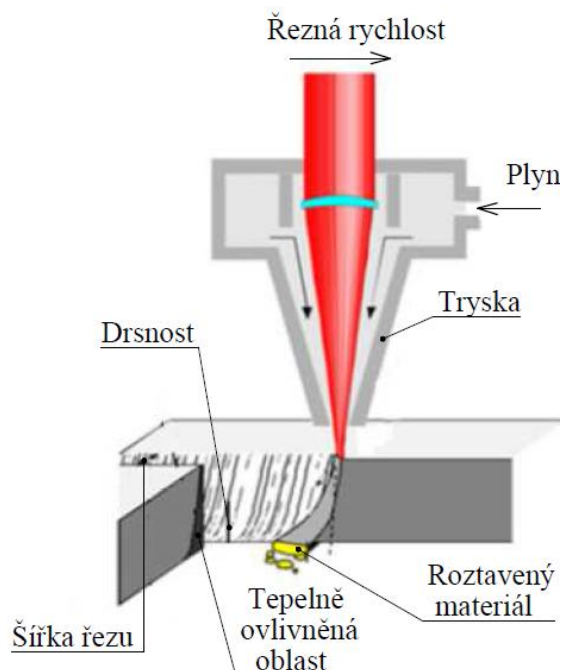
Materiál	Ocel 11 320 (1.0332)		
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Mez kluzu Re [MPa]
	270-370	30	260
Chemické složení	Uhlík - C [%]	Síra - S [%]	Fosfor - P [%]
	0,11	0,045	0,045

1.1 Výrobní možnosti [5],[7],[10],[11],[13],[15],[19],[21],[24]

Na základě rozboru součásti, požadavků na kvalitu a nákladů na výrobu je zapotřebí zvolit nejvýhodnější metodu technologie výroby, kterou se bude řešená součást vyrábět. V první řadě je zapotřebí vyhotovení rozvinutého tvaru součásti. Z klasických konvenčních metod se jedná o plošné tváření, jako je stříhání. Dále je možné využít nekonvenčních metod, jako je např. laser, vodní paprsek, apod. Poté musí být provedeno ohnutí na stranách součásti do pravého úhlu vhodnou metodou technologie ohýbání. Pro výrobu zadané součásti připadají v úvahu tyto metody:

- Výroba rozvinutého tvaru součásti pomocí laseru

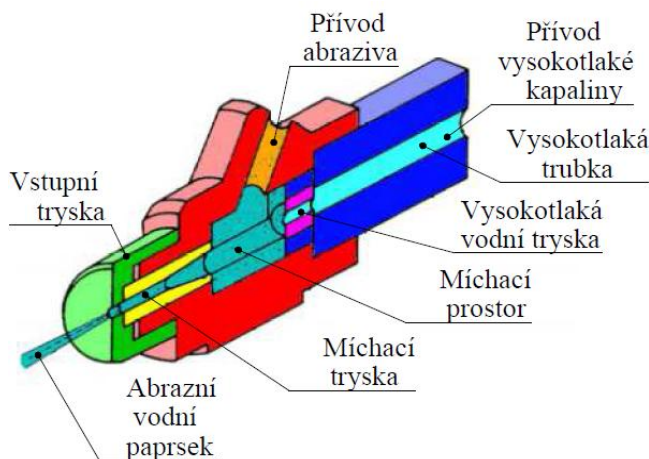
Podstata metody řezání laserem (obr. 3) je založena na přeměně světelné energie na tepelnou. Fokuseovaný laserový svazek fotonů je přiveden ze zdroje do řezací trysky. Průchodem úzkého světelného paprsku směřovaného do ohniska řezu se materiál nahřeje, nataví a poté odpaří. Kvalita řezu, rychlost řezání a šířka řezné spáry jsou závislé na způsobu řezání, druhu používaného laseru a druhu a tloušťce řezaného materiálu. Kvalita řezu dosahuje $Ra\ 3,6\ \mu m$ až $12\ \mu m$. Šířka řezné spáry bývá $0,02\ mm$ až $0,2\ mm$. Výhodami jsou vysoká produktivita, přesnost a kvalita řezu. Možnost řezat složité tvary. Dále vysoká řezná rychlost a úzká řezná spára. Nevýhodou jsou vysoké investiční a provozní náklady, omezení tloušťky řezaného materiálu a možného vzniku opálení řezné hrany.



Obr. 3 Princip laseru [10]

- Výroba rozvinutého tvaru součásti pomocí vodního paprsku

Podstatou metody je dělení materiálu obroušováním přívodem pracovního tlaku vodního paprsku vznikajícího v řezací hlavě zakončené tryskou, viz obr. 4. Pracovní tlak dodávaný ze zdroje vysokotlakého čerpadla se pohybuje v rozmezí 800 až 4100 Bar. Pro řezání měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek o průměru $0,15$ až $0,30\ mm$. Pro dělení tvrdých materiálů jako oceli, nerezové plechy, barevné kovy, ušlechtilé slitiny, litiny apod. se využívá hydroabrazivní vodní paprsek o průměru zrna zhruba $0,8$ až $1,5\ mm$. Jako abrazivo jsou nejčastěji používány granátový či křemičitý písek nebo olivín zelený. Kvalita i přesnost v místě řezu jsou dány tloušťkou materiálu a posuvovou rychlostí řezací hlavy. Drsnost v horní kontuře se pohybuje pod $Ra3,2\ \mu m$ a ve spodní okolo $Ra3,2\ \mu m$. Výhodou je univerzálnost řezání mnoha druhů materiálu v tloušťkách od $0,1\ mm$ do $400\ mm$. Dělený materiál není silově namáhán ani porušen a oblast řezné

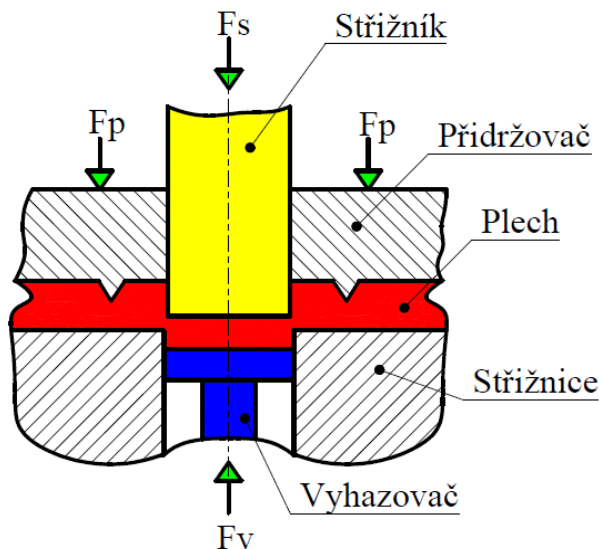


Obr. 4 Princip vodního paprsku [21]

hrany není tepelně ovlivněna. Jedná se o studený řez bez otřepů. Nevýhodou je možná povrchová koroze, která vzniká při kontaktu s vodou. Musí se provádět vysoušení. U silnějších materiálů dochází k deformaci kontury řezu ve spodní hraně vlivem výběhu paprsku. Dále velmi hlučný provoz, vysoké pořizovací a provozní náklady.

- Výroba rozvinutého tvaru součásti přesným stříháním

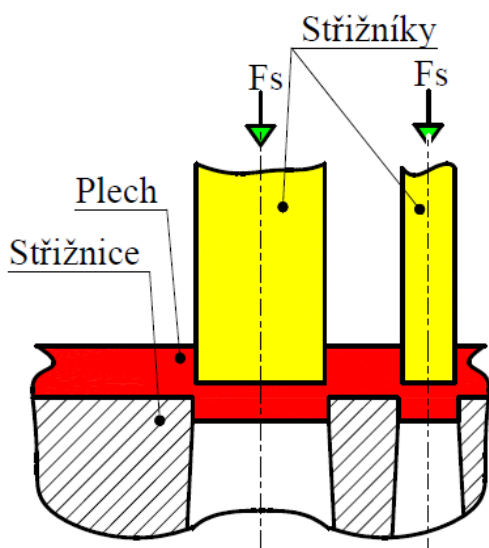
Jedná se o proces, jehož průběh závisí na vyvození trojosého stavu napjatosti v místě stříhu. Stříhaný materiál je v počáteční fázi sevřen mezi přidržovač a střížnici. Tím je tlačná hrana vtlačována do plechu ještě před vlastním stříhem, viz obr.5. Nejvýhodnější rozložení hlavních napětí je právě v oblasti stříhu, kde vzniká trojosá napjatost. Přesným stříháním se dosahuje vysoká kvalita stříhaných ploch. Tolerance ve stupni přesnosti se pohybují v rozmezí IT6 až IT9. Dosažená drsnost střížné plochy bývá v rozmezí $Ra0,4 \mu m$ až $Ra1,6 \mu m$. Kolmost střížné plochy do tloušťky plechu 4 mm bývá v rozmezí 0,01 mm až 0,02 mm. Nevýhodami jsou drahé pořizovací nároky na stroje a nástroje. Technologie přesného stříhání je ekonomicky výhodná při velkosériové výrobě (minimálně 40 000 kusů).



Obr. 5 Princip přesného stříhání [5]

- Výroba rozvinutého tvaru součásti postupovým stříháním

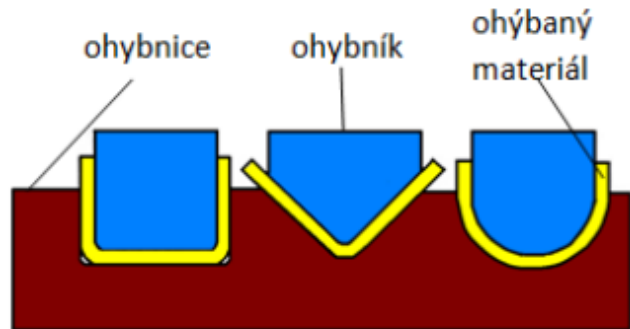
Podstatou metody je postupné vystřížení výrobku do požadovaného tvaru rozložené do několika kroků, viz obr. 6. V prvních krocích jsou střížníky děrovány otvory a v posledním kroku je součást vystřížena. Počet kroků je závislý na složitosti součásti. Všechny střížníky se pohybují najednou při zdvihu beranu lisu. Běžná dosahovaná přesnost je v rozmezí IT14 až IT15. Pro zvýšení přesnosti IT8 až IT10 se využívá vodících stojánku a hledáček. Výhodami jsou jednodušší nástroje, produktivita práce a velké využití materiálu. Další výhodou jsou nižší finanční nároky na pořízení nástrojů oproti technologiím řezání laserem, vodním paprskem nebo ceny nástrojů pro přesné stříhání. Nevýhodami jsou zpevnění střížné plochy, nerovnost a drsnost povrchu.



Obr. 6 Princip postupového stříhání [7]

- Ohnutí bočních hran technologií ohýbání

Podstatou metody je uložení polotovaru mezi opěry pevné části nástroje, ohybnice tak, aby při přímočarém pohybu pohyblivé části, ohybníku na tvářený plech došlo k požadovanému ohybu součásti. Nejčastěji se provádí ohyb do tvaru U a do tvaru V. Nejběžněji lze ohyby provést v ohýbacím nástroji (ohýbadlo) nebo na ohraňovacím lise.



Obr. 7 Ohýbání [5]

Výroba rozvinutého tvaru dílce pomocí nekonvenčních metod laserem a vodním paprskem je sice rychlá a přesná, ale zato velice drahá. Nevýhodou je také přesun polotovaru do ohýbadla, čímž by se prodloužil výrobní čas. Podobné je to i u výroby přesným stříháním, která je taktéž velice přesná, ale požadavky na přesnost zadané součásti nejsou tak vysoké a cena na pořízení nástroje by byla drahá. Výroba ve sdruženém postupovém nástroji, kde se skloubí stříhání i ohýbání, by mohla být přijatelná, ale nevýhodou je složitost konstrukce nástroje, přičemž by se zvýšila výrobní cena.

Následné ohyby podle zadané součásti jsou provedeny po stranách do pravého úhlu ve tvaru V jako na obr 7. Do tohoto tvaru by se dalo docílit jak v ohýbadle tak v ohraňovacím lise. Z hlediska efektivity práce by výroba na ohraňovacím lise byla časově náročná. Po prvním ohnutí by se součást musela otočit a provedl by se druhý ohyb.

Z výše zhodnocených variant se jeví s ohledem na rozměrovou přesnost a funkci při plánované výrobě 30 000 kusů jako neoptimálnější způsob výroby zadané součásti technologie postupového stříhání na postupovém stříhadle, kde se vyhotoví rozvinutý tvar součásti a dále technologie ohýbání v ohýbadle, kde bude přístřih ohýbán na jeden zdvih do požadovaného tvaru. Nevýhodou je opět přesun polotovaru ze stříhadla do ohýbadla, ale z pohledu výrobních nákladů bude tato metoda i tak nejvhodnější.

Při symetrickém tvaru součásti se jeví jako výhodné ohýbat dvě součásti najednou. Dva přístřihy se vhodně vloží mezi ohybník a ohybnice tak, aby se ohnuly všechny hrany obou součástí zároveň. Ohybník bude tedy čtvercového průřezu. Podle tohoto navrhnutého způsobu ohýbání se bude uvažovat o ohýbání do tvaru U.

Teoretická část a návrh výroby budou zaměřeny na tyto zvolené postupy technologie výroby.

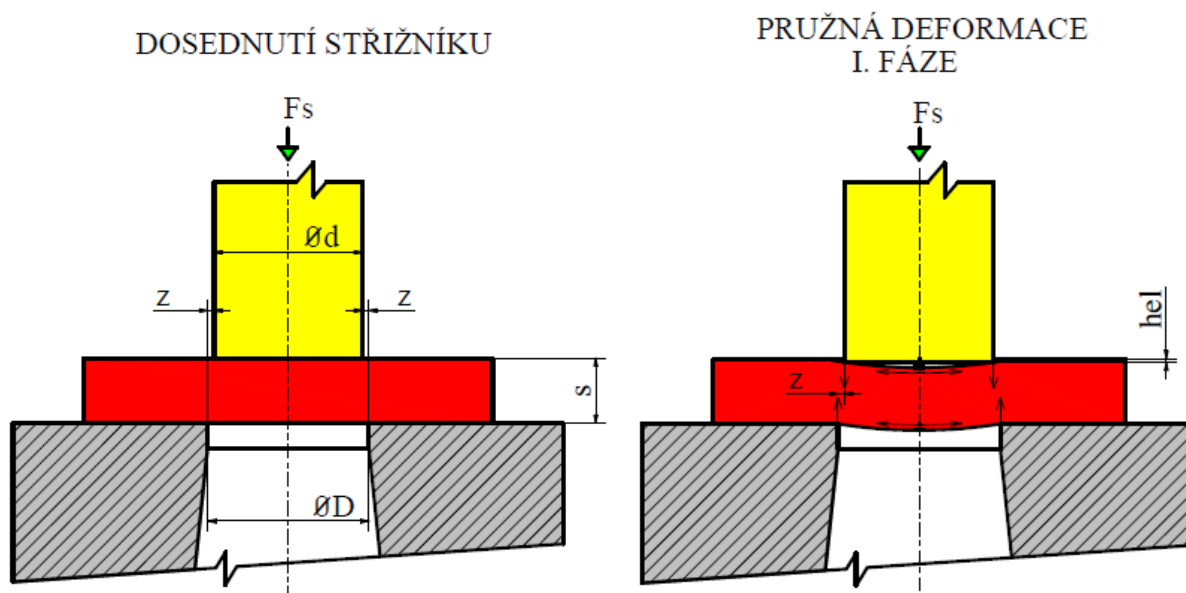
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [5],[15]

Technologie stříhání a ohýbání se řadí mezi technologie plošného tváření. Nemění se objem ani průřez zpracovávané součásti, ale její tvar. Proces probíhá převážně za studena. Výhodou je vysoká využitelnost materiálu, přesnost a produktivita.

2.1 Technologie stříhání [2],[5],[7],[15]

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších technologických metod plošného tváření. Je zakončena porušením soudržnosti tvářeného materiálu lomem v ohnisku plastické deformace. Při stříhání působí na tvářený materiál dvojice sil, které jsou tvořeny dvěma břity nožů pohybující se proti sobě. Silová dvojice zároveň vytváří střížné, smykové napětí nutné ke vzniku lomových trhlin. Materiál se odděluje postupně nebo současně podél křivky stříhu, která je tvořena obvodem střížných nástrojů, kterými jsou střížník a střížnice

Průběh stříhání je možno rozdělit na 3 základní fáze. Postupně dochází ke vzniku pružné (elastické) deformace, která se dále mění v trvalou (plastickou) a v konečné fázi nastává oddělení požadovaného tvaru (výstřížku).

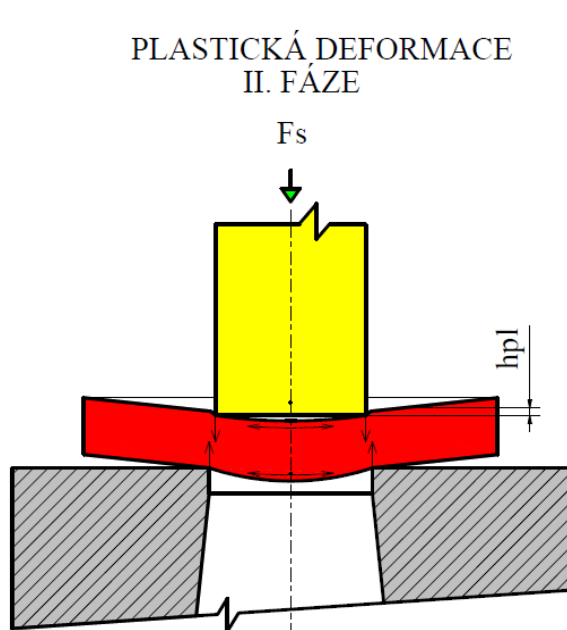


Obr. 8 Pružná deformace [7]

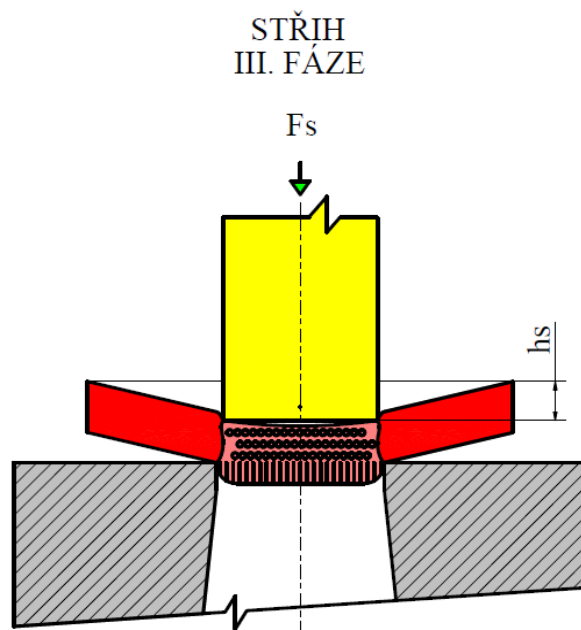
V první fázi (obr. 8) dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu mezi stříhaným materiálem, střížníkem a střížnicí. Vzniklé napětí v této fázi nepřekračuje mez kluzu stříhaného materiálu. Vzniklé deformace jsou elastické (pružné, vratné). Hloubka vniknutí (h_{el}) střížníku do stříhaného materiálu závisí na mechanických vlastnostech materiálu, přibližně bývá 5 -8% tloušťky materiálu. Působením silové dvojice mezi hranami střížníku a střížnice vyvolávají vznik nežádoucího ohybu deformovaného plechu. Vtažením materiálu na straně střížníku a vytlačení na straně střížnice, viz obr 8.

Ve druhé fázi (obr. 9) narůstající napětí ve směru vnikání překročí mez kluzu tvářeného materiálu a dochází ke vzniku trvalé (plastické) deformace. V závislosti na mechanických vlastnostech materiálu se odvíjí hloubka vniknutí (h_p) nástroje do materiálu, viz obr. 9

Ve fázi třetí (obr. 10) nárůst napětí dosáhne meze pevnosti ve stříhu tvářeného materiálu. Namáháním vzniknou nejdříve mikrotrhliny a později makrotrhliny ve struktuře materiálu. První mikrotrhliny vznikají na střížné hraně střížnice. Následně se trhliny velmi rychle prodlužují, až dojde k oddělení požadovaného tvaru (výstřížku) od výchozího materiálu.



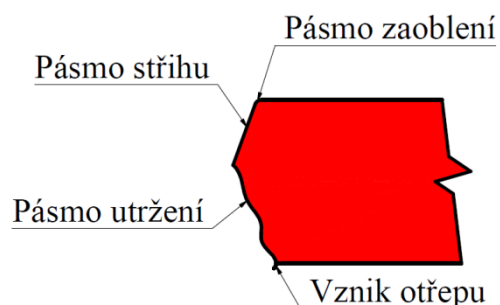
Obr. 9 Vznik plastické deformace [7]



Obr. 10 Oddělení výstřížku[7]

Rychlost postupu trhlin je závislá zejména na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle. Výstřížky z tvrdého materiálu se oddělují velmi rychle, při malé hloubce vniknutí střížných hran. U měkkých a houževnatých materiálů vznikají trhliny pomalu.

Klasickým způsobem stříhání se nedá dosáhnout zvláště kvalitního povrchu stříhu. Kvalita a přesnost při stříhání závisí na vlastnosti stříhaného materiálu, druhu nástroje, tvaru stříhané součásti, kvalitě povrchu nástrojů. Běžná drsnost stříháním je $Ra_{3,2}$ až $6,3 \mu m$. Střížná plocha je mírně zkosená a její povrch je drsný s ostřinami na konci. Po okraji je materiál výstřížku zpevněný. Stříhaný kov zvětšuje svůj odpor proti vzniku plastické deformace a tím dojde k jeho zpevnění. To má vliv na mechanické vlastnosti v blízkosti střížné plochy. Jedná se o zvětšení pevnosti, meze kluzu a zmenšení tažnosti.

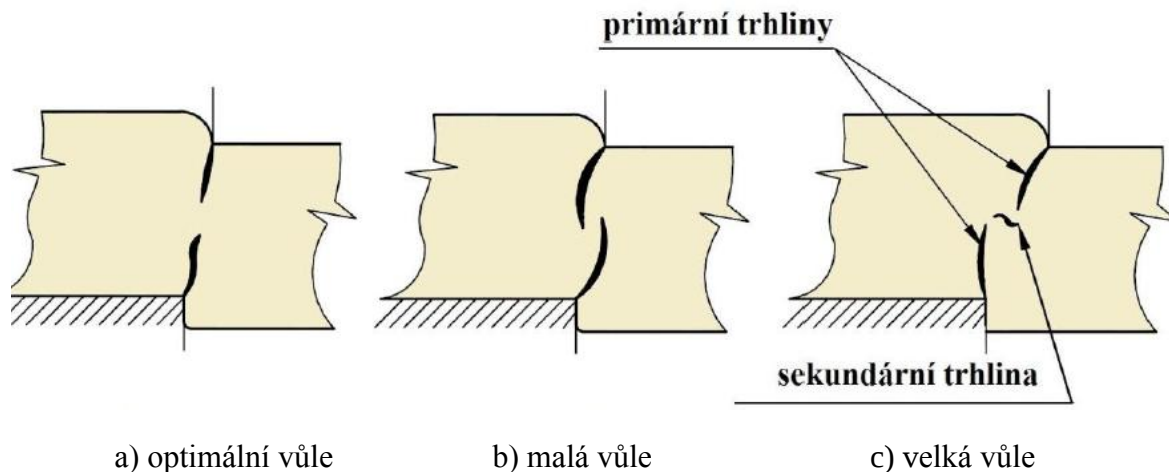


Obr. 11 Deformační pásma stříhu [7]

2.1.1 Střížná vůle [2],[5],[7],[15]

Střížná vůle je charakterizována jako rozdíl mezi menším průměrem střížníku a větším průměrem otvoru ve střížnici. Jednostranný rozdíl tvoří $(v/2)$ střížnou mezeru (z). Střížná vůle je důležitý technologický parametr celého střížného procesu. Ovlivňuje kvalitu a jakost stříhu, životnost nástroje, spotřebu energie apod. Střížná mezera by měla být stejná a rovnoměrná na všech místech střížné křivky stříhu. Při nesterpném rozložení střížné vůle po obvodě vznikají povrchové vady, ostřiny a střížná plocha je nekvalitní.

Při normální vůli (obr. 12 a) se střížné hrany setkají a vytvoří ve střížné ploše jednu plochu bez otřepů a vznikající trhliny vytvořené střížníkem a střížnicí se setkají ve stejném místě. Při malé nebo velké střížné vůli (obr. 12 b,c) se vznikající trhliny nesetkají přímo, ale míjejí se. To má za následek nerovný povrch ve střížné ploše a tím zhoršení kvality střížné plochy.



Obr. 12 Druhy střížné vůle [7]

Velikost střížné vůle je zejména závislá na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. Při zvolení správné optimální střížné vůle by měla být dosažena jakost střížné plochy při nejmenší střížné síle. Střížnou vůli pro tloušťku plechu $t \leq 3$ mm lze určit výpočtem podle vztahu:

$$z = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [mm] \quad (2.1)$$

$$v = 2 \cdot z \quad [mm] \rightarrow v = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [mm] \quad (2.2)$$

kde: v [mm] - střížná vůle,
 z [mm] - střížná mezera,
 c [-] - koeficient jakosti povrchu (0,005 - 0,035),
 s [mm] - tloušťka plechu,
 τ_s [MPa] - střížný odpor.

2.1.2 Střížná síla a práce [2],[5],[7],[15],[20]

Střížná síla je dalším důležitým technologickým parametrem. Její velikost je podstatná pro návrh střížných nástrojů a pro volbu tvářecího stroje. Určení velikosti střížné síly závisí hlavně na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu, dále na velikosti střížné vůle, otupení střížných hran nebo na úhlu sklonu střížných hran.

Jak již bylo dříve zmíněno, během stříhání dochází v místě vnikání střížníku do materiálu k překročení meze kluzu a vznikají plastické deformace, které mají za následek zpevnění materiálu. Vlivem zpevnění se zvyšuje odpor ve stříhu a plynule narůstá střížná síla. V místě mezi dosažením meze pevnosti stříhaného materiálu a začátku vzniku prvních trhlinek je dosaženo maxima střížné síly. Po vzniku prvních trhlinek nastává mírný pokles střížné síly až po hloubku vniknutí (h_s). Poté dojde k úplnému porušení lomem a střížná síla prudce klesá. Průběh střížné síly je zobrazen na obr 13.

Při stříhání křehkých a tvrdých materiálů střížná síla dosáhne prudce maxima a následně prudce klesá. Materiál se poruší již při malém vniknutí střížníku. U houževnatých materiálů je dosaženo maxima síly pomaleji. Po porušení materiálu střížná síla opět prudce klesá.

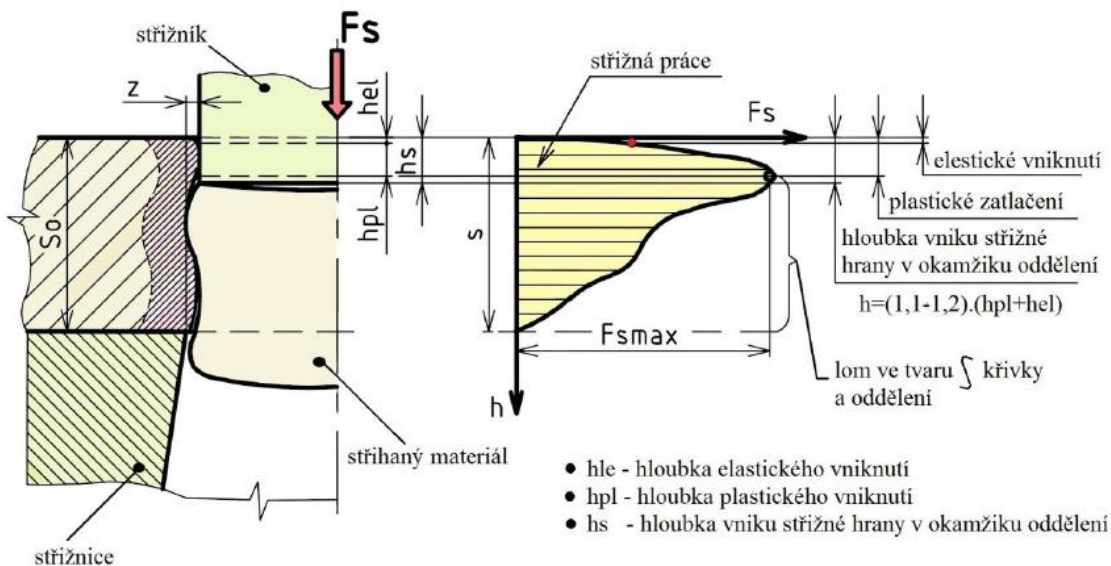
Velikost střižné síly je dána vztahem:

$$F_{si} = S \cdot n \cdot \tau_s = l \cdot s \cdot n \cdot \tau_s \quad [N] \quad (2.3)$$

kde: $F_{si}[N]$ - střižná síla,
 $n [-]$ - koeficient zahrnující opotřebení nástroje,
 $S [\text{mm}^2]$ - plocha stříhu,
 $l [\text{mm}]$ - délka stříhu.

$$F_{si} = S \cdot n \cdot \tau_s = l \cdot s \cdot n \cdot \tau_s \quad [N] \quad (2.3)$$

kde: $F_{si}[N]$ - sřížná síla,
 $n[-]$ - koeficient zahrnující opotřebení nástroje,
 $S[\text{mm}^2]$ - plocha sřihu,
 $l[\text{mm}]$ - délka sřihu.



Obr. 13 Střížný proces, střížná síla a práce [7]

Střížné práce (obr. 13) potřebná k uštěření výstřížků je dána velikostí plochy pod křivkou znázorňující průběh střížné síly v závislosti na dráze (hloubka vniknutí střížníku do materiálu).

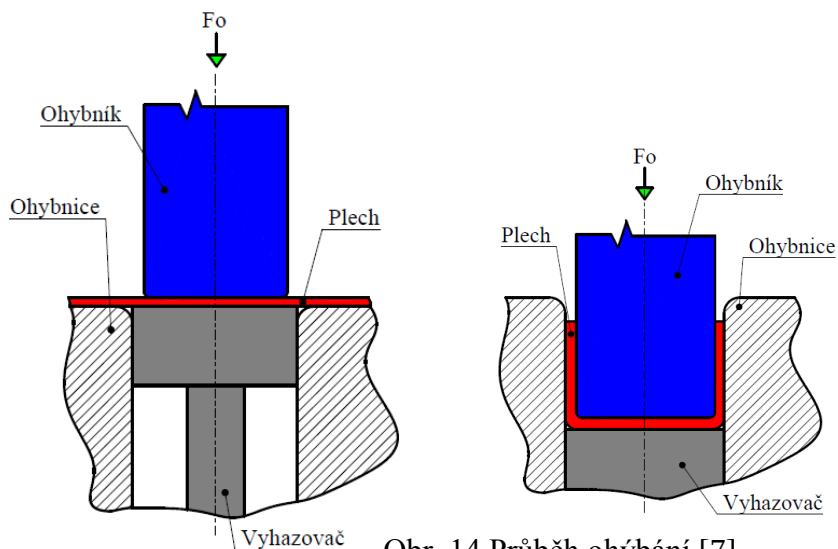
Velikost střížné práce se vypočítá podle vztahu:

$$A_s = \frac{k \cdot F_c \cdot s}{1000} \quad [1] \quad (2.4)$$

kde: A_s [J] - střižná práce,
 k [-] - součinitel hloubky vtlačení,
 F_{sc} [N] - celková střižná síla.

2.2 Technologie ohýbání [1],[5],[6],[7],[9,]

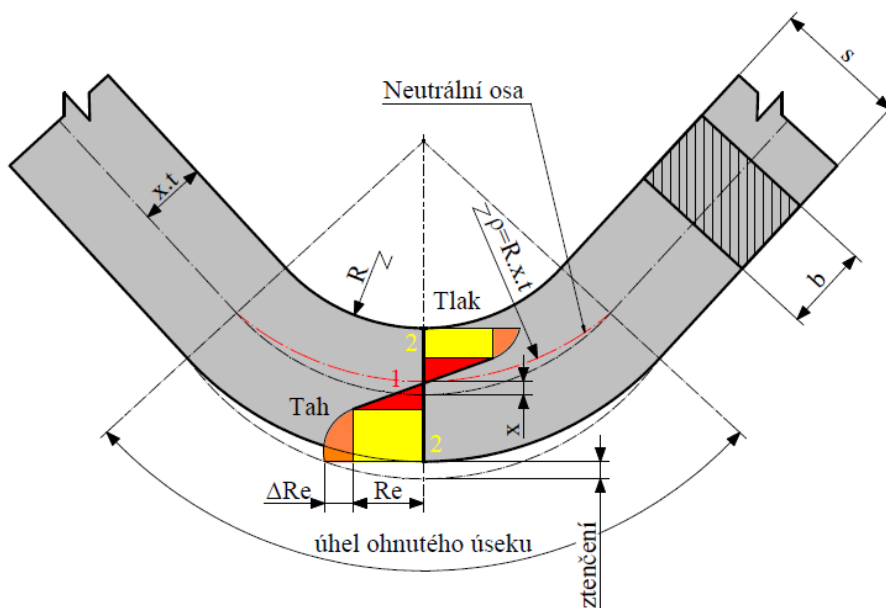
Při ohýbání dochází k trvalé změně polotovaru pod různými úhly ohybu. K ohnutí součásti dochází v ohýbadle vzájemným pohybem nástrojů (obr. 14) Pevná část nástroje se nazývá ohybnice a pohyblivá část ohybník.



Obr. 14 Průběh ohýbání [7]

Pro dosažení trvalého ohybu je nutné, aby ohybové napětí bylo nad mezí kluzu R_e a nepřekročilo mez pevnosti R_m . Při překročení meze pevnosti by došlo k porušení tvářeného materiálu.

Napětí vyvolané ohybovou silou způsobuje, že se materiál na vnější straně roztahuje a na vnitřní straně stlačuje. Kolem střední části průřezu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot pod mezí kluzu. Jedná se o oblast kolem neutrální osy, kde nevznikají žádné deformace. Neutrální osa (obr. 15) se před ohýbáním nachází



Obr. 15 Tlakové a tahové napětí při ohybu [5]
uprostřed tloušťky materiálu a při ohýbání se přesouvá směrem k vnitřní straně ohybu.

Pro určení rozměru výchozího polotovaru se provádí rozvin součásti do podélné roviny s neutrální osou. Rozměr výchozího polotovaru se vypočítá jako součet délek oblouků v jednotlivých ohybech a délek rovných úseků. Výchozí délka polotovaru se spočítá podle vztahu:

$$L_C = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{j=1}^n L_{oj} \quad (2.5)$$

kde: L_i [mm] - délka rovných úseků,

L_{oj} [mm] - délka oblouků.

Délku oblouku uvažovaného ohybu lze vyjádřit vztahem:

$$L_{oi} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_1 + x \cdot s) \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

kde: R [mm] - poloměr ohybu,

α [°] - úhel ohybu,

x [-] - součinitel posunutí neutrální osy.

Tab. 2.1 Hodnoty součinitele posunutí neutrální osy [5]

R/s	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	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

2.2.1 Minimální a maximální poloměr ohybu [1],[5],[7]

Během návrhu ohýbaného dílu je zapotřebí, aby poloměr ohybu nepřesahoval mezní hodnoty tzv. minimálního a maximálního poloměru. Velikost těchto hodnot závisí způsobu ohybu, úhlu ohybu a také na plastičnosti, šířce a tloušťce tvářeného materiálu.

- Minimální poloměr ohybu

Materiál je možné ohýbat do mezní hodnoty minimálního poloměru ohybu R_{min} , kdy nedochází k porušení materiálu. Tahové napětí nesmí překročit mez pevnosti. Při překročení meze pevnosti dojde na vnější tahové straně ke vzniku trhlin a materiál je porušen.

Minimální poloměr ohybu se vypočítá podle vztahu:

$$R_{min} = c \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

kde: c [-] - koeficient zohledňující materiál.

- Maximální poloměr ohybu

Je to poloměr, při kterém v krajních vláknech dojde na tahové straně k trvalé plastické deformaci. V jiném případě by došlo k vratnému pružnému ději a ohýbaný materiál by se narovnal. Maximální poloměr ohybu lze stanovit podle vztahu:

$$R_{max} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot Re} \quad [\text{mm}] \quad (2.8)$$

kde: E [MPa] - Youngův modul pružnosti v tahu,

Re [MPa] - mez kluzu.

2.2.2 Velikost odpružení [5],[6],[7],[9]

Po ohybu, kdy na tvářený materiál přestane působit ohýbací síla, má materiál tendenci vrátit se do původního stavu o určitý úhel. Tento jev se nazývá odpružení. Vznik odpružení je dán přetrvávající oblasti pružné deformace kolem neutrální osy. Na velikosti odpružení mají vliv velikost ohybového úhlu, mechanické vlastnosti a tloušťka materiálu.

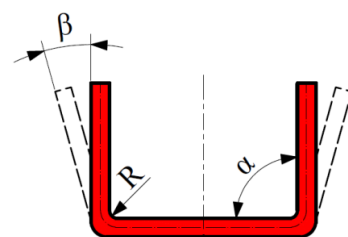
Odpružení pro ohyb do tvaru U lze stanovit vztahem:

$$\beta = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_U}{x \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) \quad [^\circ] \quad (2.9)$$

kde: β [°] - úhel odpružení,

l_U [mm] - vzdálenost ohýbaných hran.

Odpružení je nežádoucí efekt. Lze jej eliminovat několika způsoby. Nejčastěji používané metody jsou např.: podbroušením ohybníku, zaoblení spodní části vyhazovače, vyztužením prolisů v místě ohybu, kalibrace rohů v místě ohybu apod.

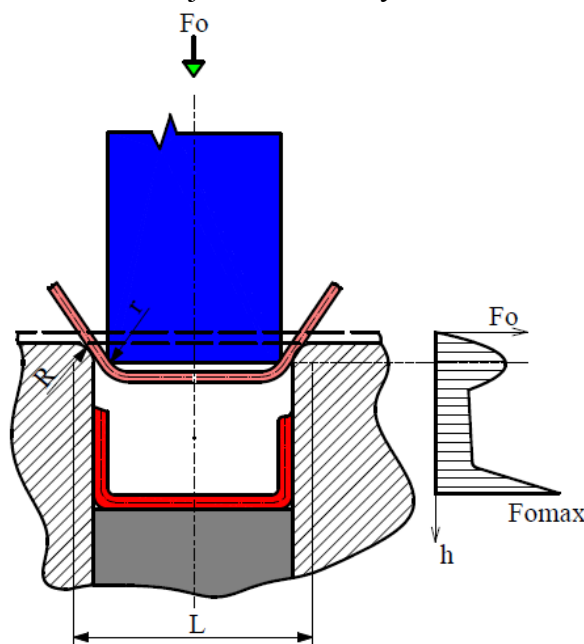


Obr. 16 Odpružení [9]

2.2.3 Ohybová síla a práce [1],[5],[7]

Ohýbaný materiál se považuje za nosník podepřený ve dvou podpěrách ve vzdálenosti L zatížený uprostřed silou. Při pohybu ohybníkem směřujícího do ohybnice dochází k postupnému ohýbání. Na začátku se ohybník dotlačuje na tvářený materiál a dochází k přechodu z pásma elastických deformací do pásma plastických deformací. Dále následuje dohnutí do požadovaného tvaru. Velikost ohybové síly je závislá zejména na druhu a tloušťce materiálu, na poloměru požadovaného ohybu a na orientaci směru válcování.

Při ohybu do tvaru U je nárůst ohýbací síly (obr. 17) rychlý až do míst plastických deformací. Nejvyšší hodnota ohybové síly je ve chvíli, kdy se v jedné rovině setkají středy zaoblení ohybníku a ohybnice.



Obr. 17 Průběh ohýbací síly [5]

Ohyboací síla do tvaru U se vypočte podle vztahu:

$$F_{ou} = (1 + 7 \cdot f) \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R + s} \quad [\text{N}] \quad (2.10)$$

kde: F_{ou} [N] - ohybová síla pro ohyb do tvaru U,
 f [-] - součinitel statického tření,
 b [mm] - šířka materiálu.

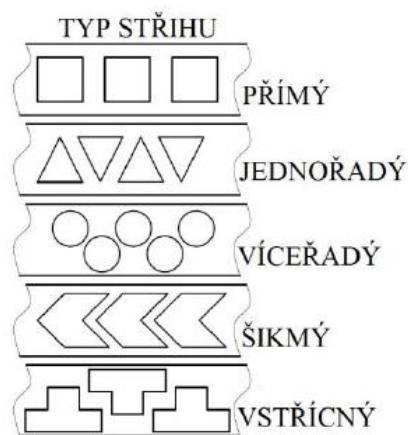
Ohybová práce pro tvar ohybu U se vypočte podle vztahu:

$$A_{ou} = \frac{2}{3} \cdot F_{ou} \cdot \frac{h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (2.11)$$

kde: h [mm] - zdvih beranu

2.3 Technologičnost součásti [1],[2],[9],[15],[18],[20]

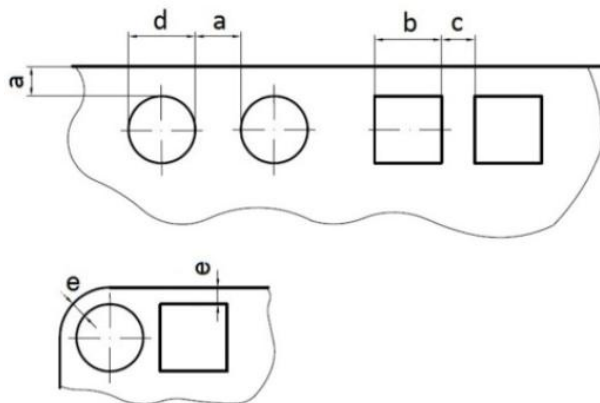
Z technologického hlediska je podstatné, aby vyráběná součást byla snadno vyrobitelná při nejmenších výrobních nákladech a za co nejkratších výrobních časů. Výchozí materiál tvoří většinu výrobních nákladů a proto je nutné zvolit polotovár, ze kterého bude minimum odpadu. Tím se u postupového stříhání dosáhne při navrhování tzv. nástřihových plánů (obr. 18), které určují možné varianty uložení výstřižku na pás plechu. Volba nástřihového plánu je ovlivněna tvarem výstřižku, minimálními vzdálenostmi mezi jednotlivým výstřižky a mezi výstřižkem a okrajem pásu. Po zhodnocení návrhů je vybrána nejekonomičtější varianta uspořádání součásti, podle které bude výroba probíhat.



Obr. 18 Nástřihový plán [18]

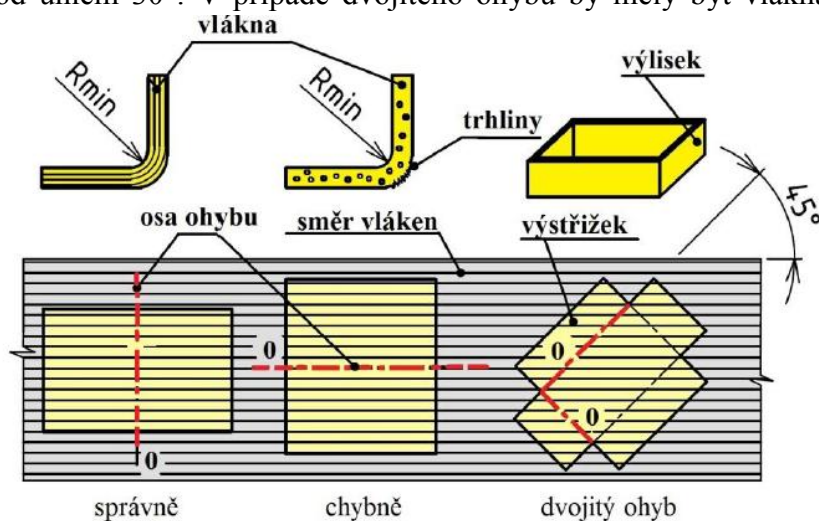
Výrobní proces stříháním by se měl držet podle určitých pravidel technologičnosti, kterými by se měla zaručit bezproblémová výroba. Výrobní tolerance střížných nástrojů by měla být o tři stupně nižší než tolerance výstřižku. Neměly by se snižovat tolerance rozměrů pod mez, které lze dosáhnout při běžné práci výrobního podniku. Jestliže není střížná plocha funkční plochou stříhané součásti, nepředepisovat její drsnost a kolmost k ploše daného plechu. Při normální kvalitě střížné plochy bývá $Ra=3,2 \div 0,8 \mu\text{m}$, tato hodnota odpovídá zhruba hodnotě drsnosti hřbetu břitů. Část střížné plochy, která je vzniklá utržením, má drsnost $Ra=3,2 \div 6,3 \mu\text{m}$. Vhodné je volit kruhové otvory místo tvarových, protože plynulé napojení oblouků na rovný úsek je při výrobě nástrojů drahé. Důležité je dodržení dostatečně velkých otvorů vzdálených mezi sebou a mezi okraji součásti (obr. 19).

- Nejmenší velikost otvorů:
 - $d/s = 1$,
 - $b/s = 0,8$.
- Vzdálenosti mezi otvory:
 - $a \geq 0,8 s$,
 - $c \geq s$.
- Vzdálenost mezi otvory a okraji:
 - $e \geq 1,5 s$

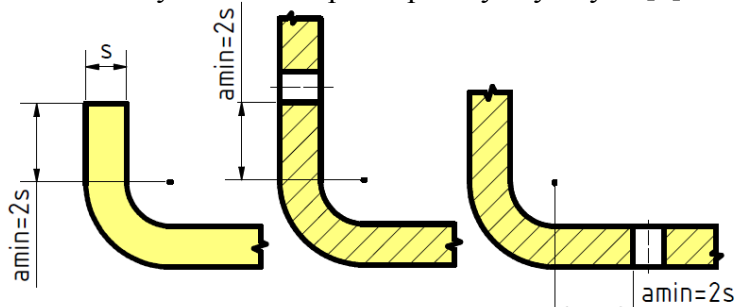


Obr. 19 Vzdálenosti mezi otvory [15]

Při ohýbání mohou nastat trhliny na vnější straně hrany ohybu. Trhliny vznikají při překročení kritické hodnoty poloměru ohybu R/t . Proto se doporučuje volit větší poloměr ohybu než minimální. Osa ohybu (obr. 20) by měla být kolmo na směr válcovaných vláken materiálu nebo minimálně pod úhlem 30° . V případě dvojitého ohybu by měly být vlákna materiálu k ose ohybu pod úhlem 45° . Ve většině případů před ohýbání předchází operace stříhání. Při návrhu nástřihového plánu je zapotřebí dodržet dostatečné vzdálenosti okraje a otvoru od středu poloměru ohybu (obr. 21). V případě nedodržení těchto vzdáleností by se otvory mohly deformovat.



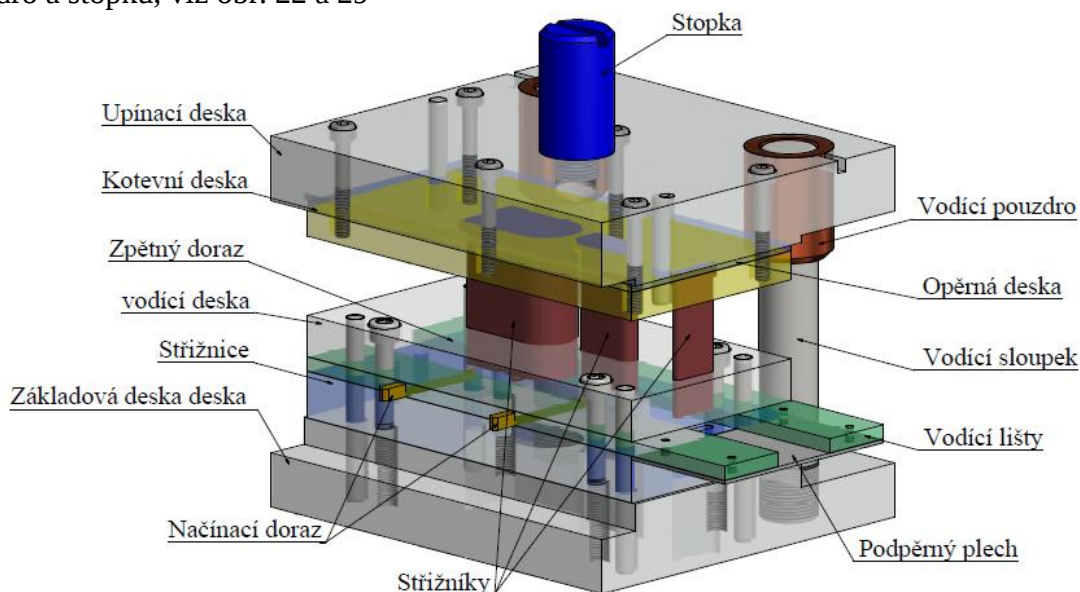
Obr. 20 Ohýbání vláken podle polohy osy ohybu [9]



Obr. 21 Vzdálenost okraje a otvorů od poloměru ohybu [9]

2.4 Nástroje [3][6],[9],[14],[15],[16],[18]

Nástroje pro postupové stříhání a ohýbání se skládají z několika stejných součástí, které tvoří vodící stojánek. Jedná se o základní a upínací desku, vodící sloupek, vodící pouzdro a stopku, viz obr. 22 a 29



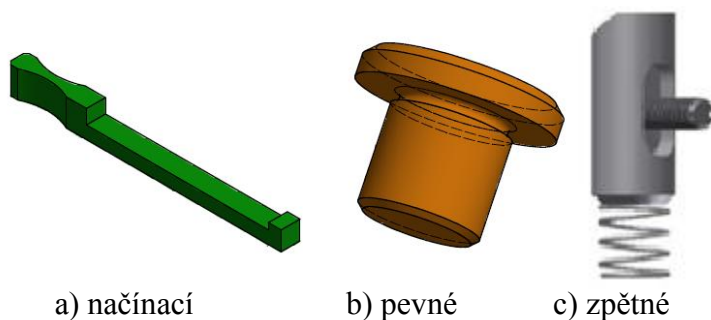
Obr. 22 Střížný nástroj [16]

Základová a upínací deska slouží k ustavení hlavních částí nástroje. Na základě rozměru střížnice nebo ohybnice se odvíjejí rozměry desek, které bývají větší. Desky jsou vyráběny z materiálu 11 500. Základová deska se nachází v dolní části nástroje a slouží jako nepohyblivá pevná část k upevnění nástroje ke stolu stroje. U stříhadla se v ní nacházejí otvory, které jsou větší než otvory ve střížnici a slouží pro odstranění výstřížků. Upínací deska se nachází v horní části nástroje. Její účel je spojení pohyblivé části nástroje (střížník, ohybník) s beranem lisu pomocí stopky. Stopka (obr 23) je normalizovanou součástí a její rozměry a tvary jsou dány normou ČSN 22 6264. Je vyráběná z materiálu 11 600. Pro velikost stopky se vychází z parametrů stroje. Jedna část stopky se upíná závitem nebo nalisováním do upínací desky a druhá část je upnuta do beranu lisu. Umístění stopky se provádí do těžiště výslednice sil, aby nedocházelo k opotřebení stroje a nepřesnostem výroby. Základová a upínací deska jsou spojeny nalisovaným vedením nástroje. Vedení je složeno z vodících sloupků a vodících pouzder. Sloupky i pouzdra jsou vyráběny z materiálů 12 020 nebo 14 220. Vodící sloupky jsou nalisovány v základové desce. Jejich počet bývá podle složitosti konstrukce nástroje. Obvykle bývají dva nebo čtyři. Vodící pouzdro je nalisováno v upínací desce a umožňuje spolu s vodícím sloupkem její pohyb. Jsou vyráběny jako kluzná nebo válivá pouzdra. Kluzná mají větší vodící plochu, kde je zapotřebí dostatečné mazání. Válivá pouzdra se používají spíše u rychloběžných lisů s menším zdvihem, kde je zapotřebí zajistit přesnost chodu.



Obr. 23 Stopka [15]

V nástroji pro postupové stříhání (obr. 22) je důležité, aby byl tvářený materiál přesně ustavený a snadno vedený. Pro vedení pásu plechu nebo svitku ve střížném nástroji se používají vodící lišty. Vzdálenost mezi lištami je dána šířkou pásu plechu. Lišty bývají prodlouženy a jsou podloženy podpěrným plechem. Při ustavování plechu se používají různé druhy dorazů (obr. 24) a hledáček (obr. 25). Počet dorazů je závislý na počtu prováděných



a) načínací

b) pevné

c) zpětné

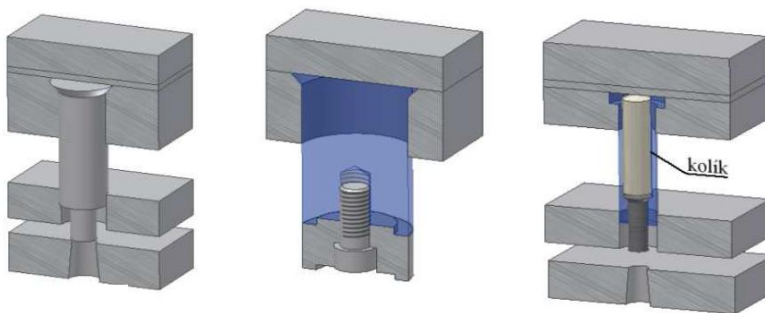
Obr. 24 Dorazy [15]

kroků ve stříhaných operacích. Mezi nejpoužívanější typy dorazů patří načínací (obr. 24,a), pevné (obr. 24,b) a zpětné (obr. 24,c). Načínací dorazy slouží k zastavování nově zavedeného plechu do stříhadla. Pevné dorazy bývají tvarem osazeného nebo hladkého kolíku. Jsou zalisovány ve střížnici nebo vodící desce. Zpětné dorazy je zapotřebí přejít pásem plechu a vystřiženého otvoru. Dále je nutné mezi střížnými operacemi při pohybu střížníků zajistit rozměrovou přesnost výstřížků. K tomu se používají přímé a nepřímé hledáčky. Jejich délka bývá větší než u střížníků. Nejdříve se zahledá hledáček, který zajistí středění a poté do materiálu zajede střížník. U přímého středění hledáček zapadne do otvoru, který byl vyděrován v předchozí operaci. Vyžívá se u dostatečně velkých otvorů, kde nemůže dojít k poškození povrchu. Pokud výstřížek nemá otvory nebo jsou příliš malé, využívají hledáčky nepřímé. Vyděrují se technologické otvory v části plechu, která je odpadem a v další operaci se pak do nich hledáčky zahledají.



Obr. 25 Hledáčky [3]

Hlavní pohyblivou částí střížného nástroje je střížník (obr. 26). Je to nůž vyráběný z nástrojové oceli. Při větší konstrukci se vyrábějí ze dvou dílů, které jsou spojeny šroubem, čepem nebo zapuštěním. Jedná se o funkční a nosnou část. Funkční část se vyrábí z nástrojové oceli 19 312, 19 436, 19 437 nebo také ze slinutých karbidů G3, G4, G5 a nosná část z konstrukční oceli 11 500, 11 600, 11 700. Ustavení



Obr. 26 Střížníky [14]

střížníků se provádí do kotevní desky. Upínání lze provádět různými způsoby jako roznýtováním, osazením, s válcovou nebo kuželovou hlavou, aj. Vedení střížníku je provedeno pomocí vodící desky, která zvyšuje přesnost a zabraňuje vybočení střížníku z osy a tím i možnému zlomení. Střížníky jsou namáhány na vzpěr. Je tedy zapotřebí provést výpočet pro maximální možnou délku střížníku podle vztahu:

$$l_{kr} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{si}}} \quad [mm] \quad (2.14)$$

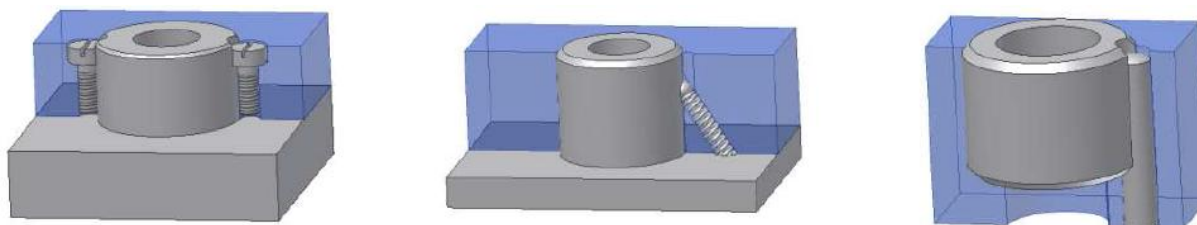
kde: l_{kr} [mm] - kritická délka,
 I [mm⁴] - kvadratický moment.

Hlavní pevnou částí střížného nástroje je střížnice (obr. 27). Ta je připevněna na základovou desku a její rozměry se odvíjí podle šířky pásu plechu a podle počtu kroků potřebných k vystřížení součásti. Je vyráběna z nástrojové oceli 19 312, 19 191, 19 436 nebo také ze slinutých karbidů G3, G4, G5. Jsou v ní vyrobeny funkční otvory, pro vystřížení



Obr. 27 Střížnice [14]

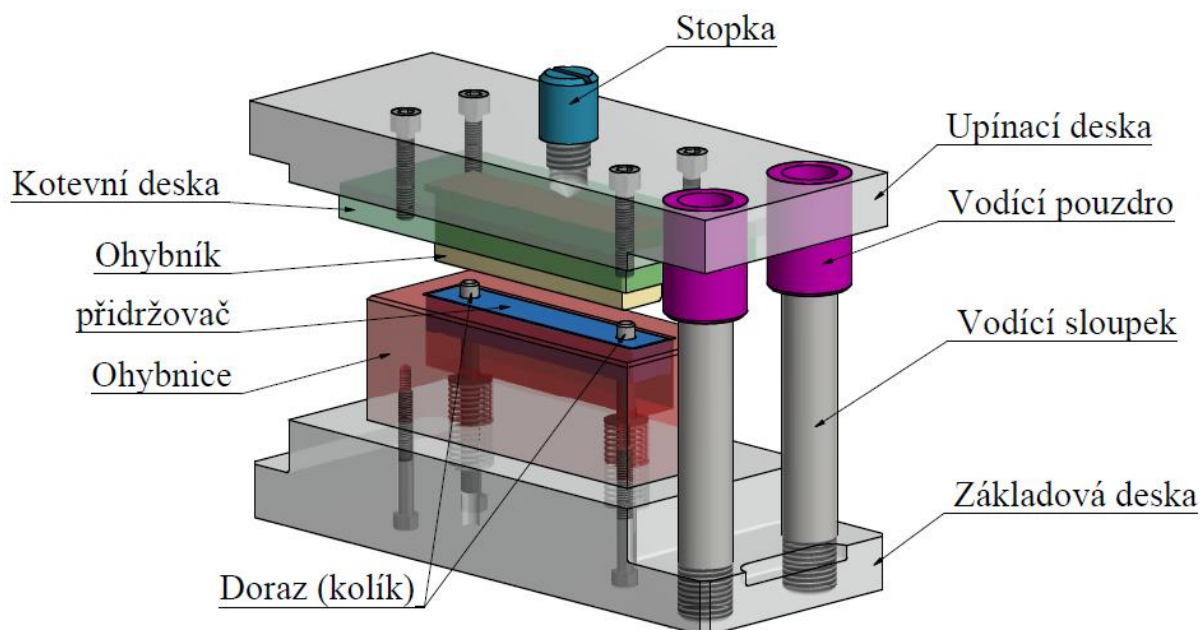
odpovídajících tvarů. Pro vysokou kvalitu a přesnost jsou otvory ve střížnici broušeny. Pro snadnější propadávání výstřížku se otvory ve střížnici upravují například zkosením 3÷5°. Podle složitosti výroby lze střížnice vyrábět jako celistvé, skládané nebo vložkované. Pro stříhání méně náročných součástí se používají střížnice celistvé. Naopak pro výrobu složitějších tvarů se používají střížnice skládané. Ty jsou složeny z více jednodušších částí v celek. Pro velkosériovou a hromadnou výrobu se využívají střížnice vložkované (obr. 28). Tyto střížnice mají upevněné kalené vložky, které zvyšují odolnost proti opotřebení a z



Obr. 28 Vložkované střížnice [14]

tím životnost střížnice. Vložky nejsou složité na výrobu a při jejich opotřebení je lze snadno vyměnit. Jejich ustavení se provádí zalisováním, kolíkováním, zašroubováním, atp.

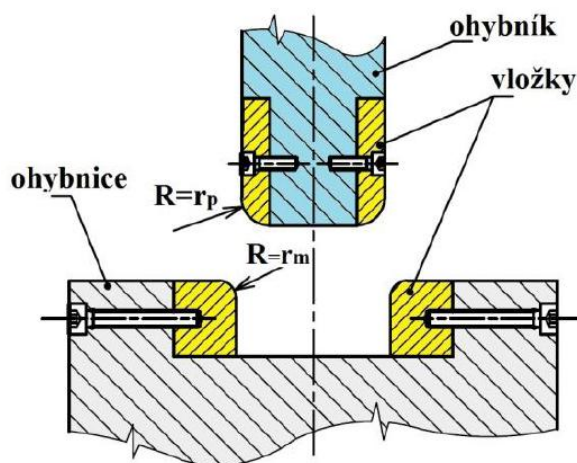
V nástroji pro ohýbání (obr. 29) jsou hlavní části ohybník a ohybnice. Jejich konstrukce se odvíjí podle požadovaného tvaru ohybu. Buďto do tvaru U nebo V. Pro přesné ustavení přístřihu do ohýbadla slouží dorazy. Pro ustavení se mohou také podle tvaru přístřihu použít zalisované kolíky v jedné z částí ohýbadla. Na tyto kolíky se otvory přístřihu přístřih nasadí a tím se ustaví. Maximální výška kolíku je rovna tloušťce přístřihu. Pro bezproblémové vyjmutí výlisků slouží vyhazovač. Ten je silou pružiny vytlačován do protisměru ohybníku. Při zpětném pohybu ohybníku se vyhazovač vrátí do původní polohy a tím se výlisek vytlačí z ohybnice.



Obr. 29 Ohýbací nástroj do tvaru U [16]

Hlavní pohyblivou částí nástroje je ohybník. Je vyráběn z nástrojové oceli 19 312, 19 191, 19 436, 19 437 nebo také ze slinutých karbidů. Při ohýbání dochází k nežádoucímu odpružení. Mezi možnostmi eliminace odpružení se provádí konstrukční úpravy ohybníku. Například zkosením ohybníku, zaoblením ohybníku a přidržovače, zpevněním v rozích, aj. Pevnou částí nástroje je ohybnice. Bývá vyráběna z nástrojové oceli 19 312, 19 191, 19 436, 19 437 a také ze slinutých karbidů. Pro kvalitnější povrch výlisku se provádí zaoblení ohybnice nebo při tlustších přístřihu zkosení. Vůle mezi ohybnicí a ohybníkem bývá u oceli 1,05 až 1,15 tloušťky materiálu.

Při hromadné a velkosériové výrobě a pro zvýšení odolnosti proti opotřebení se u ohybníku a ohybnice používají jako funkční části nástroje výměnné vložky (obr. 30) z kalené oceli.



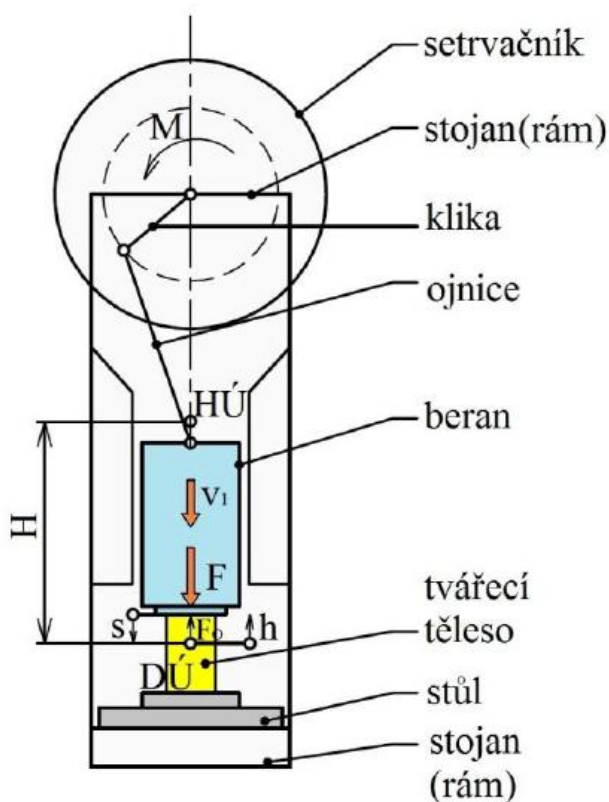
Obr. 30 Výměnné vložky funkčních částí ohýbadla [14]

2.5 Stroje [4],[12]

Pro technologie stříhání a ohýbání je zapotřebí zvolit vhodný tvářecí stroj. Při rozhodování jaký stroj použít je nutné znát parametry, jako jsou rozměry tvářecích nástrojů, potřebná tvářecí síla, počet vyráběných kusů a potřebný zdvih a sevření.

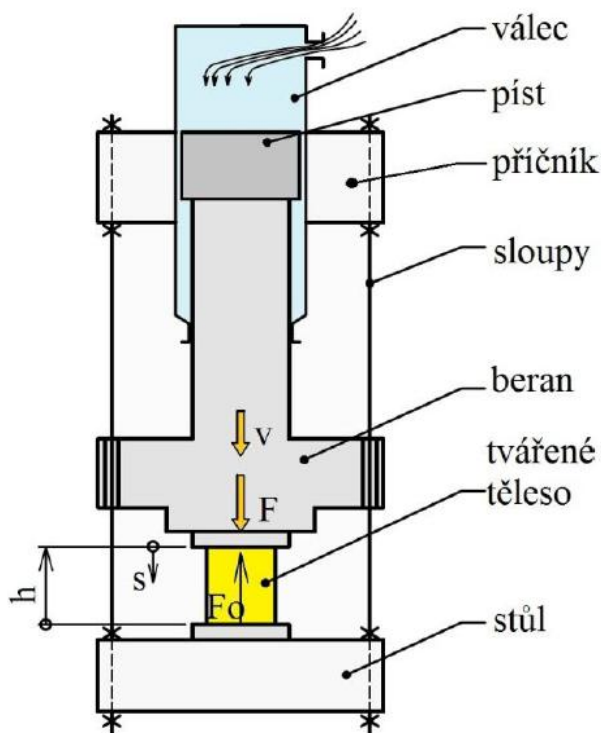
Na pracovní stůl stroje je připevněna pevná spodní část nástroje a pohyblivá část nástroje je upnuta pomocí stopky do beranu stroje. Mezi horní a dolní úvratí vykonává beran přímočarý vratný pohyb. Ve chvíli kdy je beran v horní úvratí, má nulovou rychlost. Při pohybu směrem k dolní úvratí se zvyšuje rychlost, tím i tvářecí síla a dojde k vykonání tvářecí operace. Z místa dolní úvratě se beran vrací zpátky a proces se dále opakuje. Nejčastěji se používají mechanické a hydraulické lisy.

Mezi nejpoužívanější mechanické lisy (obr. 31) podle přenosu energie patří klikové a výstředníkové. Nevýhodou je, že dosahující maximální tvářecí síla je až v blízkosti dolní úvratě pracovního cyklu. Převodové ústrojí mechanických lisů je tvořeno hnacím členem a výstupním členem. Hnací člen je klika nebo výstředník a výstupní člen je beran. Při každém otočení kliky či výstředníku je provedena tvářecí operace.



Obr. 31 Mechanický lis [12]

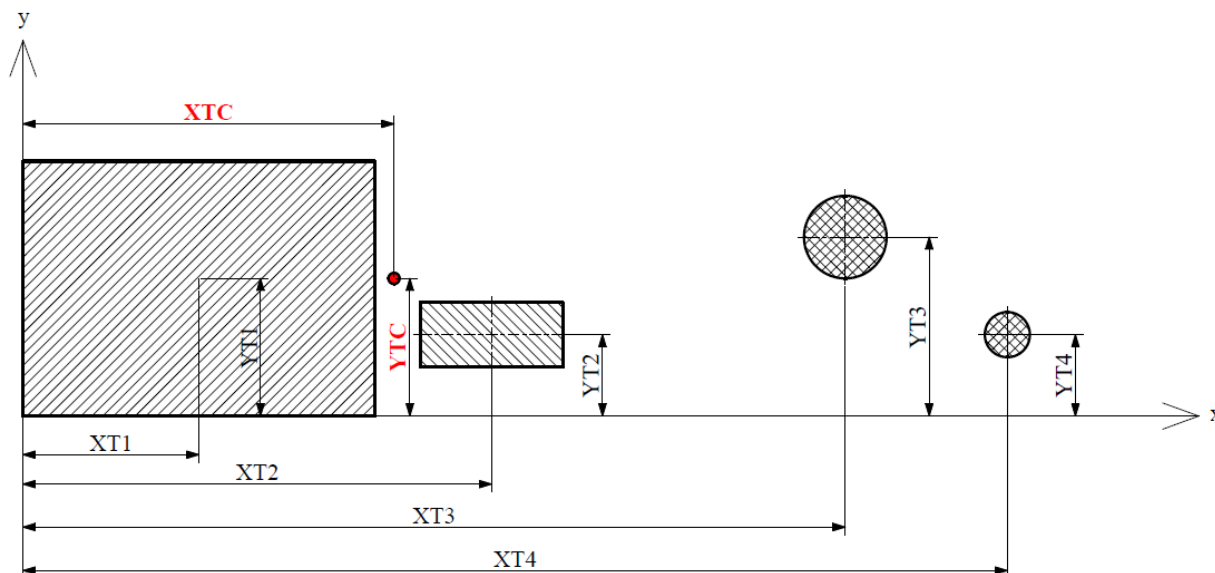
Hydraulické lisy (obr. 32) jsou pro stříhání a ohýbání používané v menší míře, než mechanické lisy. Konstantní lisovací síla působí ve všech směrech rovnoměrným tlakem. Z tohoto důvodu jsou více využívány při kování, tažení, protlačování, atp. Výhodou je vyvinutí větších tvářecích sil. Nevýhodou je složitější konstrukce, komplikovanější údržba a vyšší finanční náklady.



Obr. 32 Hydraulický lis [12]

2.5.1 Těžiště výslednice sil [5,15]

Během technologie stříhání je důležité, aby těžiště (obr. 33) výslednice sil působila v ose tvářecího stroje. V těžišti výslednice střížných sil je umístěna stopka nástroje. Stopka přenáší sílu tvářecího stroje do místa stříhu. Jestliže dojde situaci, kdy výslednice střížných sil působí mimo osu tvářecího stroje, nastane tak velké zatížení beranu lisu klopným momentem. Dále dochází k zvýšení nepřesnosti výrobků, nižší životnosti nástrojů a rychlejšímu opotřebení tvářecího stroje.



Obr. 33 Těžiště výslednice sil [15]

Těžiště výslednice střížných sil lze určit grafickou nebo početní metodou. V případě složitosti stříhaných tvarů není grafické řešení vhodné. Při grafickém řešení vznikají snadno nepřesnosti. Početní metodou lze těžiště výslednice střížných sil spočítat přesněji podle vztahu:

$$X_{Tc}(Y_{Tc}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Ti}(Y_{Ti}) \cdot F_{Si}}{\sum_{i=1}^n F_{Si}} \quad [mm] \quad (2.12)$$

kde: X_{Tc} [mm] - souřadnice těžiště výslednice sil v ose x,
 Y_{Tc} [mm] - souřadnice těžiště výslednice sil v ose y,
 X_{Ti} [mm] - souřadnice těžiště jednotlivých sil v ose x,
 Y_{Ti} [mm] - souřadnice těžiště jednotlivých sil v ose y.

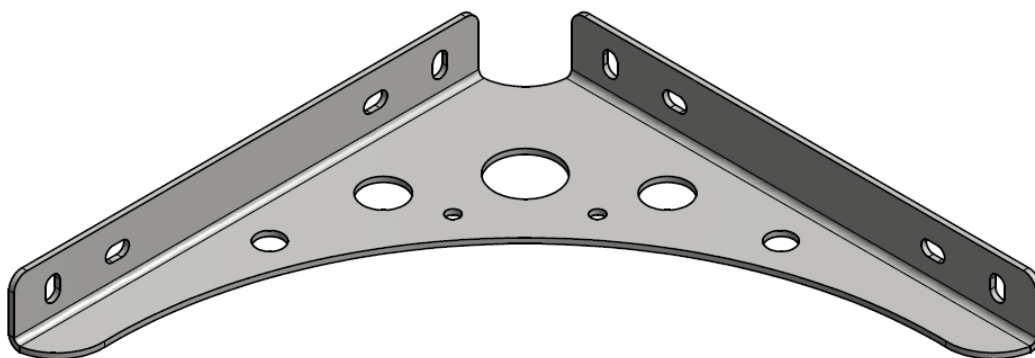
$$X_{Ti}(Y_{Ti}) = \frac{\sum_{i=1}^n O_i \cdot l_{Ti}}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad [mm] \quad (2.13)$$

kde: l_{Ti} [mm] - vzdálenost těžiště otvoru,
 O_i [mm] - obvod otvoru.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Součást (obr. 34) bude vyrobena dvěma technologiemi. První metodou stříhání, kde se součást vystříhne na postupovém nástroji. Druhou metodou ohýbání, kde se vystřižená součást bude ohýbat v ohýbacím nástroji. Jelikož se na součásti nevyskytují tolerované rozměry, bude vyrobena v běžné toleranci. Polotovár bude vybírán z tabulí plechu o rozměrech P2-1000x2000, P2-1250x2500 a P2-1500x3000 podle normy EN 10051 dostupné v prodejně s hutním materiálem pod názvem Alfun. Svitek nebude ve výrobě uvažován, protože by se musel před tvářecími operacemi nejdříve narovnat. Musela by být před výrobní stroj zařazena odvíjecí, rovnací a podávací zařízení. Při zakoupení těchto zařízení by se zvýšily investiční náklady.

Z hlediska posouzení technologičnosti součást splňuje všechna kritéria jak pro stříhání, tak pro ohýbání a je tedy vyrobitelná.



Obr. 34 Vyráběná součást

3.1 Rozvinutý tvar

Před stříháním je zapotřebí stanovit rozměr výchozího polotovaru (obr. 35), který je roven součtu délek oblouků v jednotlivých ohybech a délek rovných úseků. Vzhledem k symetrii součásti budou vypočtené rozměry v ose x a y stejné.

Délka oblouku v ose x,y je stanovena podle vztahu (2.6):

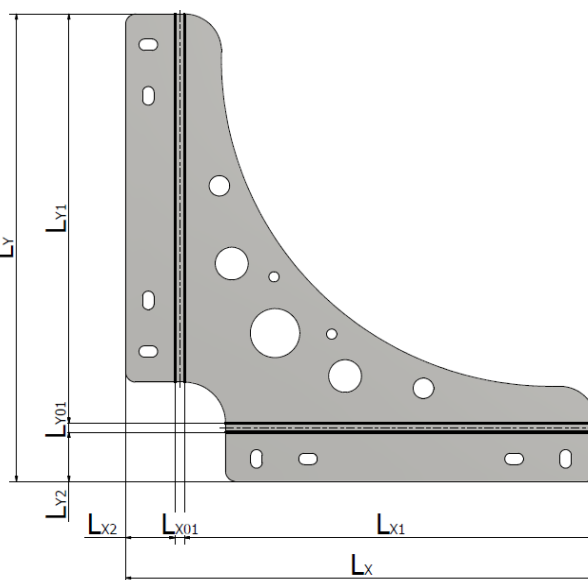
Z tabulky číslo 2 je pro poměr $R/s=1$ stanoven součinitel posunutí neutrální osy $x=0,42$.

$$\begin{aligned} L_{x01} = L_{y01} &= \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_1 + x \cdot s) = \\ &= \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (2 + 0,42 \cdot 2) = \\ &= 4,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Délka rozvinu v ose x a y:

$$L_C = L_{XC} = L_{YC} = L_{X,Y1} + L_{X,Y2} + L_{X,Y01} = 200 + 24 + 4,46 = 228,46 \text{ mm}$$

Při dané technologii stříhání budou rozměry rozvinutého tvaru zaokrouhleny na 228,5 x 228,5 mm, které jsou dále potřebné pro návrhy a výpočty nástřihových plánů.



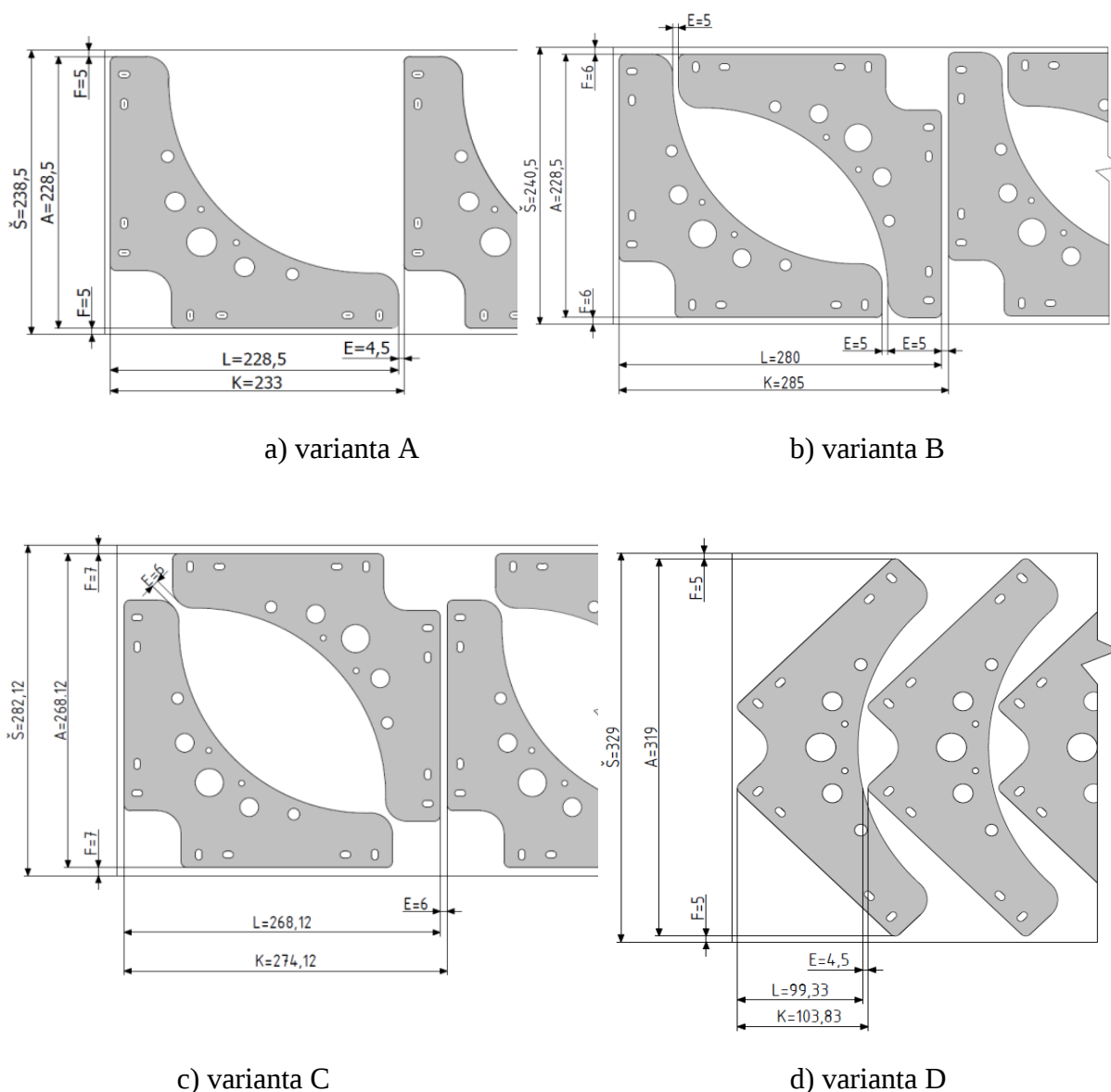
Obr. 35 Rozvinutý tvar součásti

3.2 Nástřihový plán

Z hlediska výrobních nákladů je důležité určit nejúspornější řešení nástřihového plánu, čímž se zaručí co největší využití výchozího materiálu a co nejmenší odpad.

V práci bude navrženo ze čtyř různých variant uspořádání výstřižku na pás plechu z tabule označeny písmeny A,B,C,D, viz obr. 36. Bude uvažováno podélné a příčné dělení materiálu. Pro každou variantu budou provedeny výpočty pro technologické využití materiálu, z nichž bude vybrána nejefektivnější varianta.

Hodnoty E_k a F pro výpočet délky kroku a vzdálenosti od okraje budou zjišťovány z grafu, viz příloha 1. Pro výpočty je nutné znát plochu součásti v rozvinutém tvaru bez otvorů. V programu Autodesk Inventor professional 2015 byla vypočtena plocha součásti $S_v = 22\,141,9 \text{ mm}^2$.



Obr.36 Možnosti uspořádání

3.2.1 Technologické výpočty návrhů uspořádání

Ukázkový výpočet je proveden pro variantu D, protože se vizuálně jeví jako nejvhodnější řešení. Údaje jsou vypočteny jak pro příčné dělení plechu, tak podélně. Níže jsou vypočteny potřebné údaje pro posouzení návrhů. Výsledky jsou přehledně zobrazeny v tabulce 3.1.

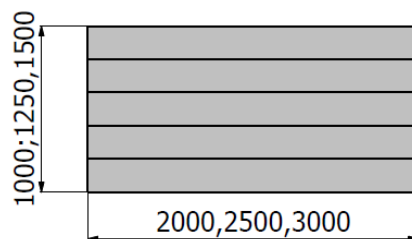
Varianta D

Výpočet délky kroku (K) a šířky pásu Š:

$$E_k = 4,5 \text{ mm}, F = 5 \text{ mm}$$

$$K = L + E_k = 99,33 + 4,5 = 103,83 \text{ mm}$$

$$\check{S} = A + 2 \cdot F = 319 + 2 \cdot 5 = 329 \text{ mm}$$



Obr. 37 Podélné dělení tabule plechu

❖ Podélné dělení, rozměry tabule P2-1000x2000

- Počet výstřížků z jednoho pásu:

$$P_v = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} = \frac{2000}{103,83} = 19,26 \text{ ks}$$

Zvoleno 19 kusů. Výsledek se zaokrouhluje na celé nižší číslo z důvodu vyhotovení celého výstřížku.

- Počet pásu z tabule:

$$P_p = \frac{\text{šířka tabule}}{\text{šířka pásu}} = \frac{1000}{329} = 3,04 \text{ ks}$$

Zvoleno 3 kusy. Výsledek se zaokrouhluje na celé nižší číslo z důvodu využití pouze celých pásů.

- Celkový počet výstřížků z tabule:

$$p_c = P_v \cdot P_p = 19 \cdot 3 = 57 \text{ ks}$$

- Počet tabulí pro 30 000 ks:

$$P_t = \frac{30\,000}{p_c} = \frac{30\,000}{57} = 526,3 \text{ ks}$$

Zvoleno 527 kusů. Výsledek se zaokrouhluje na celé vyšší číslo z důvodu vyhotovení všech kusů, i když bude poslední polovina tabule nevyužita.

- Využití plechu:

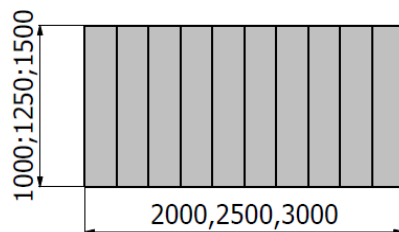
$$V_p = \frac{p_c \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{57 \cdot 22\,141,9}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 63,1\%$$

❖ Příčné dělení, rozměry tabule P2-1000x2000

- Počet výstřížků z jednoho pásu:

$$P_v = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} = \frac{1000}{103,83} = 9,63 \text{ ks}$$

Zvoleno 9 kusů. Výsledek se zaokrouhluje na celé nižší číslo z důvodu vyhotovení celého výstřížku.



Obr. 38 Příčné dělení tabule plechu

- Počet pásu z tabule:

$$P_p = \frac{\text{šířka tabule}}{\text{šířka pásu}} = \frac{2000}{329} = 6,08 \text{ ks}$$

Zvoleno 6 kusů. Výsledek se zaokrouhluje na celé nižší číslo z důvodu využití pouze celých pásů.

- Celkový počet výstřížků z tabule:

$$p_c = P_v \cdot P_p = 9 \cdot 6 = 54 \text{ ks}$$

- Počet tabulí pro 30 000 ks:

$$P_t = \frac{30\,000}{p_c} = \frac{30\,000}{54} = 555,56 \text{ ks}$$

Zvoleno 556 kusů. Výsledek se zaokrouhluje na celé vyšší číslo z důvodu vyhotovení všech kusů, i když bude poslední polovina tabule nevyužita.

- Využití plechu:

$$V_p = \frac{p_c \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{54 \cdot 22\,141,9}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 59,78\%$$

Tab. 3.1 Vypočtené hodnoty variant nástřihových plánů

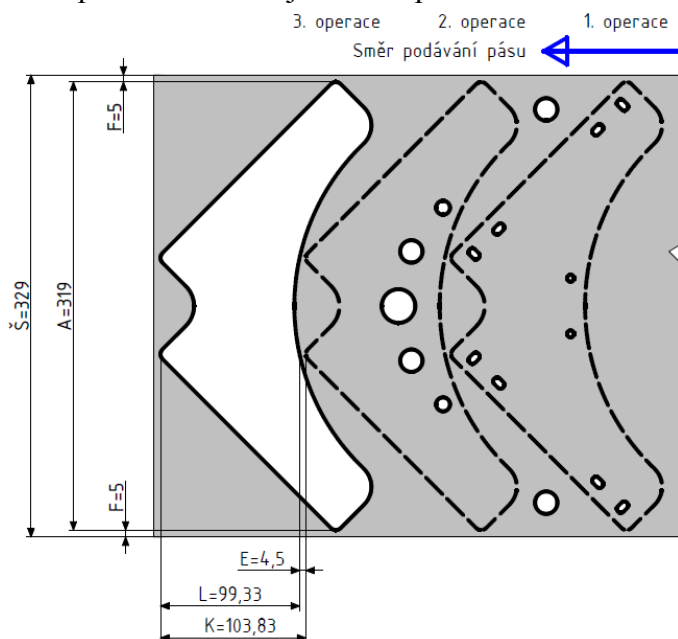
Varianta	Rozměry tabule	Dělení tabule	Počet výstřižků [ks]	Počet pásů [ks]	Počet výstřižků z tabule [ks]	Počet tabulí pro 30 000 ks [ks]	Využití plechu [%]
A	1000x2000	Podélné	8	4	32	938	35,43
		Příčné	4	8	32	938	35,43
	1250x2500	Podélné	10	5	50	600	35,43
		Příčné	5	10	50	600	35,43
	1500x3000	Podélné	12	6	72	417	35,43
		Příčné	6	12	72	417	35,43
B	1000x2000	Podélné	14	4	56	536	61,99
		Příčné	6	8	48	625	53,14
	1250x2500	Podélné	16	5	80	375	56,68
		Příčné	8	10	80	375	56,68
	1500x3000	Podélné	20	6	120	250	59,05
		Příčné	10	12	120	250	59,05
C	1000x2000	Podélné	14	3	42	715	46,5
		Příčné	6	7	42	715	46,5
	1250x2500	Podélné	18	4	72	417	51,02
		Příčné	8	8	64	469	45,35
	1500x3000	Podélné	20	5	100	300	49,2
		Příčné	10	10	100	300	49,2
D	1000x2000	Podélné	19	3	57	527	63,1
		Příčné	9	6	54	556	59,78
	1250x2500	Podélné	24	3	72	417	51,02
		Příčné	12	7	84	358	59,52
	1500x3000	Podélné	28	4	112	268	55,12
		Příčné	14	9	126	239	61,99

Ze zjištěných výsledků je varianta D nejefektivnější. Největší možné procentuální využití činí 63,1% o rozměrech tabule plechu P2-1000x2000 mm dělených podélně. Podle směru vláken materiálu při válcování, je podélné dělení výhodnější z hlediska umístění osy ohybu při následné technologii ohýbání než u dělení příčného. Uvažovat by se dalo i o variantě B, kde vyšlo procentuální využití plechu 61,99%. Ale při porovnání obou variant se jeví varianta D jako výhodnější z více technologických hledisek. Šířka střižného nástroje bude menší a samotná výroba součástí rychlejší oproti variantě B, kde by se jednalo o stříhání s otáčením pásů, což je méně příznivé.

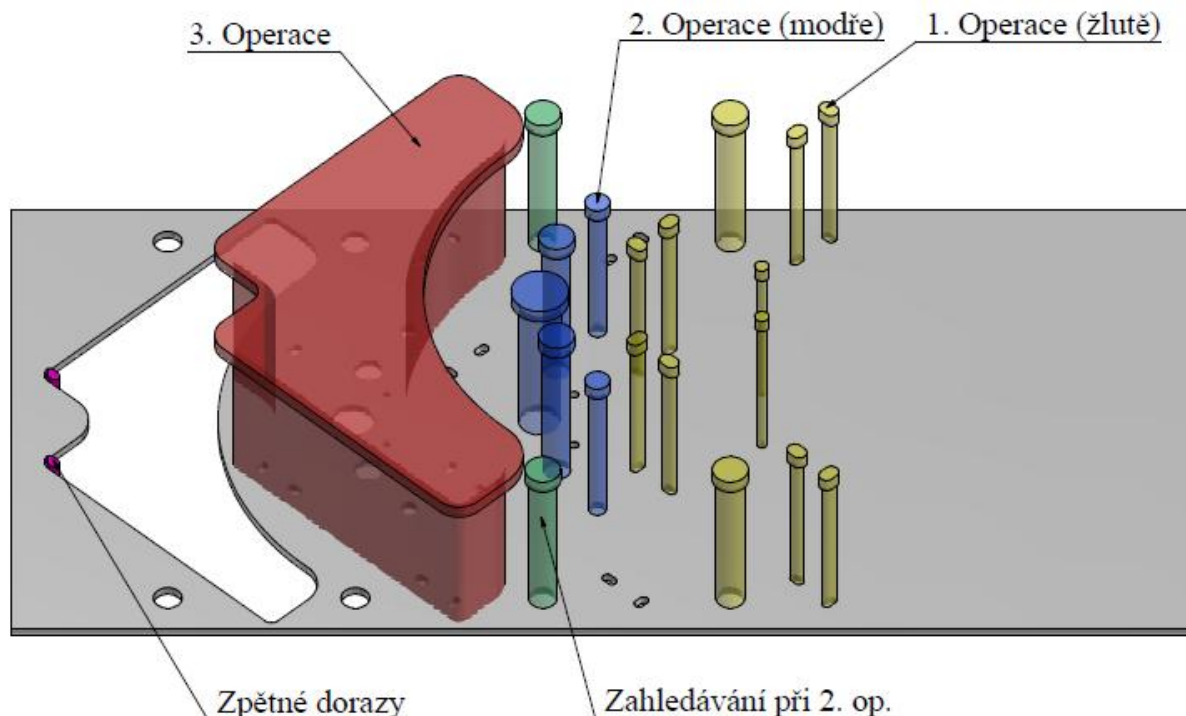
3.2.2 Volba nástřihového plánu a postup stříhání

Nástřihový plán (obr. 39) je po posouzení předchozích údajů zvolen pro variantu D.

Postup stříhání bude rozdělen na tři operace, viz obr.40. Při zavedení nového pásu plechu se pás v první operaci zastaví o první načínací doraz a bude vystřiženo 8 otvorů o rozměrech 5,6x9,1mm, dva otvory s $\varnothing 5$ mm a dva technologické otvory $\varnothing 16$ mm pro hledáčky. První načínací doraz bude vyndán a pás plechu se posune a zastaví o druhý načínací doraz, kde se při druhé operaci zahledá hledáčky do otvorů $\varnothing 16$ mm a vystříhnou se zbylé kruhové otvory dva $\varnothing 10$ mm, dva $\varnothing 16$ mm a $\varnothing 24$ mm. Dále se druhý načínací doraz vysune a pás plechu bude zastaven o třetí načínací doraz, kde v poslední operaci bude vystřižen obrys součásti. V další fázi se třetí načínací doraz opět vysune a pás plechu se zpětným pohybem dorazí vnitřní částí vystřiženého otvoru na dva zpětné dorazy. V každé další operaci bude pás plechu zastavován právě těmito zpětnými dorazy až do využití celého pásu plechu.



Obr. 39. Schéma nástřihového plánu



Obr. 40 Postup stříhání

3.3 Výpočty pro technologii stříhání

- Střížná síla

Celková střížná síla se vypočítá podle vztahu (2.3) a je rovná součtu dílčích střížných sil potřebných pro vystřížení otvorů a obrysu. Bylo zvoleno $R_m = 350 \text{ N}$, $n = 1,3$

- Střížná síla pro vystřížení otvoru Ø5 mm:

$$F_{s1} = l_1 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 15,71 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 350 = 11\,436,88 \text{ N}$$

$$l_1 = 2 \cdot \pi \cdot 2,5 = 15,7 \text{ mm}$$

- Střížná síla pro vystřížení otvoru Ø10 mm:

$$F_{s2} = l_2 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 31,42 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 350 = 22\,873,76 \text{ N}$$

$$l_2 = 2 \cdot \pi \cdot 5 = 31,42 \text{ mm}$$

- Střížná síla pro vystřížení otvoru Ø16 mm:

$$F_{s3} = l_3 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 50,23 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 350 = 36\,567,44 \text{ N}$$

$$l_3 = 2 \cdot \pi \cdot 8 = 50,23 \text{ mm}$$

- Střížná síla pro vystřížení otvoru Ø24 mm:

$$F_{s4} = l_4 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 75,4 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 350 = 54\,891,2 \text{ N}$$

$$l_4 = 2 \cdot \pi \cdot 12 = 75,4 \text{ mm}$$

- Střížná síla pro vystřížení otvoru tvaru o rozměrech 5,6 x 9,1 mm:

$$F_{s5} = l_5 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 24,59 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 350 = 17\,901,52 \text{ N}$$

$$l_5 = 2 \cdot \pi \cdot 2,8 + 2 \cdot 3,5 = 24,59 \text{ mm}$$

- Střížná síla pro vystřížení obrysu:

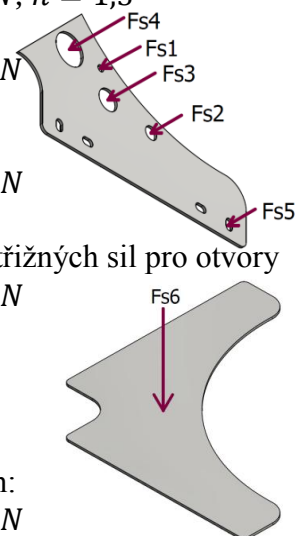
$$F_{s6} = l_6 \cdot s \cdot n \cdot \tau_s = 804,69 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 350 = 585\,814,32 \text{ N}$$

$$l_6 = 170 + 7,86 + 7,86 + 23,5 + 28,25 + 251,33 + 28,25 + 23,5 + 7,86 + 170 + 7,86 + 23,5 + 31,42 + 23,5 = 804,69 \text{ mm}$$

- Celková střížná síla:

$$F_{sc} = 2 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + 2 \cdot F_{s3} + F_{s4} + 8 \cdot F_{s5} + F_{s6} \text{ [N]}$$

$$F_{sc} = 2 \cdot 11\,436,88 + 2 \cdot 22\,873,76 + 4 \cdot 36\,567,44 + 54\,891,2 + 8 \cdot 17\,901,52 + 585\,814,32 = 998\,808,72 \text{ N} = 998,8 \text{ kN}$$



Obr. 41 Střížných sil pro otvory

Obr. 42 Střížná síla pro obrys

Tab. 3.2 Střížná síla pro jednotlivé střížníky

Tvar střížné plochy	Ø5 mm	Ø10 mm	Ø16 mm	Ø24 mm	5,6 x 9,1 mm	Obrys součásti
$F_{si} \text{ [N]}$	11 436,88	22 873,76	36 567,44	54 891,2	17 901,52	585 814,32
Počet otvorů [-]	2	2	4	1	8	1
$\Sigma F_{si} \text{ [N]}$	22 873,76	45 747,52	146 269,76	54 891,2	143 212,16	585 814,32
$F_{sc} \text{ [N]}$	998 808,72					

Pro každý otvor a obrys součásti byly spočteny střížné síly znázorněné na obr. 41 a 42. Po sečtení jednotlivých střížných sil, byla zjištěna celková střížná síla, která je zapotřebí pro prostřihnutí všech otvoru. Výsledky jsou přehledně zobrazeny v tabulce 3.2.

- Střížná práce

Střížná práce bude spočtena podle vztahu (2.4). Součinitel hloubky vtlačení je zvolen $k = 0,62$ podle tab. 3.3.

$$A_s = \frac{k \cdot F_{sc} \cdot s}{1000} = \frac{0,62 \cdot 998\,808,72 \cdot 2}{1000} = 1238,5 \text{ J}$$

Tab. 3.3 Součinitel hloubky vtlačení

Materiál	Tloušťka materiálu			
	do 1	1 až 2	2 až 4	Nad 4
Ocel o pevnosti 250 až 350 MPa	0,70 až 0,65	0,65 až 0,60	0,60 až 0,50	0,45 až 0,35

- Kontrola na vzpěr, podle vztahu (2.14):

Kontrola bude provedena u střižníku s nejmenším průměrem.

Koeficient bezpečnosti $n = 1,5 \div 2 \rightarrow$ volím $n = 1,7$

$$l_{kr} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 30,6796}{1,5 \cdot 11\,436,88}} = 121,76 \text{ mm}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} = 30,6796 \text{ mm}^4 \quad (3.1)$$

Nejdelší možná délka střižníku, při které nedochází k deformaci je 121,76 mm. Je zvolen střižník délky 110 mm, který vznikajícímu namáhání vyhovuje.

- Výpočet výšky střižnice, podle vztahu (2.15):

$$h_s = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{sc}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 998\,808,72} = 46,4 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Nejnižší možná výška střižnice, při které nedochází k deformacím je podle výpočtu 46,4 mm. Pro výrobu je zvolena výška střižnice 60 mm.

- Velikost střižné vůle

Výpočet střižné vůle je proveden podle vztahu (2.2). Koeficient jakosti povrchu c se pohybuje v rozmezí od 0,005 do 0,035, kde hodnota 0,005 je používána pro velmi přesné výstřižky. Na součásti nejsou požadovány nároky na vysokou přesnost. Zvoleno $c = 0,025$.

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,025 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 350} = 0,54 \text{ mm}$$

Velikost střižné vůle byla spočtena na 0,54 mm. S touto hodnotou se bude počítat při výpočtech rozměrů střižníků a střižnic.

- Stanovení funkčních rozměrů střižníku a střižnice

Rozměry uvedené na výkrese součásti nejsou tolerované. Stanovení rozměrů střižnice a střižníku je počítáno podle normy ČSN 22 6015. Tolerance jsou vypočteny na základě nepředepsaných mezních úchylek délkových rozměrů. Z tabulky číslo 3.4 byla zvolena střední třída přesnosti - m.

Tab. 3.4 Mezní úchylky délkových rozměrů dle normy ČSN ISO 2768-m []

Třída přesnosti		Mezní úchylky [mm]				
Označení	Název	0,5 ÷ 3	3 ÷ 6	6 ÷ 30	30 ÷ 120	12 ÷ 400
m	střední	±0,1	±0,1	±0,3	±0,5	

- ❖ Vystříhování (obr. 43,a)

Vzorový výpočet je proveden pro délku střižnice a střižníku pro rozměr 180mm.

- Střižnice pro rozměr 180 mm

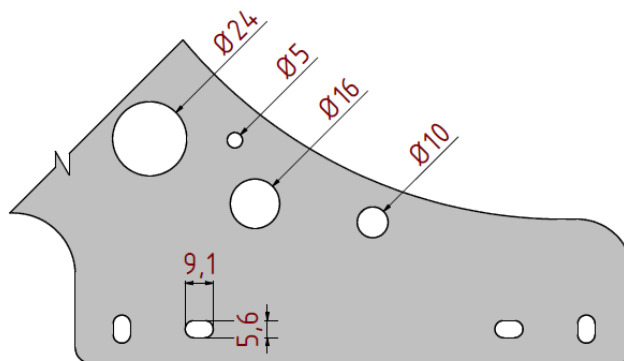
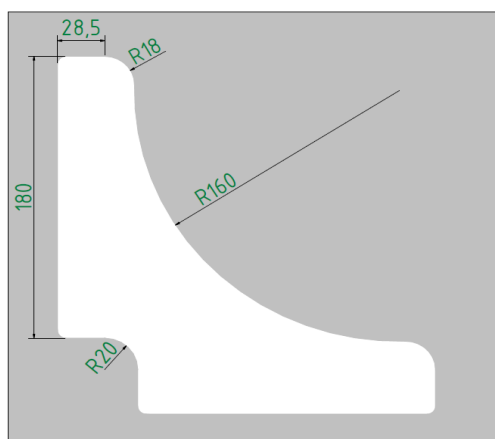
$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left(180 - \frac{0,88}{2} \right) + 0,32 = 179,56^{+0,32} \text{ mm} \quad (3.3)$$

- Střižník pro rozměr 180 mm

$$RAV = \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left(180 - \frac{0,88}{2} - 0,54 + 0,21 \right) - 0,21 = 179,23_{-0,21} \text{ mm} \quad (3.4)$$

Tab. 3.5 Rozměry střížnic a střížníků při vystřihování

Vystřihovaný rozměr [mm]	Tolerance jmen. rozměru [mm]	Výrobní rozměr střížnice [mm]	Výrobní rozměr střížníku [mm]
180	±0,5	$180_{-0,44}^{-0,12}$	$180_{-0,02}^{-0,77}$
28,5	±0,2	$28,5_{-0,165}^{-0,025}$	$28,5_{-0,705}^{-0,618}$
R20	±0,2	$R20_{-0,165}^{-0,025}$	$R20_{-0,705}^{-0,618}$
R18	±0,2	$R18_{-0,165}^{-0,025}$	$R18_{-0,705}^{-0,618}$
R160	±0,5	$R160_{-0,44}^{-0,12}$	$R160_{-0,02}^{-0,77}$



a) Vystřihování

b) Děrování

Obr. 43 Schéma vystřihovaných a děrovaných rozměrů

❖ Děrování (obr. 43,b)

Vzorový výpočet je proveden pro délku střížníku a střížnice pro Ø5 mm.

➤ Střížník pro Ø5 mm:

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) - TA = \left(5 + \frac{0,17}{2} \right) - 0,04 = 5,085_{-0,04} \text{ mm} \quad (3.5)$$

➤ Střížník pro Ø5 mm:

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + V \right) + TE = \left(JR + \frac{0,17}{2} + 0,54 \right) + 0,063 = \quad (3.6)$$

$$= 5,625^{0,063} \text{ mm}$$

Tab. 3.6 Rozměry střížníků a střížnic při děrování

Děrovaný rozměr [mm]	Tolerance [mm]	Výrobní rozměr střížníku [mm]	Výrobní rozměr střížnice [mm]
Ø5	±0,1	$\text{Ø}5_{+0,045}^{+0,085}$	$\text{Ø}5,625^{+0,063}$
Ø10	±0,2	$\text{Ø}10_{+0,078}^{+0,165}$	$\text{Ø}10,705^{+0,14}$
Ø16	±0,2	$\text{Ø}16_{+0,078}^{+0,165}$	$\text{Ø}16,705^{+0,14}$
Ø24	±0,2	$\text{Ø}24_{+0,078}^{+0,165}$	$\text{Ø}24,705^{+0,14}$
5,6	±0,1	$5,6_{+0,045}^{+0,085}$	$6,225^{+0,063}$
9,1	±0,2	$9,1_{+0,078}^{+0,165}$	$9,805^{+0,14}$

- Výpočet těžiště střižného nástroje

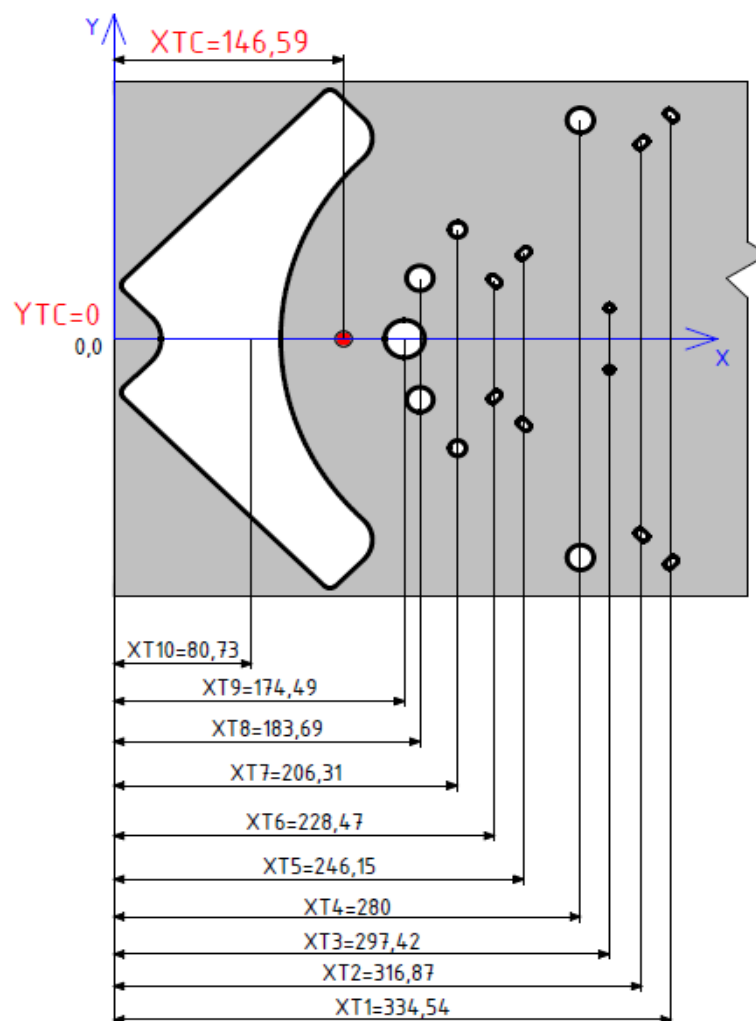
Vzhledem k symetrii součásti bude výpočet proveden pouze pro osu X. Pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2015 byly zjištěny jednotlivé těžiště dílčích střižných sil. Výsledné těžiště celkové střižné síly je vypočteno podle vztahu (2.12)

$$\begin{aligned}
 X_{Tc} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_{Ti} \cdot F_{Si}}{\sum_{i=1}^n F_{Si}} = \\
 &= \frac{2 \cdot 334,54 \cdot 17\,901,52 + 2 \cdot 316,87 \cdot 17\,901,52 + 2 \cdot 297,42 \cdot 11\,436,88}{998\,808,72} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 280 \cdot 35\,567,4 + 2 \cdot 246,15 \cdot 17\,901,52 + 2 \cdot 228,47 \cdot 17\,901,52}{998\,808,72} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 206,31 \cdot 22\,873,76 + 2 \cdot 183,69 \cdot 35\,567,44 + 174,49 \cdot 54\,891,2}{998\,808,72} + \\
 &+ \frac{80,73 \cdot 585\,814,32}{925\,673,84} = 146,59 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Těžiště (obr. 43) výsledné střižné síly má souřadnice v ose $x = 146,59 \text{ mm}$

a v ose $y = 0 \text{ mm}$, viz obr. 44.

Souřadnice těžiště slouží pro místo umístění stopky nástroje. Ta má důležitý význam pro upnutí do beranu lisu, kde výslednice střižných sil působí v ose beranu. Nepřesné určení těžiště stopky má za následek zhoršení přesnosti výrobků a snížení životnosti nástroje či zvýšení opotřebení lisu.



Obr. 44 Schéma polohy těžiště nástroje

3.5 Výpočty pro technologii ohýbání

Byl navržen ohýbací nástroj, kde se budou ohýbat dvě součásti zároveň (obr. 45). Celková ohýbací síla se tak zdvojnásobí. Výpočty budou provedeny pro tvar ohybu U. Z hlediska rozměrů bude konstrukce nástroje větší, ale výroba jednodušší. Zvýší se efektivita výroby a sníží se výrobní čas potřebný pro výrobu 30 000 kusů součástí.

- Výpočet ohýbací síly je proveden pro ohyb do tvaru U, podle zvtahu (2.10):

$$F_{ouy} = F_{oux} = (1 + 7 \cdot f) \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \frac{228,5 \cdot 2^2 \cdot 260}{2 + 2} = 121\,791\,N$$

$$= 121,791\,kN$$

$$F_{ou} = F_{ouy} + F_{oux} = 121\,791 + 121\,791 = 243\,582\,N = 243,582\,kN$$

Vzhledem k symetrii součásti bude ohýbací síla ve směru osy X a Y stejná.

- Celková ohýbací síla

$$F_{oc} = F_{ou} \cdot 2 = 243,582 \cdot 2 = 487\,164\,N = 487,2\,kN$$

- Výpočet ohybové práce je proveden pro ohyb do tvaru U podle (2.11):

Zdvih $h=53\text{mm}$

$$A_{ou} = \frac{2}{3} \cdot F_{ou} \cdot \frac{h}{1000} = \frac{2}{3} \cdot 243\,582 \cdot \frac{53}{1000} = 8\,606,6\,J$$

- Celková ohybová práce

$$A_{oc} = A_{ou} \cdot 2 = 8\,606,6 \cdot 2 = 17\,213,2\,J$$

- Minimální poloměr ohybu je spočten podle (2.7):

Koeficient pro ocel $c_o = 0,5 \div 0,6$, je zvoleno $c = 0,55$

$$R_{min} = c \cdot s = 0,55 \cdot 2 = 1,1\,mm$$

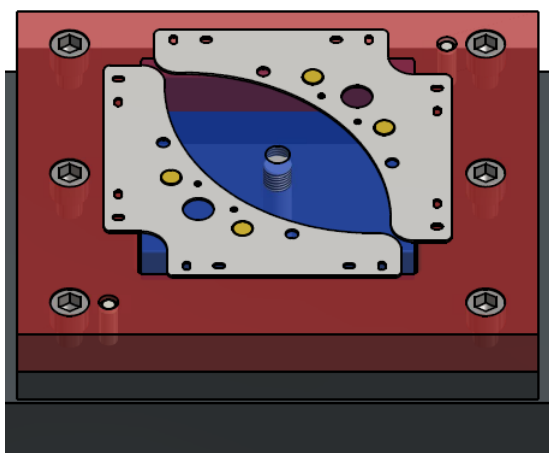
Minimální možný poloměr, který je možné vyrobit je 1,1 mm. Vyráběný poloměr 2 mm vyhovuje.

- Maximální poloměr ohybu je spočten podle (2.8):

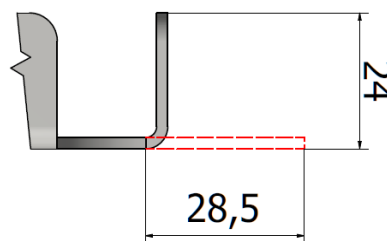
$$R_{max} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot Re} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 2}{2 \cdot 260} = 807,69\,mm$$

- Odpružení do varu U je spočteno podle (2.9):

$$\beta = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_U}{x \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{8,4}{0,42 \cdot 2} \cdot \frac{260}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,46^\circ$$



Obr. 45 Rozložení dvou součástí při ohýbání

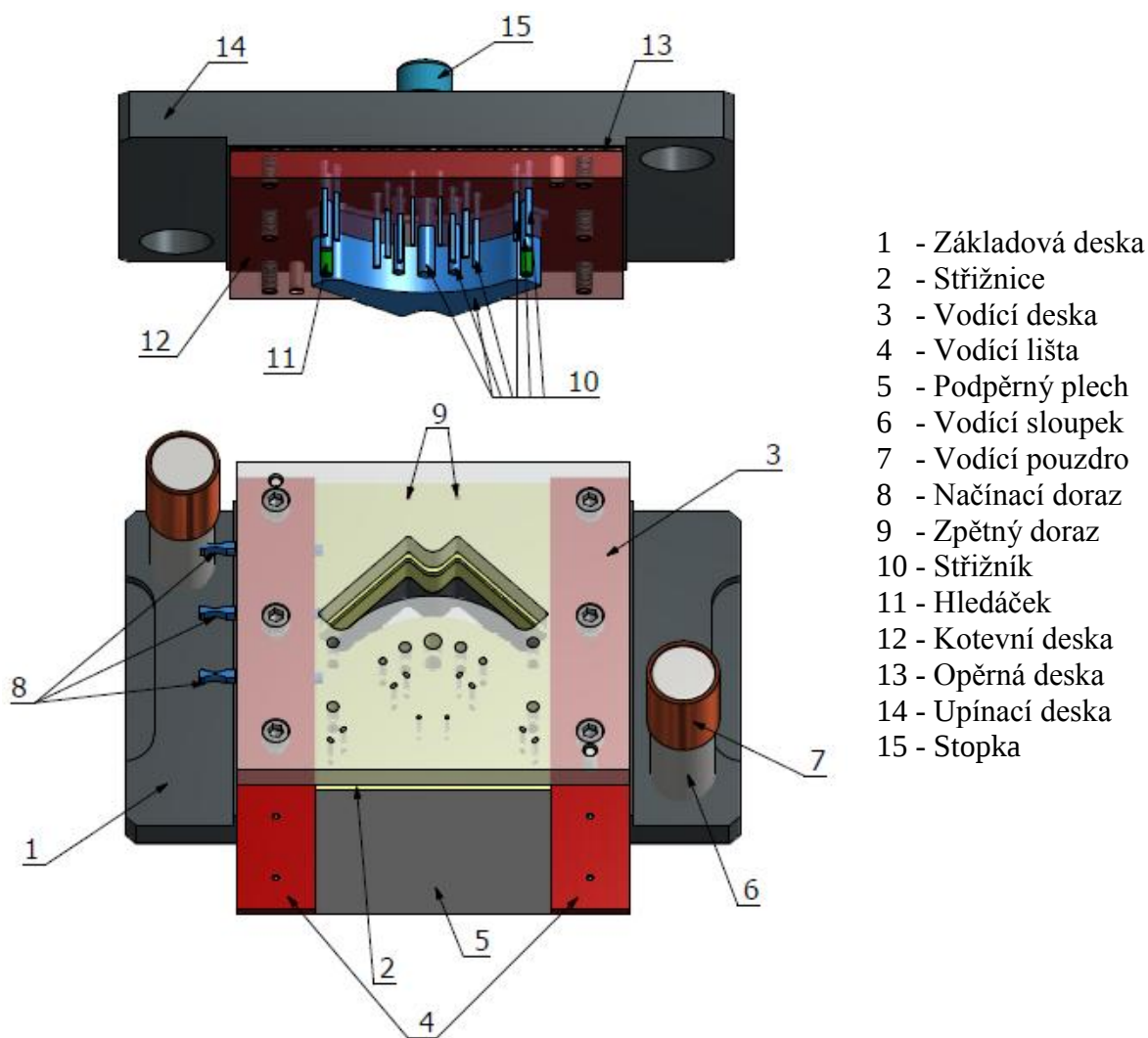


Obr. 46 Schéma ohybu

3.6 Popis nástrojů

Střížný nástroj (obr. 46) je složen ze dvou částí. První, pevná část je upevněna na stůl lisu dolní základovou deskou (1) vodícího stojánu, kde se nacházejí otvory pro odstranění odpadu. Na základové desce je poloha střížné skříně zajištěna dvěma kolíky a je přišroubována 6 šrouby. V ní se nachází střížnice (2), vodící deska (3), vodící lišty (4) a podpěrný plech (5). Do místa střížných operací zajišťují vodící lišty vedení pásu plechu, který je mezi operacemi podle postupu stříhání zastavován načínacími (8) a zpětnými dorazy (9).

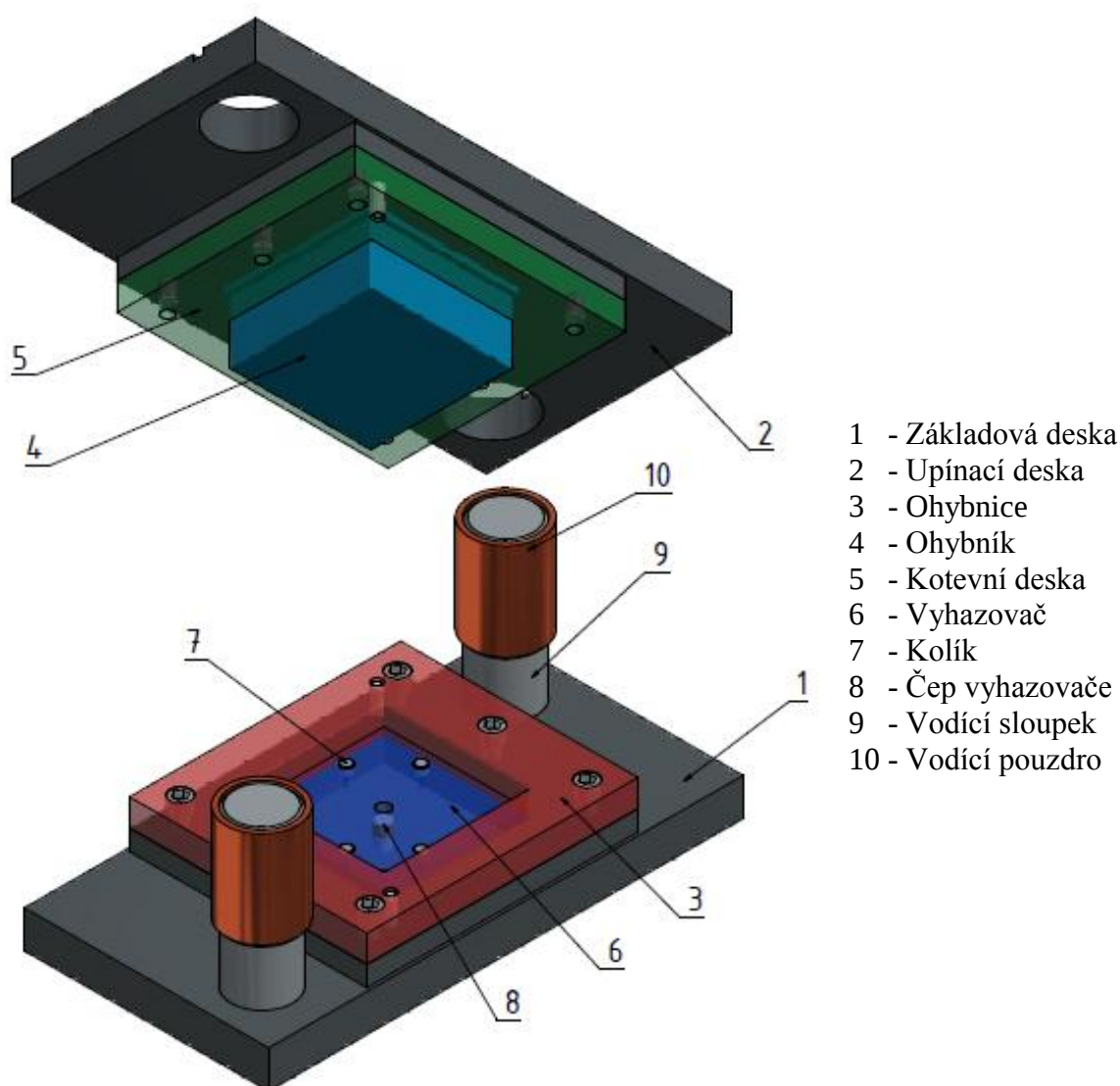
S druhou, pohyblivou částí je pevná část spojena vodícími sloupky (6), které jsou uloženy ve vodících pouzdrech (7). Pohyblivá část je upevněna horní upínací deskou (14) vodícího stojánu do beranu lisu díky stopky (15), která je zašroubována v místě těžiště výsledné střížné síly do horní upínací desky. Ta je dále spojena kolíky a šrouby s kotevní deskou (12), kde jsou uloženy střížníky (10) a dva hledáčky (11). Mezi kotevní a horní upínací deskou se ještě nachází kalená opěrná deska (13), která má za úkol zabránit vniknutí funkčních částí nástroje do vodícího stojánu.



Obr. 47 Stříhadlo

Ohýbací nástroj (obr. 47) je složen taktéž ze dvou částí. První část je pevná a je upevněna na stůl lisu základovou deskou (1) vodícího stojánu. Na základové desce je přišroubována šesti šrouby a pohlohou zajištěna dvěma kolíky pevná hlavní část nástroje - ohybnice (3). Mezi hranami ohybnice se pohybuje přímočarým pohybem vyhazovač (6), který je spojen s čepem (8) a ten je dále spojen s příslušenstvím stroje na pružině. Každý výstřižek se nasadí dvěma otvory $\varnothing 16$ na dva kolíky (7) $\varnothing 16$, jejichž výška je 1,8 mm, takže nepřesahují přes tloušťku plechu. Tímto ustavením výstřižku se zamezí jejich pohybu.

S vrchní pohyblivou částí (2) nástroje je spodní část spojena vodícími sloupky (9), které jsou uloženy ve vodících pouzdrech (10) upínací desky (2). Upínací deska je upnuta pomocí stopky do beranu lisu. Stopka je zašroubovaná do těžiště výslednice sil. Ze spod upínací desky je z vrchu přišroubována a kolíky polohou zajištěna kotevní deska (5). V ní je zapuštěna hlavní pohyblivá část nástroje - ohybník. Ten koná přímočarým pohybem zdvihu stroje ohýbací operaci.



Obr. 48 Ohýbadlo

3.7 Volba pracovního stroje [25]

Zvolený stroj bude používán pro oba dva nástroje. Nejprve bude probíhat stříhání a poté se vymění nástroje a bude se provádět ohýbání. Pro správnou volbu lisu se vychází z velikosti střížné nebo ohýbací síly. Síly je vhodné zvětšit o 30-50% z hlediska přetížení během činnosti nástroje, z hlediska bezpečnosti a z hlediska navýšení ohýbací síly o velikost síly pružiny vyhazovače. Podle těchto kritérií bude střížná i ohýbací síla bude zvětšena o 50%.

- Výsledná střížná síla pro volbu lisu:

$$F_{lisu} \geq 1,5 \cdot F_{sc} = 1,5 \cdot 998\,808,72 = 1\,498\,213\, \text{N} = 1\,498,2\, \text{kN}$$

- Výsledná ohýbací síla pro volbu lisu:

$$F_{lisu} \geq 1,5 \cdot F_{oc} = 1,5 \cdot 487\,164 = 730\,746\, \text{N} = 703,8\, \text{kN}$$

Jmenovitá síla lisu by měla mít minimálně 1 498,2 kN. Na základě tohoto výpočtu byl vybrán výstředníkový lis S 250 firmy Šmeral Brno a.s. (obr. 48). Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 3.7.

Tab. 3.7 Technické parametry výstředníkového lisu S 250 [53]

Jmenovitá tvářecí síla [kN]	2 500
Zdvih [mm]	30 - 200
Sevření[mm]	600
Představení beranu[mm]	125
Počet zdvihů[min^{-1}]	50
Rozměr stolu[mm]	1 400x1 000
Rozměr beranu[mm]	1 000x650



- Charakteristika lisu:

Jedná se o jednočinný výstředníkový lis o jmenovité tvářecí síle 2500 kN. Tento lis je určen jak pro stříhání, tak pro ohýbání. Výstředníková hřídel je uložena v horní části stojanu ve střech ložiskách. Krouťací moment motoru je přenášen klínovými řemeny na setrvačnick, který je uložěn v trubce přišroubované v zadní části stojanu pod výstředníkovou hřídelí. Trubkou setrvačnicku prochází převodová hřídel, na které je vzadu za setrvačnickem uložena kombinace hydraulické spojky a brzdy, vpředu pastorek ozubeného převodu. Ozubeným převodem se krouťací moment přenáší na výstředníkovou hřídel.

Obr. 49 Výstředníkový lis S 250 [25]

- Přednosti lisu:

Nízké provozní náklady. Vysoká tuhost stojanu. Dlouhé vedení beranu a nízké pružení pracovního prostoru dovolí nasazení přesných nástrojů. Motorické přestavování beranu i velikost zdvihu snižují časy při výměně a seřizování nástrojů a zvyšují výkonost lisu.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomickým zhodnocením bude přibližně zjišťována výrobní cena součástí technologií stříháním a ohýbáním. Náklady na pořízení strojů a zařízení, jejich údržba a servis, skladování a pronájem prostorů pro obě výrobní operace nebudou uvažovány. Velikost výrobní série je plánována na 30 000 ks/rok.

➤ Náklady na materiál

Za výchozí polotovar byla zvolena tabule plechu P2-1000x2000 mm. Hmotnost jedné tabule plechu je 31,4 kg. Cena za jeden kg materiálu činí 21 Kč. Na výrobu 30 000 ks je zapotřebí 527 kusů tabulí.

- Celková hmotnost tabulí:

$$m_{ct} = m_t \cdot P_t = 31,4 \cdot 527 = 16\,547,8 \text{ kg}$$

kde: m_t [kg] - hmotnost jedné tabule plechu.

- Cena jedné tabule plechu:

$$c_{tp} = m_t \cdot c_t = 31,4 \cdot 21 = 659,4 \text{ Kč}$$

kde: c_t [Kč] - cena jedné tabule plechu,

- Cena tabulí pro celou sérii:

$$c_{ct} = P_t \cdot c_{tp} = 527 \cdot 659,4 = 347\,503,5 \text{ Kč}$$

- Hmotnost jedné součásti:

$$m_s = V_s \cdot \rho_{ocel} = 44\,283,8 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,348 \text{ kg}$$

- Celková hmotnost součásti v sérii 30 000 ks:

$$m_{cs} = m_s \cdot 30\,000 = 0,348 \cdot 30\,000 = 10\,440 \text{ kg}$$

- Hmotnost odpadu:

$$m_o = m_{ct} - m_{cs} = 16\,547,8 - 10\,440 = 6\,107,8 \text{ kg}$$

- Cena nevyužitého materiálu:

Cena za výkup kovového odpadu je 3,2 Kč

$$c_o = c_{kg} \cdot m_o = 3,2 \cdot 6\,107,8 = 19\,545 \text{ Kč}$$

- Celkové náklady na materiál:

$$C_c = c_{ct} - c_o = 347\,503,5 - 19\,545 = 327\,958,8 \text{ Kč}$$

- Náklady na materiál pro výrobu jedné součásti jsou:

$$C_s = \frac{C_c}{30\,000} = \frac{327\,958,8}{30\,000} = 10,93 \text{ Kč}$$

Na výrobu 30 000 kusů součástí je zapotřebí 527 kusů tabulí plechů, kde cena jedné tabule činí 659,4 Kč. Pro celkovou sérii jsou náklady na materiál 327 958,8 Kč. Cena materiálu na výrobu jedné součásti činí 10,93 Kč.

➤ Mzdové náklady

Bude uvažována směnnost 8 hodin, přičemž doba pro manipulaci s materiálem, přípravy nástroje, vkládání polotovarů do tvářecích nástrojů apod. je $0,5 \cdot \text{hod}^{-1}$. Na kontrolu nástrojů a hotových nástrojů je uvažováno taktéž $0,5 \cdot \text{hod}^{-1}$. Přestávka na oběd 0,5 hod. Délka výrobního času za směnu je tedy 6,5 hodin. Hodinová mzda činí 115 Kč $\cdot \text{hod}^{-1}$

❖ Operace stříhání

- Počet vyrobených přístřihů za hodinu:

$$\text{Počet zdvihů lisu byl zvolen } n_z = 12 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{zs} = n_z \cdot 60 = 12 \cdot 60 = 720 \text{ ks/hod}$$

- Počet vyrobených přístřihů za směnu:

$$n_{ss} = n_{zs} \cdot t_v = 720 \cdot 6,5 = 4\,680 \text{ ks/hod}$$

- Počet směn

$$n_{sm} = \frac{30\,000}{n_{ss}} = \frac{30\,000}{4\,680} = 6,4$$

Pro výrobu celé série jsou zapotřebí 7směn.

- Počet hodin potřebných na výrobu:

$$n_h = n_{sm} \cdot (t_p + t_v + t_k) = 7 \cdot (0,5 + 6,5 + 0,5) = 52,5 \text{ hod}$$

- Přímé náklady na mzdy:

$$N_{pmz} = n_h \cdot w = 52,5 \cdot 115 = 6\,037,5 \text{ Kč}$$

- Ostatní přímé náklady na mzdy:

Sociální pojištění 25%, zdravotní pojištění 9%

$$N_{opmz} = 0,34 \cdot N_{pmz} = 0,34 \cdot 6\,037,5 = 2\,052,75 \text{ Kč}$$

- Celkové přímé náklady na mzdy:

$$N_{cpmz} = N_{opmz} + N_{pmz} = 2\,052,75 + 6\,037,5 = 8\,090,25 \text{ Kč}$$

❖ Operace ohýbání

- Počet vyrobených součástí za hodinu:

Počet zdvihů lisu byl zvolen $n_z = 5 \text{ min}^{-1}$

$$n_{zs} = n_z \cdot 60 = 5 \cdot 60 = 300 \text{ ks/hod}$$

Výsledek se zdvojnásobí z důvodu vyhotovení dvou součástí na jeden zdvih.

Počet vyrobených součástí je 600 ks/hod.

- Počet vyrobených součástí za směnu:

$$n_{ss} = n_{zs} \cdot t_v = 600 \cdot 6,5 = 3\,900 \text{ ks/hod}$$

- Počet směn

$$n_{sm} = \frac{30\,000}{n_{ss}} = \frac{30\,000}{3\,900} = 7,7$$

Pro výrobu celé série je zapotřebí 8 směn.

- Počet hodin potřebných na výrobu:

$$n_h = n_{sm} \cdot (t_p + t_v + t_k) = 8 \cdot (0,5 + 6,5 + 0,5) = 60 \text{ hod}$$

- Přímé náklady na mzdy:

$$N_{pmz} = n_h \cdot w = 60 \cdot 115 = 6\,900 \text{ Kč}$$

- Ostatní přímé náklady na mzdy:

Sociální pojištění 25%, zdravotní pojištění 9%

$$N_{opmz} = 0,34 \cdot N_{pmz} = 0,34 \cdot 6\,900 = 2\,346 \text{ Kč}$$

- Celkové přímé náklady na mzdy:

$$N_{cpmz} = N_{opmz} + N_{pmz} = 2\,346 + 6\,900 = 9\,246 \text{ Kč}$$

Celkové mzdové náklady na výrobu součást stříháním i ohýbáním jsou dohromady vypočítány: $8\,090,25\text{ Kč} + 9\,246 \text{ Kč} = 17\,336,25 \text{ Kč/rok}$

➤ Náklady na energii potřebnou pro operace stříhání a ohýbání jsou odhadnuty na 4 500 Kč.

➤ Náklad na tvářecí stroje jsou přibližně odhadnuty:

Střížný nástroj - 560 000 Kč

Ohýbací nástroj - 320 000 Kč

Celkové náklady na výrobu 30 000 kusů součástí, kde jsou zahrnuty náklady na materiál, nástroje, energii a mzdy jsou přibližně odhadovány na 1 229 795 Kč. Z toho vyplývá, že odhadovaná výrobní cena jedné součásti je 41 Kč. Ostatní náklady na pořízení strojů pronájem prostorů, apod. nejsou známy. Výpočet je pouze orientační.

5 ZÁVĚRY

Vyráběná součást Delta line konzola slouží jako podpěra polic. Součást je zhotovena z ocelového plechu o tloušťce 2 mm. Uvažovaný materiál musí být především dobře tvařitelný a vykazovat vyhovující mechanické vlastnosti. Na základě těchto požadavků byl zvolen materiál 11 320. Povrch součásti je práškově lakován a chráněn tak před vzniku koroze. Výrobní série je stanovena na 30 000 ks/rok.

Z uvažovaných variant byla zvolena jako neoptimálnější technologie výroby metoda postupového stříhání a dále technologie ohýbání. Z technologického hlediska nebylo nutné provádět na součásti žádné změny. Za výchozí polotovár byla na základě výpočtu s největším procentuálním využitím 63,1 % vybrána tabule plechu dělená podélně s rozměry P2-1000x2000 mm. Svitek plechu nebyl uvažován z důvodu potřeby odvíjecí, rovnací a podávací zařízení, čímž by se zvýšily investiční náklady.

Na základně technologických a konstrukčních výpočtů byl navržen nástroj pro postupové stříhání, kde se vyhotoví rozvinutý tvar součásti a dále nástroj pro ohýbání, kde se pro zvýšení efektivnosti ohnou dvě součásti zároveň. Podle rozměrů nástrojů, tvářecích sil a prací byl vybrán výstředníkový lis S 250 firmy Šmeral Brno a.s. s jmenovitou silou 2 500 kN, na kterém se bude nejprve provádět operace stříhání a následně po vyměnění nástrojů operace ohýbání.

Při technicko ekonomickém zhodnocení byly pro výrobu 30 000 kusů součástí zjištěny náklady na potřebný materiál, které činí 327 958,8 Kč. Dále náklady na mzdy, energii a nástroje. Na základě těchto zjištěných údajů byla přibližně stanovena výrobní cena jedné součásti, která činí 41 Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>
2. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
3. Dayton progress. *Dayto normalien* [online]. 2014 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.daytonprogress.de/>
4. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2003, 169 s. ISBN 80-214-2340-4
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
8. FÜRBACHER, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: základní dílo aktuální stav duben 2004 - včetně 23. doplňku*. Praha: Dashöfer, 1998, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 80-862-2902-5.
9. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd.* Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-718-3244-8.
10. LASERY - LASEROVÉ ŘEZÁNÍ (LASER CUTTING). *Lao lasery a optika* [online]. 2011 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery--laserove-rezani-laser-cutting-129>
11. Laserové a plazmové řezání. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. 2011 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
12. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: Tvářecí stroje - Poznámky k přednáškám* [online]. 2006 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf
13. Měření a analýza povrchu při řezání abrazivním vodním paprskem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: Vogel Publishing, 2015, (10): 84-84 [cit. 2015-05-31]. DOI: 1212-2572. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-a-analyza-povrchu-pri-rezani-abrazivnim-vodnim-paprskem.html>

14. Nástroje pro tváření za studena. *Střížné a ohýbací nástroje* [online]. 1978 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/NVPO_nastroje_pro_tvareni.pdf
15. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
16. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
17. Ocelové plechy a pásy válcované za tepla. *Alfun metal service center* [online]. 2015 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/ocel/plechy-a-pasy-valcovane-za-tepla>
18. Ročníkový projekt I. *Vysoké učení technické v Brně* [online]. 2002 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/rocnikovy_projekt_I__forejt.pdf
19. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 146 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
20. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0259-8.
21. Technologie řezání vodním paprskem. *Řezání vodním paprskem* [online]. 2015 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.kovojuza.cz/vodni-paprsek.html>
22. Tesařské kování, konzoly. *Dastech* [online]. 2015 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.dastech.cz/fotky31470/dokumenty/Konozle-katalog-5.pdf>
23. Tesařské kování,úhelníky. *Dastech* [online]. 2015 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.dastech.cz/fotky31470/dokumenty/Uhleniky-katalog-4.pdf>
24. Vodní paprsek. *Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava* [online]. 2014 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-17.pdf>
25. Výstředníkové lisy. *Šmeral Brno a.s.: Výroba tvářecích strojů* [online]. 2009 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarVys.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A_{oc}	Celková ohybová práce	[J]
A_{ou}	Ohybová práce do tvaru U	[J]
A_s	Střížná práce	[J]
b	Šířka materiálu	[mm]
c	Koeficient jakosti povrchu	[-]
C_c	Celkové náklady na materiál	[Kč]
C_o	Cena za výkup kovového odpadu	[Kč]
C_s	Náklady na materiál pro výrobu jedné součásti	[Kč]
C_{tp}	Cena jedné tabule plechu	[Kč]
C_{ct}	Cena tabulí pro celou sérii	[Kč]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[Mpa]
E_k	Délka přepážky	[mm]
f	Součinitel statického tření	[-]
F	Vzdálenost od okraje	[mm]
F_{lisu}	Střížná síla pro volbu lisu	[N]
F_{ou}	Ohýbací síla do tvaru U	[N]
F_{sc}	Celková střížná síla	[N]
F_{si}	Střížná síla jednotlivých střížníků	[N]
h	Zdvih beranu	[mm]
h_{el}	Hloubka elastického vniknutí střížníku	[mm]
h_{pl}	Hloubka plastického vniknutí střížníku	[mm]
h_s	Výška střížnice	[mm]
I	Kvadratický moment	[mm ⁴]
JR	Jmenovitý rozměr	[mm]
k	Součinitel hloubky vtlačení	[-]
K	Délka kroku	[mm]
l	Délka stříhu	[mm]
L_c	Výchozí délka polotovaru	[mm]
L_i	Délka rovných úseků	[mm]
L_{oj}	Délka oblouků	[mm]
l_U	Vzdálenost ohýbaných hran	[mm]
l_{kr}	Kritická délka střížníku	[mm]
l_{Ti}	Vzdálenost těžiště otvoru	[mm]
m_{cs}	Celková hmotnost součástí	[kg]
m_{ct}	Celková hmotnost tabulí	[kg]
m_o	Hmotnost odpadu	[kg]
m_s	Hmotnost jedné součásti	[kg]
m_t	Hmotnost jedné tabule plechu	[kg]
n	Koeficient zahrnující opotřebení nástroje	[-]
n_h	Počet hodin potřebných na výrobu	[hod]
n_{ss}	Počet vyrobených přístřihů za směnu	[ks.hod ⁻¹]
n_{sm}	Počet směn	[-]
n_z	Počet zdvihů lisu	[min ⁻¹]
n_{zs}	Počet vyrobených přístřihů za hodinu	[ks.hod ⁻¹]
N_{cpmz}	Celkové přímé náklady na mzdy	[Kč]

Označení	Popis	Jednotka
N_{opmz}	Ostatní přímé náklady na mzdy	[Kč]
N_{pmz}	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
O_i	Obvod otvoru	[mm]
P	Přípustná míra opotřebení	[-]
P_c	Celkový počet výstřížků z tabule	[ks]
P_p	Počet pásů z tabule	[ks]
P_t	Počet tabulí celkem	[ks]
P_v	Počet výstřížků z jednoho pásu	[ks]
R	Poloměr ohybu	[mm]
Re	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
RAD	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
RAV	Rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
RED	Rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	Rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
S	Plocha stříhu	[mm ²]
S_v	Plocha rozvinutého tvaru součástí	[mm ²]
$\bar{S}$	Šířka kroku	[mm]
t_k	Kontrolní čas	[hod]
t_p	Přípravný čas	[hod]
t_v	Výroní čas	[hod]
TA	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]
V_p	Využití plechu	[%]
x	Součinitel posunutí neutrální osy	[-]
X_{TC}	Souřadnice těžiště výslednice sil v ose x	[mm]
X_{Ti}	Souřadnice těžiště jednotlivých sil v ose x	[mm]
Y_{TC}	Souřadnice těžiště výslednice sil v ose y	[mm]
Y_{Ti}	Souřadnice těžiště jednotlivých sil v ose y	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
τ_s	Střížný odpor	[Mpa]
ρ	Poloměr neutrální osy	[mm]
ρ_{ocel}	Hustota oceli	[kg.mm ²]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobku vyhotovené technologií stříhání a ohýbání.....	9
Obr. 2 Delta line konzola.....	10
Obr. 3 Princip laseru.....	11
Obr. 4 Princip vodního paprsku.....	11
Obr. 5 Princip přesného stříhání.....	12
Obr. 6 Princip postupového stříhání.....	12
Obr. 7 Ohýbání.....	13
Obr. 8 Pružná deformace.....	14
Obr. 9 Vznik plastické deformace.....	15
Obr. 10 Oddělení výstřížku.....	15
Obr. 11 Deformační pásma stříhu.....	15
Obr. 12 Druhy střížné vůle.....	16
Obr. 13 Střížný proces, střížná síla a práce.....	17
Obr. 14 Průběh ohýbání.....	17
Obr. 15 Tlakové a tahové napětí při ohybu.....	18
Obr. 16 Odpružení.....	19
Obr. 17 Průběh ohýbací síly.....	19
Obr. 18 Nástřihový plán.....	20
Obr. 19 Vzdálenosti mezi otvory.....	20
Obr. 20 Ohýbání vláken podle polohy osy ohybu.....	21
Obr. 21 Vzdálenost okraje a otvorů od poloměru ohybu.....	21
Obr. 22 Střížný nástroj.....	21
Obr. 23 Stopka.....	22
Obr. 24 Dorazy.....	22
Obr. 25 Hledáčky.....	22
Obr. 26 Střížníky.....	23
Obr. 27 Střížnice.....	23
Obr. 28 Vložkované střížnice.....	23
Obr. 29 Ohýbací nástroj do tvaru U.....	24
Obr. 30 Výměnné vložky funkčních částí ohýbadla.....	24
Obr. 31 Mechanický lis.....	25
Obr. 32 Hydraulický lis.....	25
Obr. 33 Těžiště výslednice sil.....	26
Obr. 34 Vyráběná součást.....	27
Obr. 35 Rozvinutý tvar součásti.....	27
Obr. 36 Možnosti uspořádání.....	28
Obr. 37 Podélné dělení tabule plechu.....	29
Obr. 38 Příčné dělení tabule plechu.....	29
Obr. 39. Schéma nástřihového plánu.....	31
Obr. 40 Postup stříhání.....	31
Obr. 41 Střížných sil pro otvory.....	32
Obr. 42 Střížná síla pro obrys.....	32
Obr. 43 Schéma vystřihovaných a děrovaných rozměrů.....	34
Obr. 44 Schéma polohy těžiště nástroje.....	35
Obr. 45 Rozložení dvou součástí při ohýbání.....	36
Obr. 46 Schéma ohybu.....	36
Obr. 47 Stříhadlo.....	37
Obr. 48 Ohýbadlo.....	38
Obr. 49 Výstředníkový lis S 250.....	39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení vlastnosti oceli.....	10
Tab. 2.1 Hodnoty součinitele posunutí neutrální osy.....	18
Tab. 3.1 Vypočtené hodnoty variant nástřihových plánů.....	30
Tab. 3.2 Střížná síla pro jednotlivé střížníky.....	32
Tab. 3.3 Součinitel hloubky vtlačení.....	33
Tab. 3.4 Mezní úchytky délkových rozměrů dle normy ČSN ISO 2768-m.....	33
Tab. 3.5 Rozměry střížnic a střížníků při vystřihování.....	34
Tab. 3.6 Rozměry střížníků a střížnic při děrování.....	34
Tab. 3.7 Technické parametry výstředníkového lisu S 250.....	39

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Diagramy pro stanovení velikosti okraje můstku nástřihového plánu

SEZNAM VÝKRESŮ

Delta line kozola	BP-152245-01
Střížník	BP-152245-02
Střížnice	BP-152245-03
Sestava střížného nástroje	BP-152245-04
Sestava ohýbacího nástroje	BP-152245-05

Příloha č. 1 Diagramy pro stanovení velikosti okraje můstku nástřihového plánu [18]

