



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA OCHRANNÉHO KRYTU SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

MANUFACTURING OF PROTECTING COVER BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Janáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jakub Janáč**
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 ochranného krytu sdruženým nástrojem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby ochranného krytu z plechu. Tato tvarová součást bude vyráběna pomocí sdruženého postupového nástroje. Pro výrobu budou zvoleny 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.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATTSCH, 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 se zabývá návrhem výroby ochranného krytu, což je plechová součást o tloušťce 3 mm ze slitiny EN AW-3103. Dle analýzy možných technologií je jako nejefektivnější varianta zvolena výroba v postupovém sdruženém nástroji. Ten kombinuje technologie stříhání a ohýbání, přičemž tyto technologie jsou rozebrány v literární studii. Na základě hodnocení technologičnosti a kontrolních výpočtů je navržen nástroj, ve kterém se součást zhotoví v pěti krocích. Pro nástroj je zvolen vhodný stroj, a to výstředníkový lis Vaptech PE160MA.

Klíčová slova

plošné tváření, sdružený nástroj, stříhání, ohýbání, výstředníkový lis

ABSTRACT

The master's thesis deals with a proposal of the manufacturing of a protective cover, which is sheet metal part with a thickness of 3 mm from the EN AW-3103 alloy. According to the analysis of possible technologies, the most effective option is production in a progressive die. This combines cutting and bending and these technologies are analyzed in a literature study. Based on the assessment of the technology control and control calculations a die is designed. This die produces the part in five steps. As a suitable machine an eccentric press Vaptech PE160MA is chosen.

Keywords

sheet metal forming, compound tool, cutting, bending, eccentric press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANÁČ, Jakub. *Výroba ochranného krytu sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149581>. 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 ochranného krytu sdruženým nástrojem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně dne 26.5.2023

.....
Jakub Janáč

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za vstřícnost, cenné rady a připomínky při vypracování mé diplomové práce. Velké díky patří celé mé rodině, přátelům a přítelkyni za trpělivost a podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU.....	10
1.1 Analýza dostupných technologií	11
2 ROZBOR TECHNOLOGIÍ.....	15
2.1 Technologie stříhání	15
2.1.1 Střížná vůle	17
2.1.2 Síly a práce v procesu stříhání	18
2.1.3 Technologičnost výstřížků.....	20
2.2 Technologie ohýbání	22
2.2.1 Stanovení délky polotovaru	24
2.2.2 Parametry ohýbání	26
2.2.3 Ohýbací síla a práce.....	28
2.2.4 Technologičnost ohýbaných součástí	29
2.3 Střížné a ohýbací nástroje.....	30
2.3.1 Střížné nástroje	30
2.3.2 Ohýbací nástroje	35
2.4 Tvářecí stroje	37
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	39
3.1 Uspořádání výstřížků na nástřihovém plánu	40
3.2 Technologické výpočty	47
3.2.1 Výpočty pro technologii stříhání	47
3.2.2 Výpočty pro technologii ohýbání	51
3.2.3 Návrh pružin	53
3.2.4 Poloha stopky nástroje.....	53
3.3 Návrh sdruženého nástroje	54
3.4 Volba tvářecího stroje	57
ZÁVĚR.....	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Zpracování nejrůznějších materiálů a polotovarů na funkční díly provází lidstvo po celou jeho historii. Jak se civilizace vyvíjela, stoupaly nároky na kvalitu výrobků. V současné době se výrobou rozmanitých dílů zabývá obor zvaný strojírenská technologie, který staví na znalostech matematiky, fyziky, mechaniky, materiálových a dalších věd. Zmíněné nauky hrají v dnešním průmyslu velmi důležitou roli, protože pomáhají nalézt optimální uplatnění výrobních technologií. [1; 2]

Samotná strojírenská technologie zahrnuje celou řadu nejrůznějších výrobních technologií. Patří mezi ně obrábění, tváření, svařování, slévárství, povrchové úpravy, tepelná zpracování a jiné. Ve většině případů není žádná technologie schopná sama zhotovit kompletně celou součást. Je proto nutné znát klady, zápory a použitelnost jednotlivých technologií a jejich kombinací dosáhnout optimálního výrobního postupu. [1; 2]

U technologie tváření se uplatňují procesy, při nichž se působením vnějších sil na polotovar mění jeho tvar, obvykle bez porušení materiálu. Tvářecí technologie se dají rozdělit do dvou skupin. Tou první je tváření objemové, při kterém dochází k přetvoření materiálu ve všech směrech. Řadí se zde např. technologie pěchování, protlačování či kování. [1; 2]

Druhou skupinu tvoří technologie plošného tváření. U nich nastává deformace materiálu převážně pouze ve dvou směrech. Z této skutečnosti vyplývá, že polotovarem bývá nejčastěji plech. Mezi nejvýznamnější představitele technologií plošného tváření patří technologie stříhání, ohýbání a tažení. Tyto technologie lze vzájemně kombinovat a tím dosahovat efektivnější výroby. Nevýhodou však jsou vysoké pořizovací náklady složitých jednoúčelových nástrojů, které z tohoto důvodu nacházejí své uplatnění ve velkosériové výrobě. Ukázka součástí zhotovených technologiemi plošného tváření je na obr. 1. [1; 2]

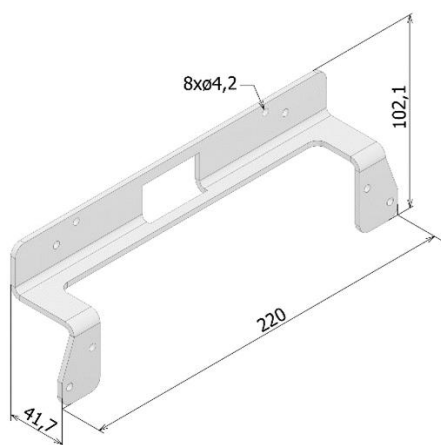


Obr. 1 Příklady plošně tvářených součástí [2].

1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Součástí, pro kterou má být navržen výrobní postup, je ochranný kryt zakrývající zadní část zdravotnického přístroje. Jeho funkcí je pouze zakrýt vnitřek zařízení, a tak na něj nejsou kladeny žádné speciální požadavky pevnosti či přesnosti. Jako pohledový díl však nesmí být poškrábán či jinak viditelně poškozen.

Díl je zhotoven z plechového polotovaru o tloušťce 3 mm, dvakrát ohnutého pod úhlem 90°. Na součásti se nachází osm otvorů pro šrouby M4, kterými bude ochranný kryt připevněn k přístroji. Uprostřed dílce je ještě obdélníkový otvor pro kabely vedoucí do zařízení. Protože ve výkresové dokumentaci nejsou předepsány žádné tolerované rozměry, bude přesnost určena dle normy ISO 2768-mH. Model součásti se základními rozměry je zobrazen na obrázku 2.



Obr. 2 Model součásti.



Obr. 3 Foto součásti.

Doposud bylo potřeba daný díl vyrábět v malých sériích v počtu nižších desítek kusů. Tyto dílce určené pro prototypy zdravotnických přístrojů byly nejprve vypáleny pomocí laseru a následně ohnuty na ohraňovacím lisu. Tato výroba byla zadávána do kooperace firmě, která disponuje řezacím laserem. Foto takto vyrobené součásti je na obrázku 3. V současné době již dochází k ukončení testování prototypů a má být spuštěna výroba tohoto zařízení v objemu 300 000 ks/rok. Proto je potřeba zvážit inovaci výroby zadaného dílce.

Součást je vyráběna ze slitiny hliníku a manganu EN AW-3103 (dle ČSN EN 573-3). Slitina disponuje dobrou odolností vůči korozi. Díky vyššímu obsahu manganu se vyznačuje zvýšenou pevností, přičemž si zachovává vysokou tvárnost. Proto je tento materiál vhodný pro součásti, které mají být vyráběny technologiemi hlubokého tažení, ohýbání či svařování. Slitina nachází uplatnění pro méně namáhané díly v oblastech elektrotechniky a vzduchotechniky, v leteckém průmyslu a k výrobě kuchyňského nádobí. Značení, chemické složení a vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti pro stav H14 – polotvrdý – jsou uvedeny v tabulce 1. [3; 4]

Tab. 1 Značení, chemické složení a vlastnosti materiálu [3; 4].

Dle ČSN EN 573-3				Dle ČSN			
EN AW-3103				42 4432			
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr+Ti
[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]
0,5	0,7	0,1	0,9 ÷ 1,5	0,3	0,1	0,2	0,1
R _m	R _{p0,2}	A ₅	E	ρ	HBW		
[MPa]	[MPa]	[%]	[GPa]	[kg·m ⁻³]	[-]		
140÷180	min. 120	min. 2	69,5	2730	40		

1.1 Analýza dostupných technologií

Pro každý díl, který má být ve strojírenské firmě vyráběn, je nejprve nutné zvolit vhodnou výrobní technologii. Při výběru té nejlepší možnosti je potřeba důsledně zvážit celou řadu faktorů. Výroba musí dodržet předepsanou jakost dílu, například rozměrovou přesnost, mechanické vlastnosti či kvalitu povrchu. S tím je však často ve sporu ekonomická stránka výroby, protože produkce dílu se musí firmě vyplatit. Proto je třeba při posuzování technologií zohledňovat spotřebu materiálu, časovou náročnost zhotovení celé série i počet zaměstnanců nutných k obsluze strojů. Dalším faktorem je dostupnost daných technologií. Pokud firma nedisponuje potřebným strojovým vybavením, je nucena některé operace z výrobního plánu v rámci kooperace přenechávat jiným firmám. To přináší nutnost počítat se složitější logistikou, delšími časy výroby a tím i vyšší cenou. Z výše uvedených důvodů je možné okamžitě odmítnout technologie obrábění, odlévání a svařování. Stejně tak není nutné zvažovat využití některých nekonvenčních technologií, jako například stříhání nepevným nástrojem.

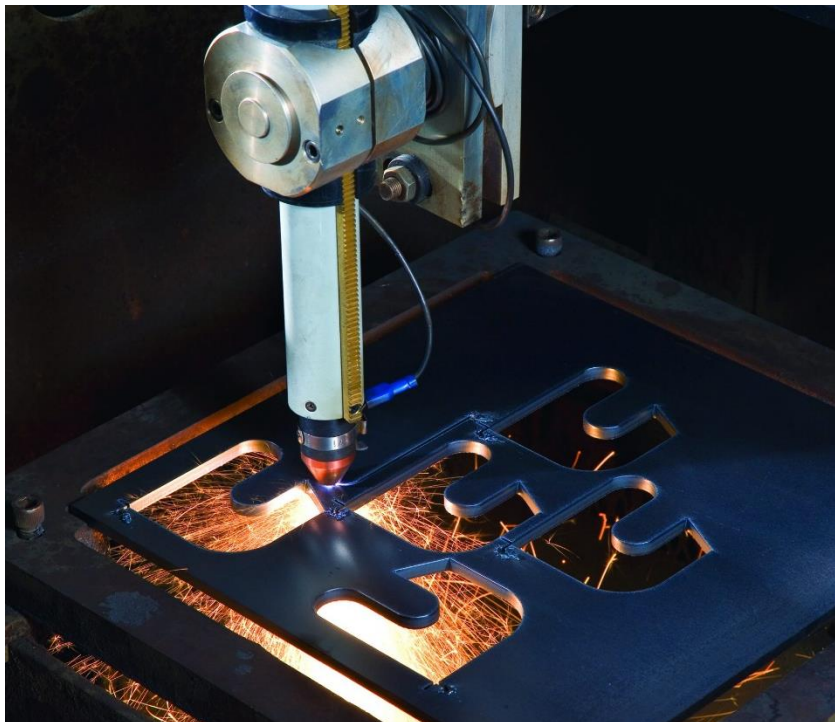
Požadovaný tvar součásti je možné zhotovit dvěma způsoby. První možností je navrhnout výrobní postup, kdy nejprve dojde k získání rozvinutého tvaru plechu a následně bude proveden ohyb do požadované geometrie součásti. Pro zadanou sériovost 300 000 kusů za rok se jeví jako účelné užít ohýbaní na lise pomocí ohybového nástroje anebo využít ohraňovací lisu. Druhou možností je zhotovit celou součást v jednom postupovém nástroji v jednom stroji. V rámci první možnosti výrobního postupu se pro výrobu rozvinutého tvaru se nabízí vícero metod, jako například:



Obr. 4 Řezání laserem [8].

- Řezání laserem (obr. 4) – tato technologie již pro výrobu dané součásti použita byla, nicméně je otázkou její využití i při navýšení kapacity výroby. Řadí se mezi technologie využívající k dělení materiálu koncentrovaný zdroj energie. Řezání laserem využívá svazku fotonů, které s vysokou energií dopadají na povrch polotovaru. Tím se materiál prudce zahřívá a dle konkrétní technologie se buď taví nebo dochází k jeho sublimaci. Vnesené teplo způsobuje deformaci dílce, ta však není nikterak výrazná. Mezi výhody použití laseru patří vysoká přesnost a rychlost, možnost kvalitního řezání malých otvorů či vyšší využití materiálu v důsledku úzké řezné spáry. Nevýhodami pak jsou vyšší náklady, menší účinnost, omezení maximální tloušťky řezaných materiálů a také horší aplikace u lesklých materiálů. [5; 6; 7; 8]

- Řezání plazmovým paprskem – podobně jako u technologie řezání laserem i u řezání pomocí plazmového paprsku (obr. 5) dochází k tavení materiálu. Toho je dosaženo dynamickým působením žhavého ionizovaného plynu složeného především z iontů a elektronů. Proudící plazma zároveň odnáší roztavený materiál z místa řezu. U této technologie je nutné používat plazmový plyn, přičemž nejčastěji se používá argon, vodík, kyslík nebo dusík. Pomocí plazmy lze dělit všechny kovové materiály. Výhodou metody řezání plazmovým paprskem je dobrá možnost automatizace, při které se dá využít více hořáků najednou. Řezná rychlost je vysoká, avšak nedosahuje rychlosti řezání laserem. Proti této technologii pak hovoří širší řezná spára, vysoká hlučnost, tepelné ovlivnění materiálu a emise zplodin. Zvláště u silnějších plechů nastává zhoršení kvality řezu kvůli tzv. podkosení. To je způsobeno nižší kinetickou energií částic ve větší vzdálenosti od povrchu. [5; 9; 10; 11]



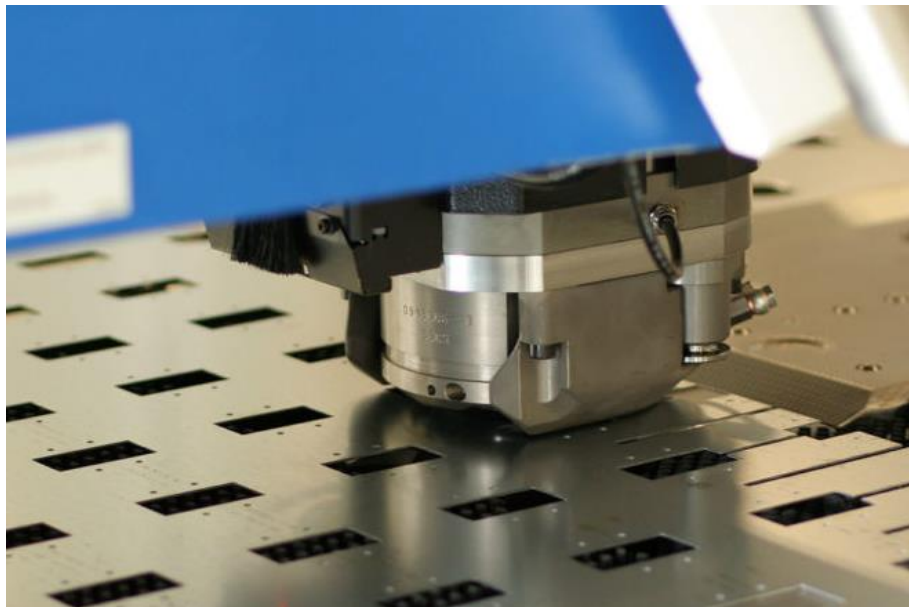
Obr. 5 Řezání plazmou [11].

- Technologie řezání vodním paprskem (obr. 6) – staví na principu dělení materiálu pomocí paprsku vody o malém průměru a vysokém tlaku. Pro další zvýšení řezného účinku se do vody přidává abrazivo. Na rozdíl od ostatních technologií využívajících koncentrovaný zdroj energie, nedochází při řezání vodním paprskem k tepelnému působení. Velkou výhodou této metody je její uplatnění na širokou škálu materiálů – kromě kovových polotovarů se používá i k dělení kamene, dřeva, gumy, skla atd. Zároveň není problém vodním paprskem řezat i větší tloušťky materiálů. Díky vysoké kvalitě řezné plochy lze řezy provádět velmi blízko sebe a tím snížit množství odpadu. Zjevnou nevýhodou této technologie je kontakt vody s řezaným materiálem. To přináší nutnost řešit různé komplikace, jako například nasákavost či korozi. Za zmínku stojí i velmi hlučný provoz strojů. [12; 13]



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [14].

- Vysekávání – jedná se o produktivní technologii beztržiskového dělení plechového polotovaru (obr. 7). Provádí se v CNC vysekávacích strojích, které umožňují kombinovat různé tvářecí technologie. Kromě jednoduchého dělení materiálu lze pro výrobu součástí využít i nástroje pro mělké tažení, válečkování či ražení nebo rytí symbolů. Pomocí vysekávání se dají zhotovit i rozměrnější součásti, případně se dá z jedné tabule plechu vyrobit i více různých součástí. Mezi klady této technologie patří její rychlost a dělení materiálu bez jeho tepelného ovlivnění. Zřejmě největším záporem vysekávání je omezení tloušťky polotovaru na zhruba 6 mm. Při aplikaci vysekávání také dochází k postupnému opotřebení nástrojů. [15; 16]



Obr. 7 Vysekávání [17].

- Stříhání v postupovém nástroji – nabízí efektivní způsob, jak z tabule plechu získat požadovaný díl. V tomto nástroji (obr. 8) se při každém zdvihu posunuje pás či svitek plechu a v několika krocích se z něj zhotovuje výstřížek. Jedná se o produktivní způsob výroby, u kterého je ovšem nutná nákladná konstrukce složitého nástroje, který se dá

použít pro vystřížení jen jednoho konkrétního dílu. Z tohoto důvodu se tato metoda vyplácí pouze u velkých sérií. [18]

Všechny výše zmíněné technologie umožňují vyrobit rozvinutý tvar požadované součásti včetně otvorů. V následující operaci by bylo nutné polotovar přesunout do dalšího stroje, kde by byl díl ohnut. Nabízí se ale i možnost využít technologii, při níž by byl tvar dílu i jeho ohyb zhotoven v jednom nástroji. Tou je technologie výroby součásti ve sdruženém postupovém nástroji. Jedná se metodu, při níž se v jednotlivých krocích nejdříve částečně obstříhne tvar dílce, následně dojde k ohybu a v posledním kroku dojde k odstřížení součásti. Tato technologie dosahuje vysoké produktivity, protože odpadá manipulace s materiálem mezi operacemi. Sdružený postupový nástroj se používá pro velkosériovou výrobou, protože pro menší počet kusů by se konstrukce nákladného nástroje nevyplatila.



Obr. 8 Postupový nástroj [19].

Současný způsob výroby – řezání pomocí laseru a ohyb na ohraňovacím lisu – se vyplatil při potřebě zhotovit jen několik desítek kusů. Pro objednanou sérii 300 000 ks však není příliš efektivní, a to kvůli nutné logistice a ruční manipulaci s materiálem při ohýbání. Zároveň u současného způsobu výroby dochází ke vzniku zmetků – a to kvůli tepelnému ovlivnění dílce při řezání laserem nebo ohnutím o špatný úhel nebo nastavením špatného poloměru ohybu.

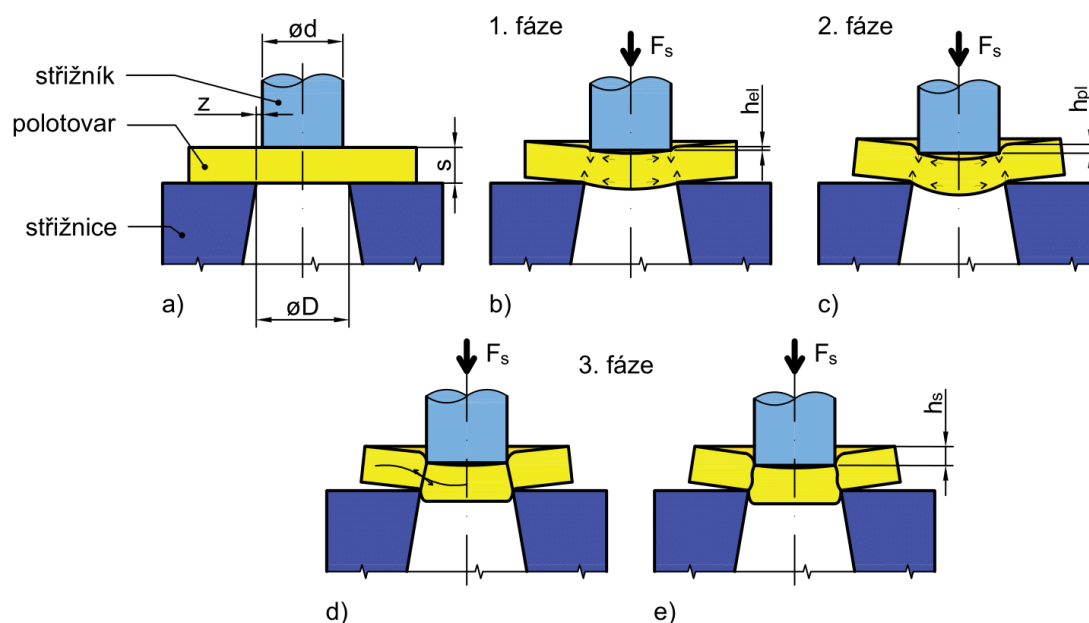
Z těchto důvodů je pro zadanou sérii nutné zvolit odlišnou technologii výroby. Technologie řezání laserem a plazmou umožní zhotovit daný počet kusů poměrně efektivně, avšak zůstává u nich problém s vnášeným teplem. To sice nehrozí při řezání vodním paprskem, zde je však komplikací kontakt s vodou. Ani jednou z těchto technologií pak firma vyrábějící dílec nedisponuje, bylo by proto potřeba výrobu objednat v jiné firmě. Proto nebudou tyto technologie k výrobě série použity. Vysekávání a stříhání v postupovém nástroji jsou produktivní metody, které by bylo možné použít. Nijak ale neřeší problém s nutností zhotovit ohyb na samostatném stroji, což prodlužuje výrobní čas a přidává náklady na dalšího pracovníka, přičemž tyto faktory jsou pro ekonomiku celé série klíčové. V případě vysekávání by firma zároveň musela investovat do strojového vybavení umožňujícího aplikaci této technologie. Žádná z výše popsaných metod neřeší snahu podniku oprostít se od zadávání výroby do kooperace, proto je ke zhotovení zadané série zvolena výroba ve sdruženém postupovém nástroji. Tato metoda jako jediná umožňuje v jednom stroji provést jak zhotovení tvaru součásti, tak i ohnutí dílce, a to s využitím strojového parku firmy. Zároveň se jedná o technologii vysoce produktivní, takže se jeví pro výrobu součásti v požadované sérii nejvhodnější.

2 ROZBOR TECHNOLOGIÍ

2.1 Technologie stříhání

Stříhání patří mezi nejvíce využívané způsoby dělení materiálu. Jedná se o beztržkovou metodu řadící se k tvářecím technologiím. Mezi těmito technologiemi je stříhání výjimečné skutečností, že u něj dochází k cílenému porušování materiálu. Princip této metody spočívá ve vyvolání smykových napětí pomocí břitů dvou protilehlých nožů a následném oddělení materiálu podél křivky stříhu. Tato křivka kopíruje obvod střížníku a střížnice. V závislosti na tom, zda je vystřížený tvar výrobkem nebo odpadem, se hovoří buď o vystříhování nebo děrování. Stříháním lze dělit jak plošný, tak i objemový polotovaru – je tedy možné stříhat nejen plechy, ale i tyčový materiál či trubky, přičemž se používají varianty stříhání za studena i za tepla. [1; 20; 21; 28]

Celý průběh stříhání se dělí do třech fází. Nejprve střížník dosedá na stříhaný materiál, viz obr. 9 a). Z této výchozí polohy se střížník v I. fázi pohybuje dál a dochází k pružnému stlačování a ohýbání polotovaru, který se vtlačuje do otvoru střížnice, viz obr. 9 b). Nástroj vniká do hloubky 5 až 8 % tloušťky plechu, přičemž hloubka vniku závisí na mechanických vlastnostech polotovaru. Napětí působící v materiálu je zatím menší než mez pružnosti. Z důvodu existence střížné mezery mezi obvodem střížníku a střížnice zároveň vzniká silová dvojice, která namáhá plech a ohýbá ho. Touto deformací se stříhaný materiál zaobluje na obou stranách stříhadla. [1; 21; 22; 28]



Obr. 9 Průběh stříhání v nástroji [1].

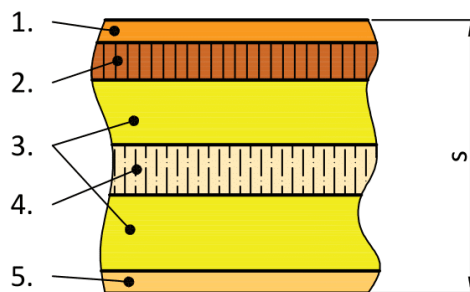
Tím, že střížník pokračuje ve vnikání do materiálu, dochází k překročení meze kluzu a pružná deformace se mění na plastickou, viz obr. 9 c). To je označováno jako II. fáze, nastávající při hloubce vniku nástroje do 10 až 25 % tloušťky plechu. [1; 21; 22; 28]

Dalším vnikáním střížníku se namáhání dále zvyšuje a překračuje mez pevnosti ve stříhu – nastává III. fáze. V ní nejprve vznikne tzv. nástřih, viz obr. 9 d). Při něm se v blízkosti střížných hran začínají objevovat mikroskopické trhliny. Ty se šíří materiálem, dokud nedojde k lomu a tím k oddělení materiálu, viz obr. 9 e). Rozvoj těchto trhlin je podporován tahovým normálovým napětím ve směru vláken. Rychlost šíření trhlin je závislá na velikosti střížné vůle a na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Navíc jsou ovlivněny i hloubkou vniku nástroje. Při stříhání měkkých a houževnatých materiálů, u kterých je vznik nástřihu a iniciace trhlin pomalejší, tvoří tato hloubka asi 60 % tloušťky. Naopak u tvrdých křehkých materiálů

nastává lom takřka okamžitě s hloubkou vniku nástroje do zhruba 10 % tloušťky. [1; 21; 22; 28]

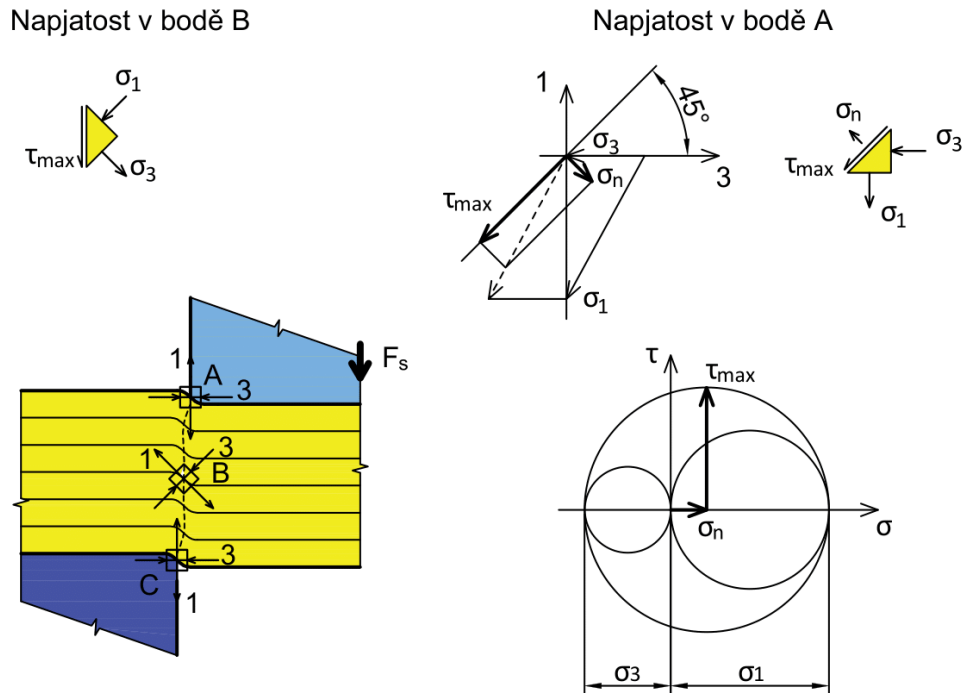
Z výše uvedených skutečností vyplývá, že k lomu, tedy k oddělení materiálu, dochází dřív, než projde střížník celou tloušťkou materiálu. Následkem výše popsaného procesu není nově vzniklá plocha, která je označována jako střížná, zcela rovinná, ale blíží se tvaru písmene „S“. Vlivem deformací nastávajících při střížném procesu se střížná plocha zpevňuje, což má za následek snížení tvárnosti. Střížná plocha se skládá z několika pásem (obr. 10): [1; 21; 22; 28]

- pásmo 1 vzniká kvůli zaoblení vstupní hrany plechu,
- pásmo 2 je způsobeno zatlačením nože,
- pásmo 3 se tvoří v důsledku lomu materiálu, čímž vzniká samotná plocha stříhu,
- pásmo 4 závisí na velikosti střížné vůle a vzniká třením protlačení výstřížku přes střížnici,
- pásmo 5 je důsledkem zatlačení spodního nože.



Obr. 10 Pásma střížné plochy [1].

Na vzniklé „S“ ploše lze vyznačit body, viz obr. 11, pomocí kterých je možné charakterizovat stav napjatosti při uzavřeném stříhání. Zatímco body A a C leží u hrany střížníku, respektive střížnice, bod B se nachází uprostřed tloušťky materiálu. Ve všech bodech na střížné ploše platí, že napětí $\sigma_2 = 0$, z čehož vyplývá, že stav napjatosti je rovinný. V bodě B nastává rovnost obou hlavních napětí σ_1 a σ_3 a smykové napětí v tomto bodě je kolmé k rovině stříhaného plechu. Směrem ke střížným hranám se poměr σ_1 a σ_3 mění a v bodech A a C dosahuje velikost tahového napětí σ_1 přibližně dvojnásobku velikosti tlakového napětí σ_3 . Smykové napětí se v těchto bodech orientuje pod úhlem 45° . Z Mohrových kružnic vyplývá, že výsledná normálová složka napětí σ_n , nabývá kladných hodnot a je kolmá k rovině maximálních smykových napětí. Právě tato složka se podílí na rozevírání trhlin během stříhání materiálu. [1; 21]



Obr. 11 Schéma napjatosti při běžném stříhání v nástroji [1].

2.1.1 Střížná vůle

Střížnou vůlí se rozumí rozdíl mezi pracovními částmi střížníku a střížnice. Polovina střížné vůle se označuje pojmem střížná mezera. Při procesu stříhání se velikost střížné vůle významnou měrou podílí na mnoha různých aspektech, např. na kvalitě střížné plochy, velikosti střížné síly nebo na životnosti nástroje. Je žádoucí, aby střížná mezera byla po celém obvodu rovnoměrná. Při její proměnné velikosti vznikají na povrchu vady a ostriny, což výrazně snižuje kvalitu střížné plochy. Díky správně nastavené velikosti střížné mezery se trhliny, které vznikají během stříhání, setkají v jednom bodě, čímž dojde k takřka ideálnímu oddělení materiálu. Pokud je však střížná mezera příliš malá nebo naopak velká, vznikající trhliny se mýjejí a dochází ke vzniku otřepu, který zapříčiní zhoršení jakosti střížné plochy. [1; 20; 21; 23; 28]

Obecně platí, že menší velikost střížné mezery se projevuje vyšší kvalitou střížné plochy, ale zároveň nárůstem střížné síly. Při zvětšení střížné mezery se potřebná střížná síla zmenšuje, a to na úkor kvality stříhu. Cílem by tedy mělo být stanovení takové velikosti střížné vůle, při které bude dodržena požadovaná jakost výrobku za použití minimální střížné síly. Velikost vůle je závislá na tloušťce a materiálu stříhaného polotovaru, přičemž pro běžné stříhání se zpravidla jedná o 3 ÷ 20 % tloušťky stříhaného materiálu. Stanovit střížnou vůli lze užitím v literatuře dostupných tabulek doporučených hodnot pro danou tloušťku a materiál. Druhou možností je pak vypočítat tuto velikost pomocí empiricky získaných vztahů. [20; 21; 23; 28]

Pro plechy tloušťky $s < 3$ mm platí [20]:

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

Pro plechy tloušťky $s > 3$ mm platí [20]:

$$z = (1,5 \cdot s - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.2)$$

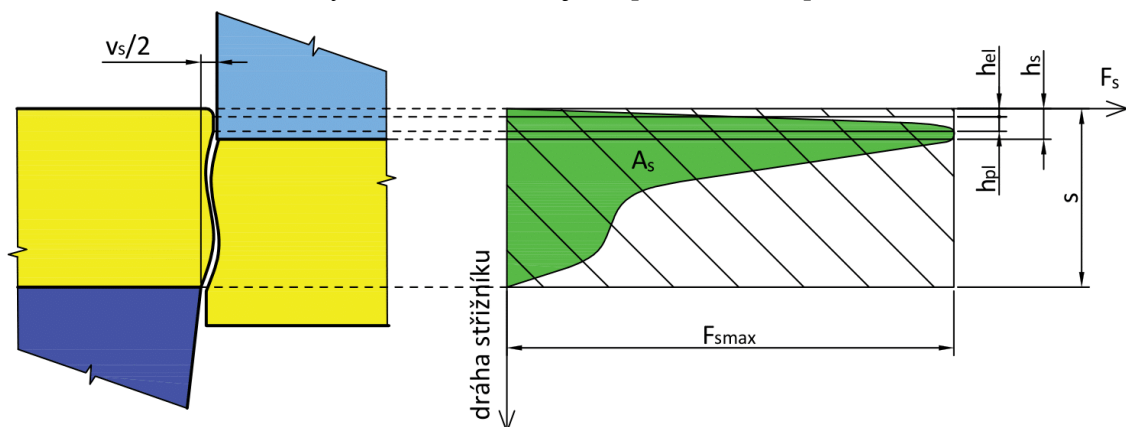
kde: c – koeficient volen z intervalu (0,005 ÷ 0,035),
 s – tloušťka materiálu [mm],
 τ_s – mez pevnosti ve stříhu [MPa].

2.1.2 Síly a práce v procesu stříhání

Aby mohl být navrhnout vhodný stroj, na kterém bude výroba technologií stříhání provedena, je potřeba znát síly působící během procesu. Každý lis disponuje určitou tonáží a s ní související jmenovitou silou lisu. Tato síla nesmí být překročena, protože by hrozilo poškození stroje. [20]

Nejvýznamnější silou ve střížném procesu je střížná síla. Pro určení této síly má velkou roli střížný odpor. Tímto pojmem se chápá odolnost materiálu vůči přetvoření s navazujícím lomem. Střížný odpor závisí na řadě činitelů, zejména na mechanických vlastnostech materiálu, kdy s klesající tvárností a zvyšující se pevností odpor roste. Dále je pak ovlivněn např. tloušťkou a tvarem materiálu, velikostí střížné mezery či konstrukcí nástroje. Jako ukazatel hodnoty střížného odporu se používá hloubka vniku střížníku v okamžiku tvorby nástřihu h_s za konstantních technologických podmínek. [1; 21; 28]

Působením střížné síly dochází k samotnému ustřížení materiálu. Průběh této síly v závislosti na dráze nástroje viz na obr. 12. V úvodní fázi, při níž dochází k elastické deformaci, velikost síly velmi rychle roste, a to až do hloubky h_{el} . V oblasti trvalé plastické deformace, která končí v hloubce h_{pl} , pokračuje růst síly až do svého maxima, kdy se v materiálu začínají objevovat trhlinky v důsledku deformačního zpevnění. Po nabytí své maximální hodnoty velikost síly klesá, dokud nástroj nedosáhne hloubky plastického stříhu h_s . Následuje lom materiálu, po kterém nastává prudký pokles síly. Tento pokles je mírněn třením mezi nově oddělenými plochami materiálu a mezi výstřížkem a nástrojem. [1; 20; 21; 28]



Obr. 12 Průběh střížné síly [21].

Pokud je střížná síla příliš velká, existují způsoby, jak její velikost snížit. Toho se využívá např. u stříhání tlustých materiálů nebo pokud má nástroj větší počet střížníků. Asi nejčastěji se ke snížení síly používá úprava geometrie nástroje. Při děrování se zhotoví úkos na střížníku, v případě vystřihování se naopak zešikmí střížnice. Tímto zkosením o 5 až 8° lze snížit velikost střížné síly zhruba o 30 až 40 %. [1; 20; 21]

Velikost střížné síly se stanoví dle vztahu [1]:

$$F_s = n \cdot L \cdot s \cdot \tau_s = n \cdot L \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m, \quad (2.3)$$

kde: n – koeficient otupení břitu,

$$n = (1,0 \div 1,3),$$

L – délka křivky stříhu [mm],

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa].

Z matematického hlediska se obecně práce vyjadřuje jako obsah plochy pod křivkou síly v grafu závislosti $F_s = F_s(h)$. Konkrétně pro velikost střížné síly se střížná práce rovná vyznačené ploše na obr. 12. Pro výpočet střížné práce je potřeba znát bezrozměrný součinitel plnosti diagramu λ . Geometricky jde o podíl vybarvené ku vyšrafované ploše v grafu, viz obr. 12. K určení tohoto

součinitele se používají diagramy a tabulky dostupné v literatuře, které vycházejí ze střížného odporu a tloušťky materiálu. [1; 21]

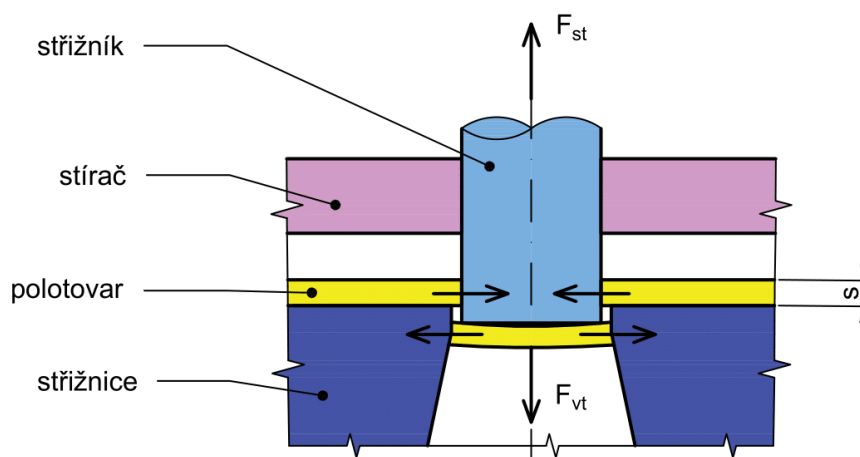
V praxi se pro stanovení střížné práce užívá následující vztah [1]:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_{smax} \cdot s}{10^3}, \quad (2.4)$$

kde: λ – součinitel plnosti [-],

F_{smax} – maximální hodnota střížné síly [N].

Střížná síla není jedinou silou působící ve střížném procesu. Vlivem elastických deformací nastávají po oddělení materiálu dva nežádoucí jevy. Vystřížený materiál může ulpívat na střížníku, a proto je potřeba ho setřít při zpětném pohybu nástroje. K tomu se využívá stírací síla. Další silou, kterou je potřeba při stříhání vynaložit, je síla vytlačovací. Ta slouží k překonání sil, které vznikají kvůli ulpívání materiálu na funkčních částech nástroje. Obě uvedené síly i s nežádoucím působením pružných deformací jsou znázorněny na obr. 13.



Obr. 13 Stírací a vytlačovací síla [24].

Velikost obou těchto sil je závislá na vlastnostech stříhaného materiálu, jeho tloušťce, střížné vůli, tvaru, rozměrech a složitosti křivky stříhu a také na použitém mazivu, a tedy tření mezi nástrojem a materiálem. Na základě velikosti pružných deformací plechu je možné přesně stanovit hodnoty obou sil. Tento výpočet je však poměrně komplikovaný a v praxi se využívá zjednodušujících vztahů. Ty chápou jak vytlačovací, tak i stírací sílu jako přímo úměrnou síle střížné. [21; 24]

Stírací síla se vypočte vztahem [21]:

$$F_{st} = k_{st} \cdot F_s, \quad (2.5)$$

kde: k_{st} – koeficient stírání (tab. 2) [-],

F_s – střížná síla [N].

Síla vytlačovací se obdobně určí dle vzorce [21]:

$$F_{vt} = k_{vt} \cdot F_s, \quad (2.6)$$

kde: k_{vt} – koeficient vytlačování (tab. 2) [-].

Tab. 2 Hodnoty koeficientu stírání a vytlačování [21].

Materiál		k_{st}	k_{vt}
Ocel	$s < 1 \text{ mm}$	$0,02 \div 0,12$	$0,05 \div 0,08$
	$s = 1 \div 5 \text{ mm}$	$0,06 \div 0,16$	
	$s > 5 \text{ mm}$	$0,08 \div 0,20$	
Mosaz		$0,06 \div 0,07$	$0,04$
Slitiny Al		$0,09$	$0,02 \div 0,04$

2.1.3 Technologičnost výstřížků

Technologií stříhání se na hotovém dílci získává mírně zkosená, nerovná střížná plocha s poměrně drsným povrchem. Kvalita a přesnost výstřížků je ovlivněna vlastnostmi a tloušťkou stříhaného materiálu. Velkou roli má také konstrukce nástroje – je potřeba zvolit optimální rovnoměrnou střížnou vůli, zajistit správné ustavení polotovaru v nástroji a dodržet požadovanou přesnost výroby nástroje. Závislost přesnosti výrobku na přesnosti nástroje je uvedena v tab. 3. S postupným opotřebením funkčních ploch se pak jakost střížné plochy zhoršuje. V neposlední řadě má na kvalitu výstřížku vliv celkové seřízení stroje a jeho takt. [20; 21; 23; 24]

Tab. 3 Vliv přesnosti nástroje na přesnost výrobku [20].

Výrobní tolerance IT vystřihovaného výrobku	8 ÷ 9	10	11	12	13	14	15
Výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 ÷ 6	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 9	10	11	12

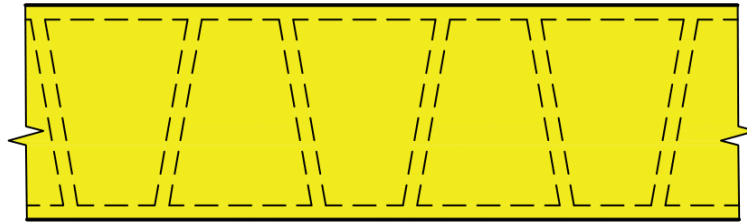
Při ekonomicky výhodné výrobě lze pro součásti o rozměrech do 200 mm z polotovaru o tloušťce do 4 mm dosáhnout přesnosti v rozmezí základní tolerance IT 12 až IT 14. Pokud se použijí nástroje se zvýšenou přesností, s vodícími stojánky a s přidržovacím zařízením je možné získat výstřížky se stupni přesnosti IT 9 až IT 11. Je-li potřeba zajistit ještě lepší jakost výrobku, lze použitím speciálních nástrojů dosáhnout přesnosti IT 6 až IT 8. [20; 23]

Vhodný návrh konstrukce výstřížku je nezbytnou podmínkou efektivní a hospodárné výroby. Před stanovením technologického postupu se musí provést rozbor tvaru a materiálu součásti s ohledem na její budoucí funkci. Hodnocení tohoto rozboru se musí vztahovat k dostupné technologii výroby, přičemž je potřeba brát v úvahu výhody i nedostatky této technologie, stejně jako možnost ekonomicky výhodné aplikace technologie pro požadovanou sériovost. Je potřeba brát zřetel na výsledné vlastnosti dílu získané střížným procesem, materiál a jeho mechanické vlastnosti, mechanické a fyzikální vlastnosti funkčních ploch nástrojů a výrobní možnosti strojů. [20; 24]

- Stříhání je technologie sloužící k produkci velkých sérií výrobků, tudíž náklady na materiál tvoří velkou část celkových nákladů, a to až $80 \div 90 \%$. Pro ekonomicky výhodnou výrobu se proto musí dosahovat co nejvyššího využití materiálu. To znamená nutnost optimalizace nástřihového plánu, aby došlo k maximální možné redukci odpadu. Ten se dělí na konstrukční a technologický. Snížení konstrukčního odpadu se provádí změnou tvaru součásti, což je však omezeno skutečností, že nesmí dojít k narušení její funkce. K technologickému odpadu patří materiál spotřebovaný na

můstek či u okrajů pásu. Tento odpad je možné snížit úpravou technologie, např. stříháním bez můstku nebo vhodnějším uspořádáním výstřížků. [21; 24]

Největší vliv na využití materiálu většinou mívá uspořádání výstřížků na pásu plechu, případně svitku. Součásti bývají řazeny za sebe, u menších dílů je možné umístění do více řad. Není neobvyklé, že se výstřížky uspořádávají tak, že se střídají díly umístěné normálně s jejich negativy (viz obr. 14). Tímto rozložením lze dosáhnout velmi vysokého využití materiálu pro součásti tvaru rovnoramenného trojúhelníku či rovnoběžníku. Naopak nejméně vhodným tvarem je zpravidla kruh, u kterého bývá množství odpadu asi 30 %. [21; 24]



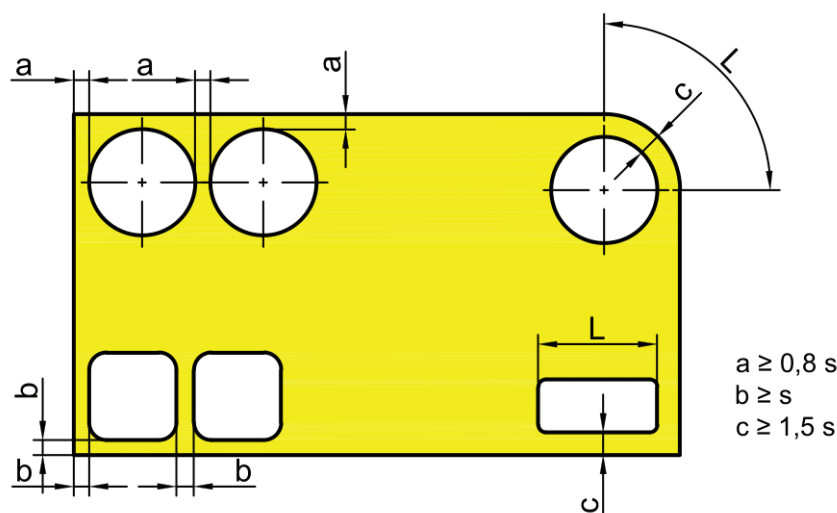
Obr. 14 Uspořádání rovnoběžníkových výstřížků.

Využití materiálu se vypočte následujícím vztahem [29]:

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_{pol}} \cdot 100, \quad (2.7)$$

kde: n_v – počet výstřížků z polotovaru [-],
 S_v – plocha jednoho výstřížku včetně otvorů [mm^2],
 S_{pol} – plocha polotovaru – tabule nebo svitku [mm^2].

- Rozměrové tolerance by měly být stanoveny dle tab. 3. Předepisovat geometrické tolerance rovinnosti a kolmosti není vhodné. Rovinnost ve většině případů nelze dodržet, a to kvůli působení ohybového momentu během výroby. Kolmost je technologií běžného stříhání obtížně dosažitelná, protože při střížném procesu vzniká charakteristická „S“ křivka. Drsnost střížné plochy se pohybuje v intervalu $R_a = 3,2 \div 6,3 \mu\text{m}$. Pokud je pro funkci součásti nezbytně nutné zajistit vyšší přesnost, bývá řešením aplikace přesného stříhání. [21; 24]



Obr. 15 Vzdálenosti stříhaných rozměrů [24].

- U otvorů, které mají být zhotoveny děrováním, je potřeba posoudit technologičnost z hlediska tvaru, velikosti a vzdálenosti od okrajů plechu i od sebe navzájem. Minimální hodnoty těchto vzdáleností jsou znázorněny na obr. 15. Nejmenší možné velikosti

otvorů jsou ovlivněny materiálem polotovaru, tvarem a použitím přídržovače. Tab. 4 vyjadřuje tuto minimální velikost v násobcích tloušťky stříhaného materiálu. [21; 24]

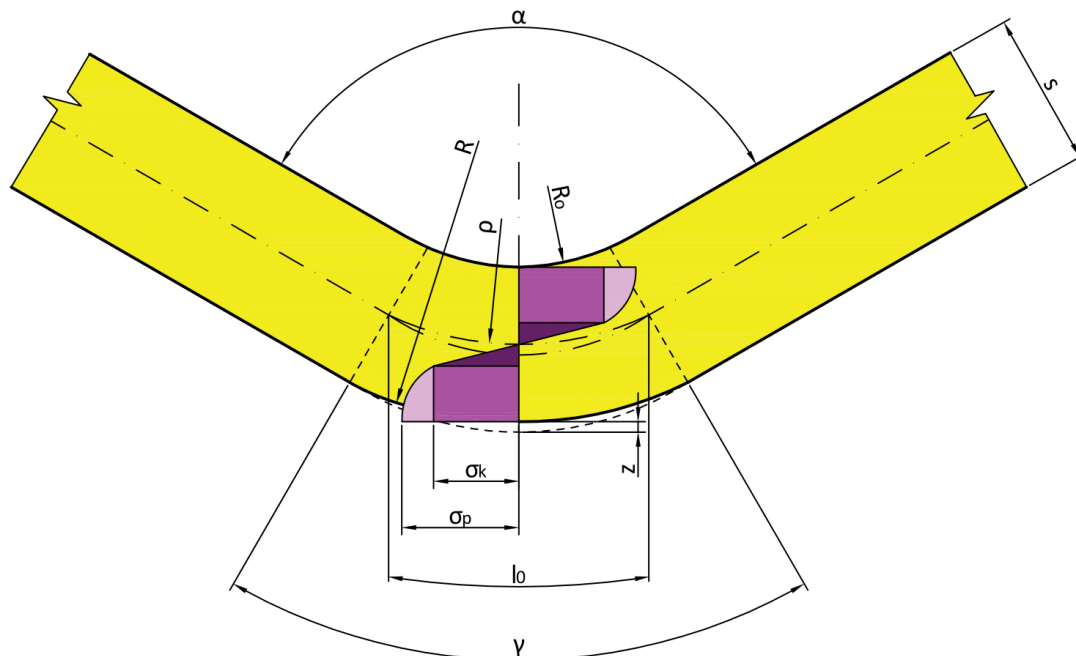
Tab. 4 Nejmenší velikost otvorů v milimetrech [26].

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem a s přídržovačem	
	Otvory		Otvory	
	Kruhové*	Obdélníkové*	Kruhové*	Obdélníkové*
Al, měkká ocel	0,80	0,60	0,30	0,25
Mosaz	1,00	0,80	0,35	0,30
Tvrdá ocel	1,50	1,20	0,50	0,40

* Rozměry jsou uvedeny v násobku tloušťky materiálu.

2.2 Technologie ohýbání

Ohýbáním se rozumí technologie plošného tváření, při které dochází vlivem působících sil nebo ohybových momentů k trvalé změně křivosti polotovaru. Tím mohou být plechy, tyče, trubky či dráty. Při ohýbání se postupně zmenšuje velikost poloměru, pokud se poloměr naopak zvětšuje, jedná se o rovnání. Deformaci součásti zajišťuje pružně-plastická deformace, jejíž velikost ovlivňuje řada faktorů, např. tloušťka materiálu, orientace vláken, geometrie ohybu či zatěžující síly. Ve většině případů se ohyb zhotovuje za studena, avšak je možné ohýbat i za tepla. Schéma ohybu s geometrií je uvedeno na obr. 16. [1; 21; 27]

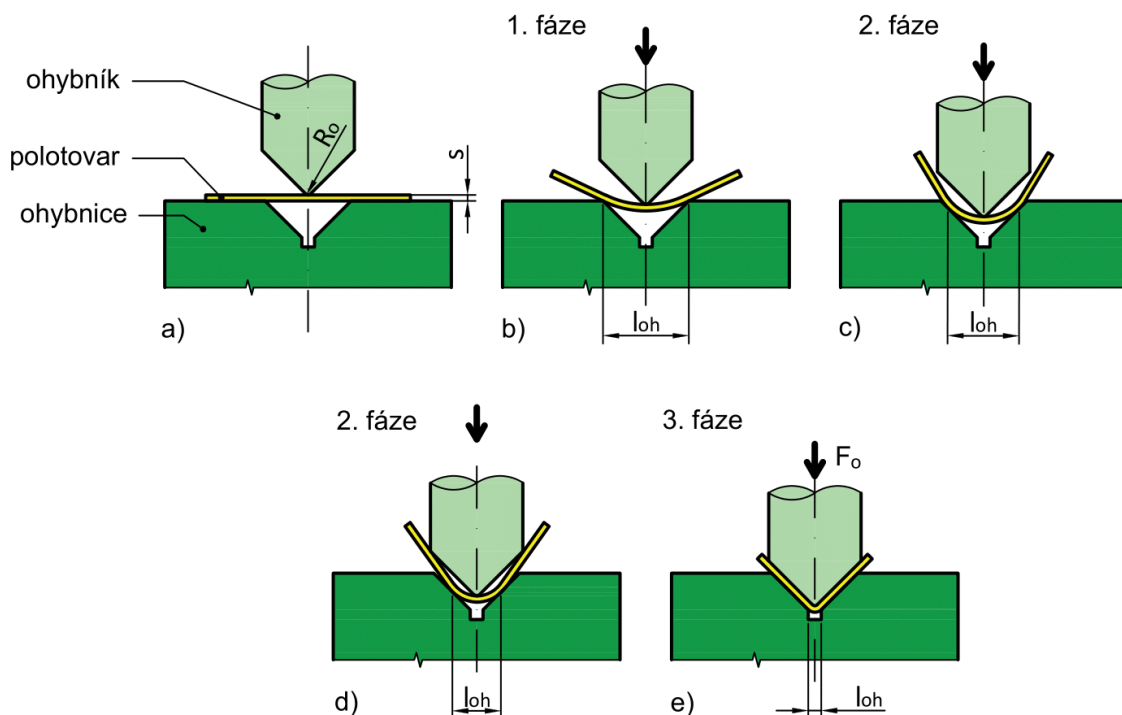


- | | |
|---|---|
| α ... úhel ohybu [°] | σ_k ... kritické napětí na mezi kluzu [MPa] |
| γ ... úhel ohnutého úseku [°] | σ_p ... celkové napětí v krajních vláknech [MPa] |
| ρ ... poloměr neutrální plochy [mm] | z ... ztenčení [mm] |
| R_o ... poloměr ohybu [mm] | ■ oblast pružné deformace |
| R ... vnější poloměr ohybu [mm] | ■ oblast ideálně plastické deformace |
| l_o ... délka ohnutého úseku v neutrální ploše [mm] | ■ oblast plastické deformace se zpevněním |

Obr. 16 Schéma ohýbání [21].

Při ohýbání součástí menších velikostí se používají ohýbací nástroje, které se skládají ze dvou základních funkčních částí – ohybníku a ohybnice. Existují dva základní typy ohybu, označované jako ohyb do U a do V.

Průběh vlastního procesu vzniku trvalého ohybu lze ilustrovat na jednoduchém V-ohybu plechu v nástroji. Před zahájením deformace je horní část nástroje – ohybník – s polotovarem ve styku pouze svou špičkou, viz obr. 17 a). V první fázi procesu ohybník zajíždí do spodní části nástroje – ohybnice – přičemž způsobuje v polotovaru elastickou deformaci, viz obr. 17 b). V této fázi se začíná měnit křivost materiálu, poloměr ohybu R_0 se zmenšuje. Překonáním meze kluzu se proces dostává do druhé fáze, v níž se deformace mění v plastickou, viz obr. 17 c). Zároveň pokračuje redukce velikosti poloměru R_0 a vzdálenost ramen l_{oh} . Poté, co ohybník urazí určitou dráhu, se dostává do kontaktu s polotovarem ve třech místech, viz obr. 17 d). V závěrečné fázi procesu dochází k dokončení a kalibraci ohybu. Ohybník dosedá na polotovar a styk mezi nástrojem a materiálem je plošný, viz obr. 17 e). V tento okamžik je dosažena požadovaná hodnota poloměru R_0 . [1; 21; 28]



Obr. 17 Průběh ohýbání v nástroji [21].

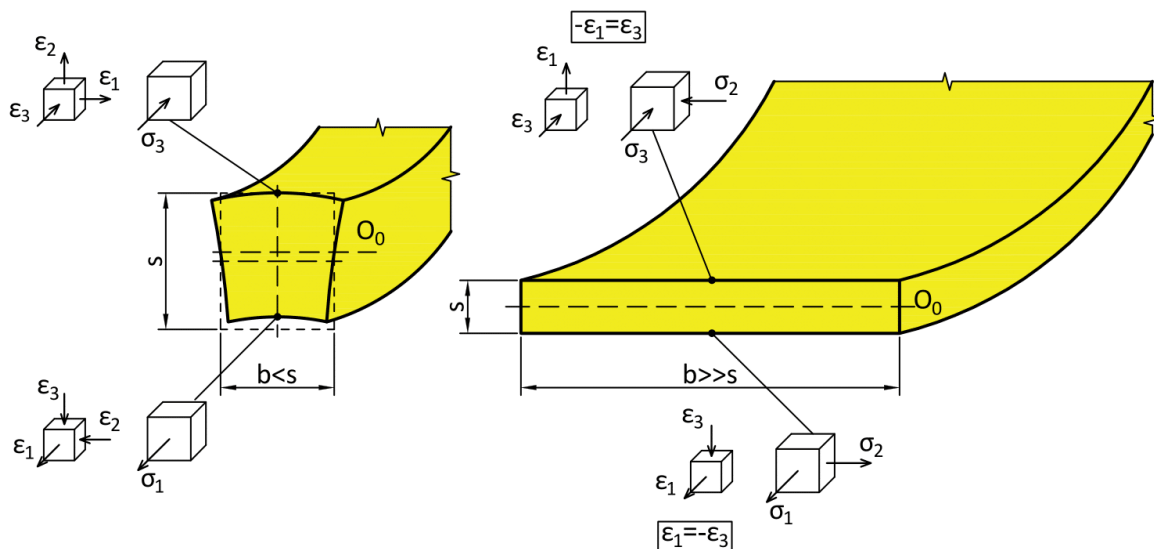
Stav napjatosti a deformace v ohýbaném materiálu se určuje pro dva rozdílné případy, lišící se průřezem polotovaru. V prvním případě jde o ohyb tyčového materiálu, u něhož platí, že jeho tloušťka s je větší než jeho šířka b . U této situace lze zanedbat složku napětí působící ve směru šířky polotovaru, tedy $\sigma_2 = 0$. Tím se rozbor napjatosti zjednodušuje na stav, kdy je na vnitřní straně ohybu jednoosé tlakové napětí, zatímco na vnější straně působí jednoosé tahové napětí. Deformaci je však nutno posuzovat ve všech třech osách, pro její znázornění se používají prostorová schémata. I zde se deformace liší na vnitřním a na vnějším poloměru tyče. Zatímco na vnitřním poloměru ohybu se jedná o prostorový vztah s převládajícími tlakovými složkami, tak na vnější straně ohybu jsou dominantní napětí tahová. Tento stav je uveden na obr. 18. Důsledkem této deformace je tok materiálu z oblasti tahové do oblasti tlakové. Tím dochází k přetvoření průřezu tyče, která se na vnitřní straně rozšiřuje a na vnější straně zužuje. [1; 21; 28]

Druhý případ pracuje s ohybem polotovaru, u něž je šířka b značně větší než jeho tloušťka s . Pro tuto skutečnost se deformace ve směru šířky pásu uvažuje jako nulová, tedy $\varepsilon_2 = 0$, a to

zejména pro středovou oblast pásu. Tím se deformace zjednodušuje na plošnou a obě zbývající složky tedy musí nabývat stejné velikosti, platí: $-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$. Rovněž napětí lze považovat za plošné (obr. 18). [1; 21; 28]

2.2.1 Stanovení délky polotovaru

Jak bylo uvedeno, na protilehlých stranách polotovaru působí opačně orientované napětí a dochází k rozdílné deformaci. Mezi těmito stranami se nachází plocha s nulovou deformací označována jako neutrální vrstva. V tomto místě nedochází ani k prodlužování, ani ke stlačování materiálu, na konci procesu tak má stejnou délku jako na jeho začátku. Na obr. 18 je neutrální vrstva označena O_0 . Analogicky lze uvažovat vrstvu neutrálního napětí, což je plocha s nulovým působícím napětím. Poloha obou vrstev se od sebe mírně odlišuje. V praxi však nemá vrstva neutrálního napětí významné využití, proto se bude ve zbytku práce pojem „neutrální vrstva“ či „neutrální osa“ vždy vztahovat k vrstvě s nulovou deformací materiálu. [1; 21; 22]



Obr. 18 Rozbor napjatosti a deformace při ohýbání [1].

Znalost polohy neutrální vrstvy je nezbytným předpokladem pro výpočet rozměrů výchozího polotovaru. U velkých poloměrů ohybu, pro které platí poměr $R_o/s > 12$, se předpokládá, že posun neutrální vrstvy je zanedbatelný. [1; 27]

Poloměr neutrální vrstvy se pro tento případ určí dle prostého vztahu [27]:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2}, \quad (2.8)$$

kde: R_o – vnitřní poloměr ohybu [mm].

V případě menších poloměrů dochází k významnějšímu posunu neutrální vrstvy směrem ke stlačovaným vláknům. Její nová poloha se tak vypočte přesnějším vztahem [21]:

$$\rho = R_o \cdot \frac{(R - R_o)}{2} \cdot z_z \cdot z_r, \quad (2.9)$$

kde: R – vnější poloměr ohybu [mm],

z_z – koeficient ztenčení,

$$z_z = s_1/s \quad [-], \quad (2.10)$$

z_r – koeficient rozšíření,

$$z_r = b_1/b_0 \quad [-], \quad (2.11)$$

s, b_0, s_1, b_1 – tloušťka a šířka materiálu před a po deformaci [mm].

V praxi se při ohybu širokých pásů používá pro stanovení polohy neutrální vrstvy vztah zahrnující součinitel posunutí neutrální vrstvy [27]:

$$\rho = R_o + x \cdot s, \quad (2.12)$$

kde: x – součinitel posunutí neutrální vrstvy (tab. 5) [-].

Tab. 5 Hodnoty součinitele posunutí neutrální vrstvy [28].

R_o/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
x	0,320	0,350	0,380	0,420	0,445	0,470	0,475	0,478	0,480	0,483	0,486

Součást vyráběná technologií ohýbání se skládá nejen z oblouků, ale i z rovinných úseků. Stanovení celkové délky polotovaru l_c spočívá v rozdělení výrobku na jednotlivé úseky, u kterých se stanoví jejich výchozí délky (obr. 19). Výchozím rozměrem u dílčích rovinných částí je jejich délka, u oblouků se využívá výpočet zahrnující délku neutrální vrstvy. [27]

Délka oblouku se určí podle vztahu [27]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot s), \quad (2.13)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku,

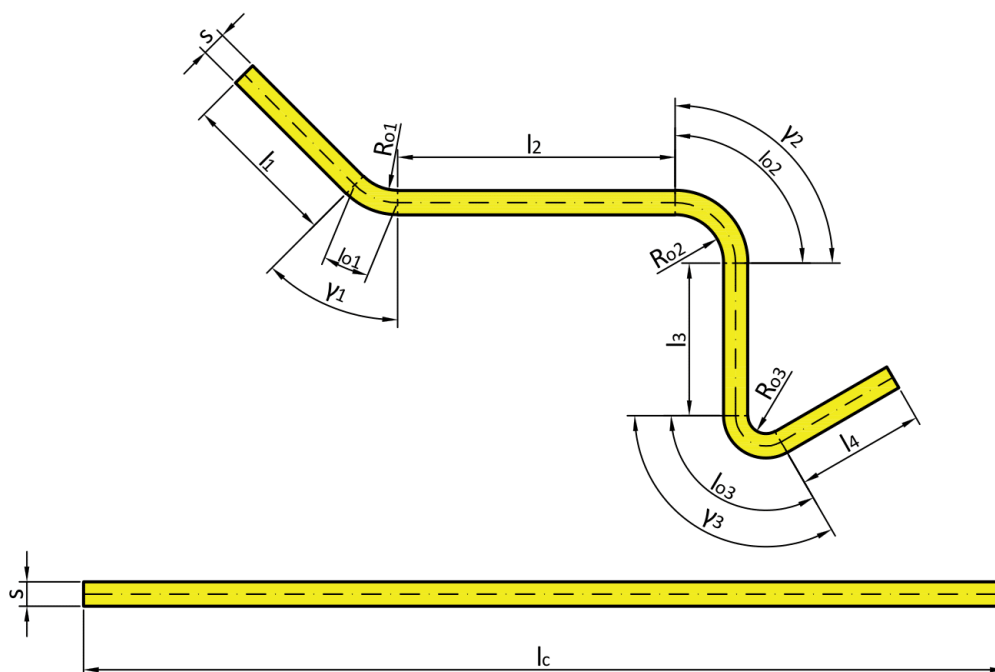
$$\gamma = 180 - \alpha \text{ [}^\circ\text{]}. \quad (2.14)$$

Celková délka polotovaru se následně získá sečtením jednotlivých částí, což lze zapsat vztahem [27]:

$$l_c = \sum l_i + \sum l_{oj}, \quad (2.15)$$

kde: l – délka rovinných úseků [mm],

l_o – délka ohnutých úseků [mm].



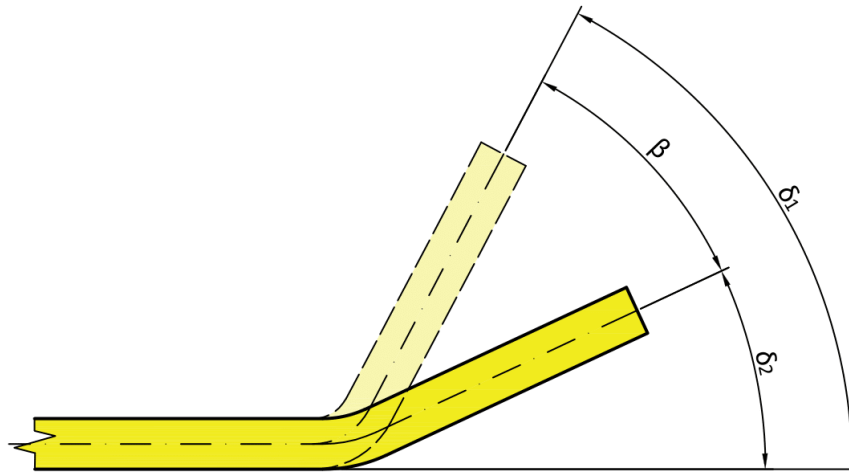
Obr. 19 Výpočet rozvinutého tvaru.

2.2.2 Parametry ohýbání

Při plánování výroby součásti technologií ohýbání je potřeba správně určit nejvýznamnější parametry procesu, aby nedocházelo k produkci špatných kusů. Mezi tyto parametry lze zařadit odpružení, ohýbací vůli a minimální a maximální poloměr ohybu:

- Odpružení je nežádoucí průvodní jev procesu ohýbání. Vlivem elastické deformace z počáteční fáze deformace se po ukončení ohýbání a vyjmutí výrobku z nástroje mění výsledná geometrie dílu. Zpětné odpružení způsobuje, že se díl snaží částečně vrátit na svůj původní tvar. Schéma této skutečnosti je znázorněno na obr. 20. Polotovaz, ohnutý na úhel δ_1 , se kvůli relaxaci napětí vrací na úhel δ_2 . Rozdíl mezi těmito dvěma úhly se nazývá úhel odpružení a označuje se β . Na velikost tohoto úhlu má vliv celá řada faktorů, mezi nejdůležitější patří mechanické vlastnosti a tloušťka materiálu, geometrie ohybu či konstrukce nástroje. [1; 21; 28]

Velikost úhlu odpružení lze stanovit z tabulek, empiricky získaných diagramů nebo pomocí výpočtových vztahů. Geometrie potřebná pro výpočet těchto vztahů je uvedena na obr. 21 a) pro V-ohyb se jedná o obr. 21 a) a na pro U-ohyb obr. 21 b). [1; 21; 27]



Obr. 20 Úhel odpružení [1].

Pro určení velikosti odpružení pro ohyb do tvaru V se použije vztah [29]:

$$\beta_V = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{l_v}{k_\beta \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.16)$$

kde: l_v – vzdálenost opěr [mm],
 k_β – koeficient polohy neutrální vrstvy (tab. 6) [-],
 R_e – mez kluzu materiálu [MPa],
 E – modul pružnosti v tahu [MPa].

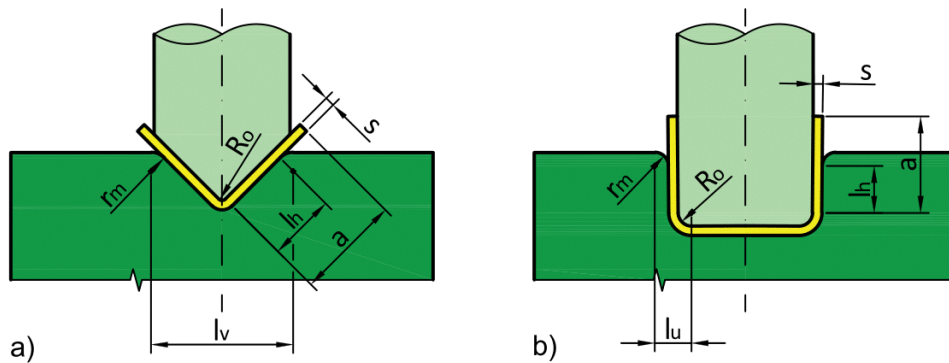
U ohybu do tvaru U se velikost odpružení vypočte dle vzorce [29]:

$$\beta_U = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k_\beta \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.17)$$

kde: l_u – vzdálenost opěr [mm].

Tab. 6 Hodnoty koeficientu polohy neutrální vrstvy [29].

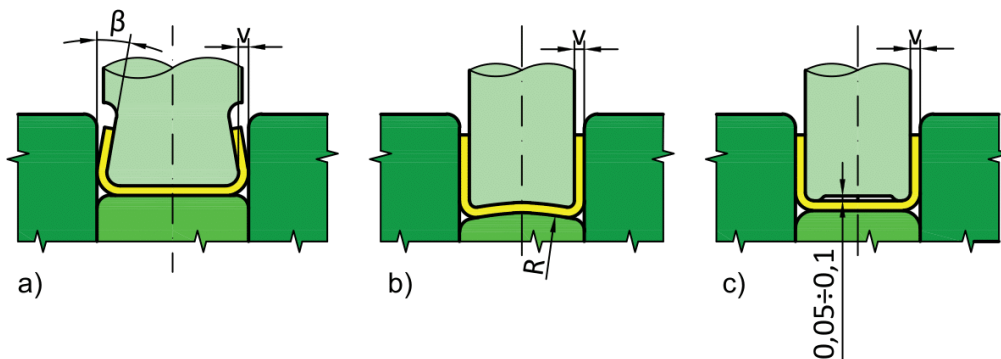
R_o/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
k_β	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51



Obr. 21 Geometrie pro výpočet odpružení [29].

Snaha zamezit či alespoň minimalizovat odpružení vedla k vytvoření několika možností, pomocí kterých je možné dosáhnout přesnější výroby. Jedná se o způsoby: [1; 29]

- ohnutí součásti na požadovaný úhel zvětšený o úhel odpružení,
- kalibrace pomocí navýšení měrného tlaku na konci ohýbacího procesu, čímž dojde ke zpevnění materiálu,
- konstrukční úpravy nástroje. První variantou je podbroušení ohybníku o úhel β (obr. 22 a). Další možnost spočívá v zaoblení ohybníku a vyhazovače (obr. 22 b). V další variantě je ohybník opraven tak, aby došlo ke zpevnění materiálu v rozích (obr. 22 c).



Obr. 22 Možnosti eliminace odpružení [29].

- Ohýbací vůli se rozumí jednostranná mezera mezi funkčními částmi ohybníku a ohybnice. Má nezanedbatelný vliv na celý proces, zejména na velikost ohýbací síly a na úhel odpružení. Pro ohyb ve tvaru V se zpravidla uvažuje vůle shodná s tloušťkou polotovaru. U ohybu do tvaru U je potřeba uvažovat vůli o něco větší, pro ocel se její velikost stanoví jako hodnota tloušťky plechu zvětšená o 5 až 15 %, pro barevné kovy pak dochází ke zvětšení do 10 %. [1; 29]
- Jako mezní poloměry ohybu se označují dvě hodnoty poloměrů, které ohraničují interval zhotovitelných ohybů. Minimální poloměr ohybu označuje nejmenší možný poloměr, který je možné vytvořit, aniž by došlo k porušení materiálu na vnější tahové straně. V tomto případě se zde napětí limitně blíží mezi pevnosti, pokud je tato mez překročena, nastává lom. [1; 21]

Velikost minimálního poloměru ohybu lze stanovit vztahem [1]:

$$R_{omin} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c_r \cdot s, \quad (2.18)$$

kde: ε_{max} – maximální poměrná deformace [-],

c_r – koeficient zahrnující vliv materiálu (tab. 7) [-].

Koeficient c_r se používá pro zjednodušení výpočtu, přičemž jeho hodnota je závislá na vlastnostech a stavu materiálu. Jeho velikost pro některé významné materiály je uvedena v tab. 7. [1]

Tab. 7 Hodnoty koeficientu c_r [1].

Materiál	Měkká ocel	Měkká mosaz	Hliník	Dural	Měkká měď
c_r [-]	0,5 ÷ 0,6	0,3 ÷ 0,4	0,35	3 ÷ 6	0,25

Maximální poloměr ohybu se definuje jako poloměr ohybu, při kterém na vnější tahové straně vznikají první plastické deformace. Dosažení tohoto poloměru je nezbytné pro vznik trvalého ohybu, protože pokud by byl polotovar ohnut na nedostatečnou hodnotu, bude deformace pouze elastická. Po odlehčení by se tak materiál vlivem zpětného odpružení vrátil do výchozího tvaru. [1; 21]

Velikost maximálního poloměru ohybu jde určit vztahem [1]:

$$R_{omax} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right). \quad (2.19)$$

2.2.3 Ohýbací síla a práce

Aby mohl být ohyb zhotoven, je potřeba působit na materiál ohýbací silou. Její velikost ovlivňují zejména mechanické vlastnosti materiálu, geometrie ohybu a rozměry polotovaru. Vztahy pro výpočet síly se opět rozlišují pro dva základní tvary ohybu. [1; 27; 30]

Pro ohýbací sílu v případě V-ohybu platí [1]:

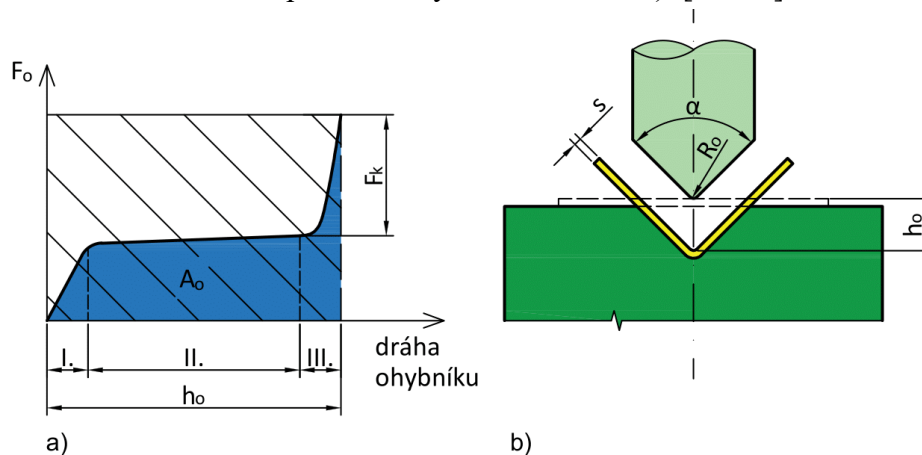
$$F_{o,U} = \frac{b_0 \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.20)$$

kde: α – úhel ohybu [°].

Ohýbací síla u U-ohybu se vypočte [30]:

$$F_{o,U} = \frac{0,4 \cdot b_0 \cdot s^2 \cdot R_m}{l_u}, \quad (2.21)$$

Ohýbací síla tvoří jen jednu ze složek celkové síly potřebné ke zhotovení ohybu. Mezi další síly náleží síla kalibrační. Ta má výrazný vliv na průběh síly v závěrečné fázi procesu – způsobuje prudký nárůst působící síly. Tato skutečnost je zapříčiněna nutností vyvolání vysokého kalibračního tlaku. Průběh takto působící síly viz na obr. 23 a). [27; 30]



Obr. 23 Průběh ohýbací síly [21].

Pokud se v ohýbacím procesu užívá i přidržovač, musí celková síla zahrnovat i složku nutnou k překonání jeho síly. Přidržovač slouží k zabránění nežádoucího prohýbání materiálu. [31]

Celková ohýbací síla se v tomto případě stanoví dle [31]:

$$F_{oC} = F_o + F_k + F_p, \quad (2.22)$$

kde: F_o – ohýbací síla [N],

F_k – kalibrační síla,

$$F_k = (1,5 \div 2) \cdot F_o \text{ [N]}, \quad (2.23)$$

F_p – síla přidržovače,

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o \text{ [N]}. \quad (2.24)$$

Obdobně jako v případě stanovení sřížné práce i u ohýbací práce se její hodnota rovná obsahu plochy pod křivkou síly v grafu závislosti $F_o = F_o(h)$ [27]:

$$A_o = F_{oC} \cdot h_o \cdot \kappa \cdot 10^{-3}, \quad (2.25)$$

kde: F_{oC} – celková ohýbací síla [N],

h_o – zdvih nástroje [mm], viz obr. 22 b),

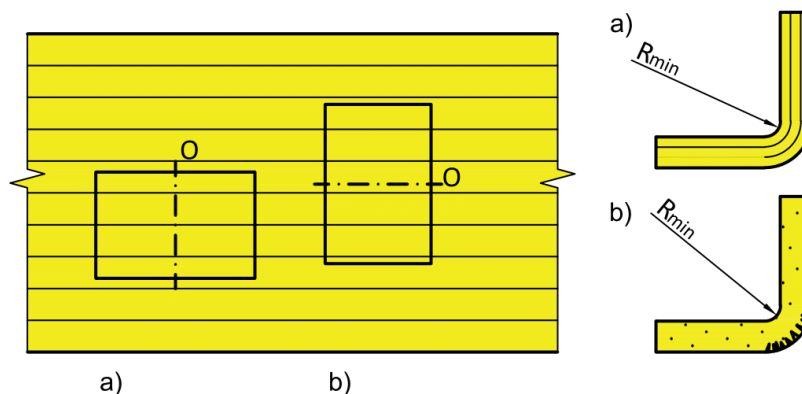
κ – součinitel zaplnění diagramu,

$$\kappa = (0,5 \div 0,65) [-].$$

2.2.4 Technologičnost ohýbaných součástí

Konstrukce součásti se zásadním způsobem podílí na efektivitě výroby. Stejně jako u technologie stříhání, je i u ohýbání nezbytné před naplánováním výroby pečlivě zhodnotit technologičnost daného dílu. Optimálně navržená ohýbaná součást musí splňovat zásady určené použitou technologií, funkcí výrobku a také vlastnostmi materiálu. Podmínky, které je nutno zhodnotit jsou následující: [25; 26; 29; 31; 32]

- Obecně lze říct, že poloměr ohybu by měl být volen co možná nejmenší, aby se zmírnilo odpružení. Současně je potřeba zkontrolovat, zda navržený poloměr odpovídá mezním poloměrům ohybu.
- Plechové polotovary velmi často vykazují značnou anizotropii vlastností způsobenou usměrněným průběhem vláken. Osa ohybu by se měla k těmto vláknům orientovat kolmo (obr. 24 a). V případě, že není možné toto pravidlo dodržet, hrozí u menších poloměrů vznik trhlin na vnější straně ohybu (obr. 24 b). Zároveň platí, že by zmíněná osa ohybu měla být kolmá i k okraji polotovaru. Tyto podmínky však často nelze splnit u složitějších součástí s více ohyby v různých směrech. V tom případě se nabízí kompromisní řešení spočívající v natočení os ohybů od vláken v určitém úhlu.

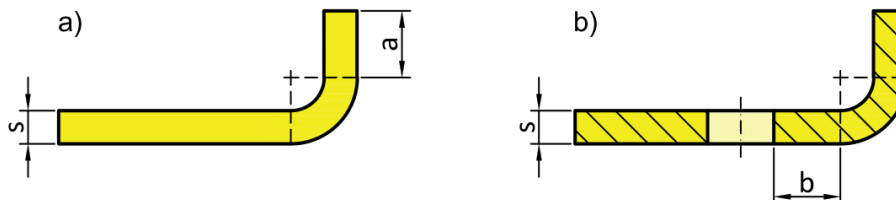


Obr. 24 Vliv orientace osy ke směru vláken [26].

- Konvenční technologií ohýbání lze dosáhnout určitých tolerancí, na které je třeba brát zřetel při konstrukčním návrhu součásti. U většiny rozměrů platí, že by se tolerance neměly předepisovat tam, kde nejsou kvůli funkci dílu nutné.

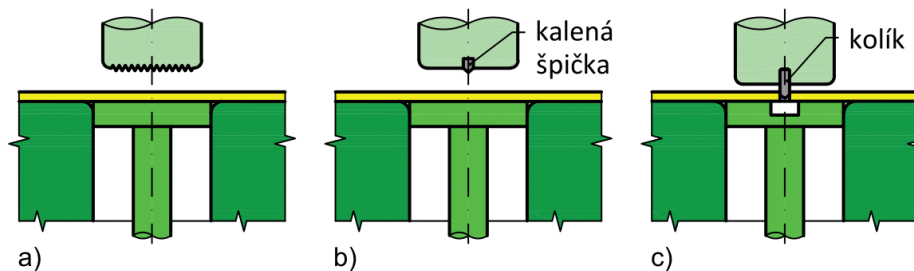
- Zhotovení ohybu je podmíněno určitou minimální délkou ramena **a**. (obr. 25 a). Pro ni platí, že musí být větší nebo rovna dvojnásobku tloušťky plechu. V případě, že tato podmínka není splněna, je možné rameno vyrobít delší a v některém z dalších kroků ho odstříhnout na požadovanou délku.

Pokud se provádí ohyb u děrovaných polotovaru, je potřeba tyto otvory situovat do dostatečné vzdálenosti od osy ohybu **b** (obr. 25 b). Tato vzdálenost odpovídá minimální délce ramena, tedy dvojnásobné hodnotě oproti tloušťce polotovaru. Při nedodržení této podmínky dojde při ohybu k deformaci otvoru.



Obr. 25 Technologičnost ramen a otvorů [29].

Během ohýbání nesymetrických tvarů může nastat posunutí materiálu směrem k delšímu či širšímu rameni. Tomu je možné předejít zesílením tlaku přidržovače, zdrsňením některé z částí nástroje (obr. 26 a), zalisováním kalených špiček do ohybníku (obr. 26 b), které se vtlačí do materiálu, nebo pomocí kolíků, které se zasunou do předem zhotovených technologických otvorů (obr. 26 c).



Obr. 26 Možnosti zamezení posuvu polotovaru [29].

2.3 Střížné a ohýbací nástroje

Návrh a konstrukce každého tvářecího nástroje má svá specifika, která je potřeba při vypracovávání postupu výroby znát. V této kapitole budou shrnuty poznatky nutné ke správné konstrukci střížných a ohýbacích nástrojů. [32; 33]

Na tyto nástroje jsou kladeny požadavky na dostatečnou tvrdost, odolnost proti otěru a houževnatost proti vylomení ostří. Proto se činné části nástrojů pro plošné tváření nejčastěji vyrábějí z nástrojových ocelí třídy 19, které jsou tepelně zpracovány kalením a popouštěním. V některých případech je možné nejvíce namáhané části nástroje nahradit vložkami z kvalitnějších materiálů (z nástrojových ocelí či slinutých karbidů) a zbylé části vyrobit z konstrukční oceli, čímž je možné dosáhnout finančních úspor. [29]

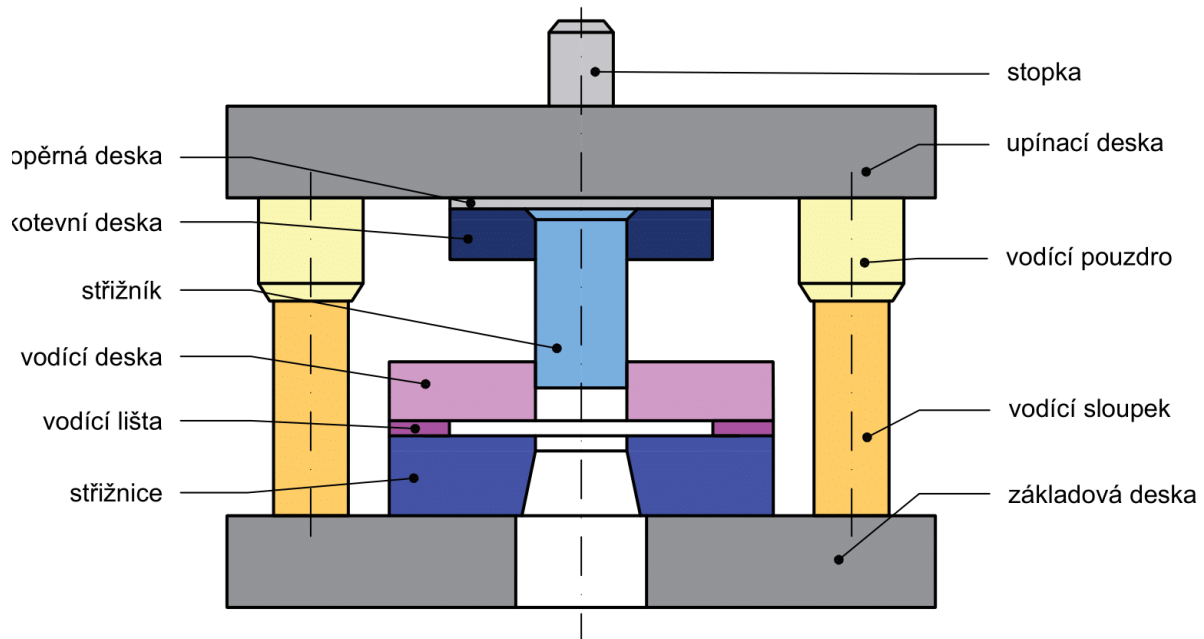
2.3.1 Střížné nástroje

Pro stříhání materiálů se používají nástroje označované jako střížné. Ty mohou mít řadu konstrukčních řešení podle potřeb dané součásti a postupu výroby. Na základě této jejich konstrukce je lze rozdělit do tří základních skupin: [33]

- jednoduché, které jsou s to zhotovit výrobek v jedné operaci,
- postupové, u nichž dochází k vystřížení součásti v několika po sobě následujících krocích,

- sdružené, kombinující v následných krocích technologii stříhání s dalšími tvářecími technologiemi, např. ohýbáním, lemováním.

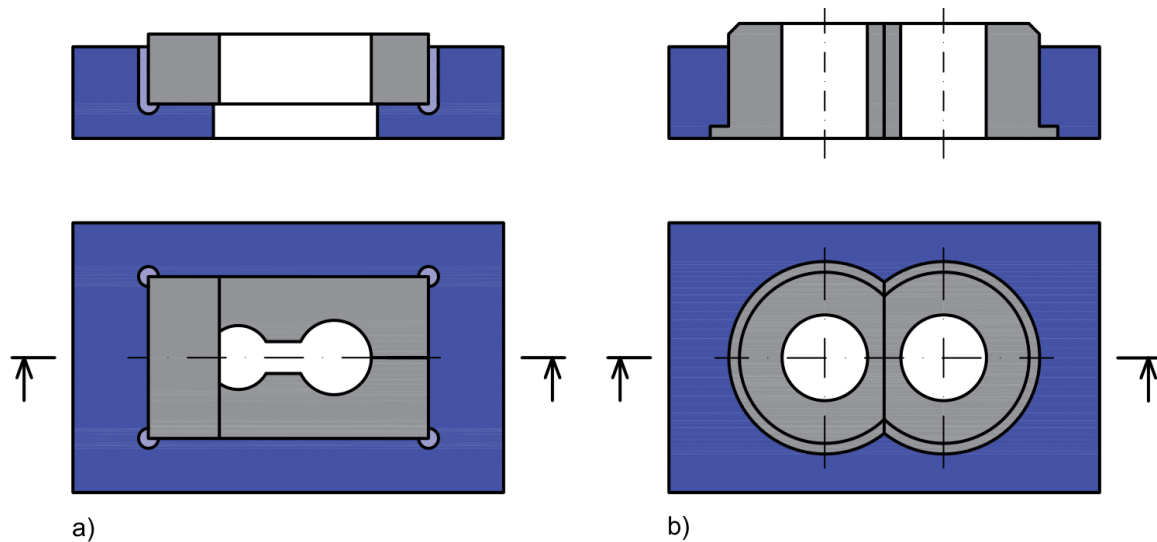
Všechny zmíněné nástroje je možné navrhnout ve vedené a nevedené variantě. Nevedené nástroje jsou konstrukčně jednodušší a levnější, avšak nelze u nich zajistit tak vysokou přesnost jako v případě nástrojů vedených. Jejich použití se proto týká těch výstřižků, u kterých se nepožaduje vysoká přesnost a kvalita střížné plochy. Pro ostatní dílce zhotovované technologií stříhání se používají nástroje navržené s vedením horní části proti spodní. Toto vedení může být zajištěno vodícími deskami, vodícími sloupky či kombinací obou uvedených způsobů. Díky vedení se během střížného procesu udržuje rovnoměrný stříh, střížná vůle a z toho plynoucí skutečnosti. Schéma jednoduchého nástroje s vedením je znázorněno na obr. 27. [29]



Obr. 27 Schéma střížného nástroje [29].

K ustřížení materiálu během střížného procesu dochází působením dvou funkčních částí nástroje. Tyto části se nazývají střížník a střížnice. Střížnice jsou připevněny k základové desce. Vzhledem k požadavkům na přesné zpracování bývá střížnice nejnákladnějším prvkem celého nástroje. Podle vystříhovaného dílu lze střížnice zhotovit ve třech různých provedeních, které jsou uvedeny na obr. 28: [29; 32; 33]

- celistvé střížnice se užívají pro jednoduché tvary menších rozměrů,
- skládané střížnice (obr. 28 a), které jsou složeny z několika dílů, čímž se zjednodušuje jejich výroba a zajišťuje se vyšší přesnost; své uplatnění nalézají při stříhání složitějších tvarů,
- vložkované střížnice (obr. 28 b), jejichž předností je zalisování vyměnitelných vložek z nástrojové oceli do desky střížnice, díky čemuž se snižují náklady na zhotovení nástroje a zvyšuje se jeho životnost.



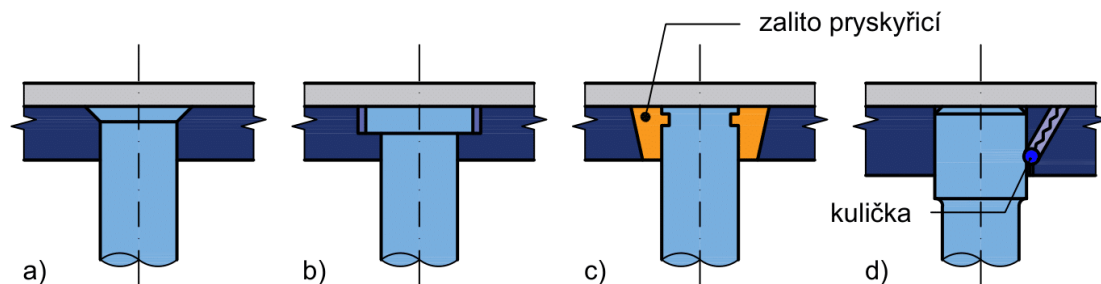
Obr. 28 Možné provedení střížnic [29].

Při konstrukci střížnic je potřeba brát v úvahu působící tlaky. Aby jim střížnice odolala, je nutno správně nadimenzovat jejich tloušťku. U jednodušších pravoúhlých a kruhových tvarů existují přesné vztahy, pro obecné tvary se dá minimální výška vypočítat dle vztahu [29]:

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s}. \quad (2.26)$$

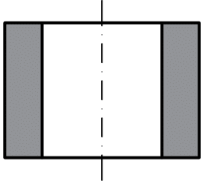
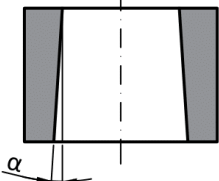
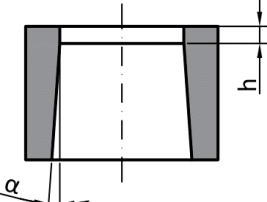
Geometrie otvorů ve střížnici odpovídá vystřihovaným či děrovaným tvarům, přičemž tyto otvory lze zhotovit jako válcové nebo kuželové (konické), u kterých také může být vytvořena fazetka. Válcové otvory se používají pro nástroje s vyhazovačem nebo pro technologii přesného stříhání s užitím nátlčné hrany. Jednoduchý kuželový otvor se užívá pro výstřižky větších tloušťek se střední přesností. Kuželový otvor s fazetkou se uplatní pro tvarově složité součásti ve velkých sériích. Zmíněné tvary otvorů s parametry jejich geometrie jsou uvedeny v tabulce 8. [29; 32; 33]

Funkčním protikusem střížnic jsou střížníky. Ty se k desce nástroje upevňují kotevní deskou pomocí šroubů. Způsobů, jak upnout střížník do kotevní desky, existuje více. Nejjednodušší metodou je využití válcového (obr. 29 a) nebo kuželového osazení (obr. 29 b). Další možnost spočívá v zalití pryskyřicí (obr. 29 c). Také je možné využít upínek, klínů či šroubů. Pokud se předpokládá nutnost časté výměny střížníků, nabízí se řešení upnutí pomocí kuličky (obr. 29 d). [29; 32; 33]



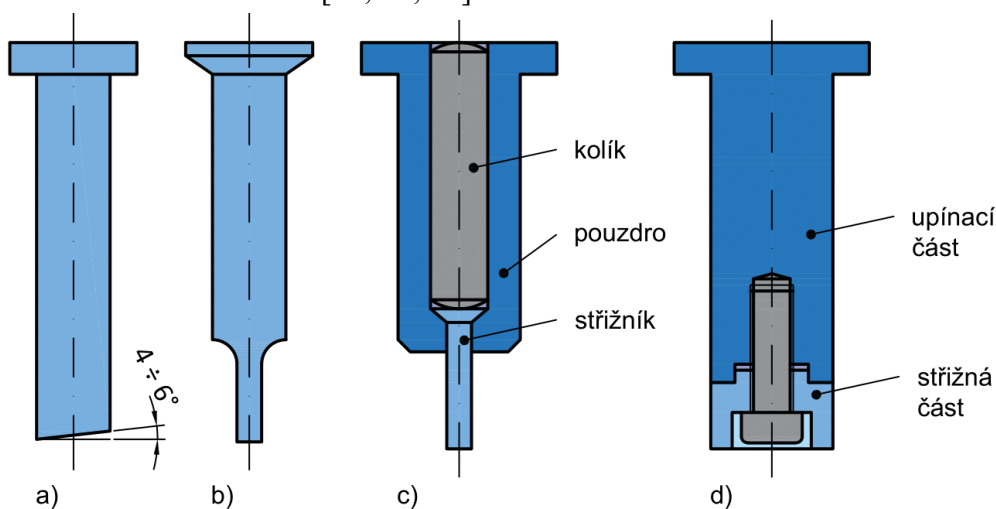
Obr. 29 Způsoby upnutí střížníků [29].

Tab. 8 Tvary a geometrie otvorů ve střížnici [29].

Válcový otvor		
Kuželový otvor		$s = (0,1 \div 0,5) \text{ mm} \rightarrow \alpha = (10' \div 15')$ $s = (0,5 \div 1,0) \text{ mm} \rightarrow \alpha = (15' \div 20')$ $s = (1 \div 2) \text{ mm} \rightarrow \alpha = (20' \div 30')$ $s = (2 \div 4) \text{ mm} \rightarrow \alpha = (30' \div 45')$ $s = (4 \div 6) \text{ mm} \rightarrow \alpha = (45' \div 1^\circ)$
Kuželový otvor s fazetkou		$\alpha = (3^\circ \div 5^\circ)$ $s = 0,5 \text{ mm} \rightarrow h = (3 \div 5) \text{ mm}$ $s = (0,5 \div 5) \text{ mm} \rightarrow h = (5 \div 10) \text{ mm}$ $s = (5 \div 10) \text{ mm} \rightarrow h = (10 \div 15) \text{ mm}$

Střížníky mohou být navrženy jako vedené a nevedené. Vedení pomocí vodící desky či pouzdra zmenšuje volnou délku střížníku. Díky této skutečnosti se omezuje namáhání střížníku způsobené vychýlením z osy, které může vyústit až ve zlomení střížníku. [29; 33]

Další možné rozdělení střížníků vychází z jejich konstrukce, přičemž se jedná o rozdělení na střížníky jednoduché, zesílené a skládané. Jednoduché střížníky se vyrábějí z jednoho kusu materiálu a jsou konstantní v celém svém průřezu (obr. 30 a). Pro menší průměry otvorů se užívají zesílené střížníky (obr. 30 b), u kterých by jinak hrozily problémy se vzpěrnou stabilitou. Skládané střížníky vznikají složením více částí. Této konstrukce se využívá při potřebě zhotovení velmi malých otvorů, ale také naopak u otvorů velkých. U malých průřezů skládané střížníky (obr. 30 c) poskytují řešení problémů se vzpěrnou stabilitou. V případě stříhání velkých průměrů se použití skládaných střížníků (obr. 30 d) projevuje snížením nákladů na materiál nástroje. Střížná část se vyrábí z materiálů vyšší kvality, zatímco na upínací část stačí použít běžnou konstrukční ocel. [29; 32; 33]



Obr. 30 Typy střížníků [29].

Výše již byly zmíněny problémy se vzpěrnou stabilitou střížníků. Při návrhu nástroje je nutné určit kritickou délku střížníku, při které dochází k narušení vzpěrné stability. Skutečná délka střížníku musí být menší než kritická délka, která se pro nevedený střížník stanoví pomocí vztahu [29]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_s}}, \quad (2.27)$$

kde: I – moment setrvačnosti průřezu [mm^4],
 n_b – koeficient bezpečnosti,
 $n_b = (1,5 \div 2)$ [-].

Pro vodící deskou vedený střížník se kritická délka určí [29]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_s}}. \quad (2.28)$$

Další kontrolou, která musí být při návrhu střížného nástroje provedena, je kontrola na otlacení. Tato kontrola spočívá v určení napětí působícího na plochu střížníku v místě jeho upnutí. Pokud působící napětí přesáhne napětí mezní (u ocelí 180 MPa, u litin 90 MPa), musí být střížník podepřen kalenou deskou, která brání zatlačení střížníku do upínací desky. Působící napětí se vypočte dle vzorce [29]:

$$\sigma_{ot} = \frac{F_s}{S_{st}}, \quad (2.29)$$

kde: S_{st} – průřez střížníku v místě upnutí [mm^2].

Během střížného procesu dochází postupně k opotřebením funkčních částí nástroje, především abrazí a adhezí. Na něj mají vliv například mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, jeho tloušťka či seřízení a konstrukce nástroje. Trvanlivost nástroje lze rozlišit na celkovou, nazývanou také životnost, a dílčí mezi dvěma přebroušeními. Nástroj je možné naostřit až 25x a tím obnovit jeho střížné vlastnosti. Rychlost opotřebením není konstantní. Nejprve roste velmi rychle, kdy se tupí naostřené břity. Následně roste pozvolně, protože se zvětšila plocha břitu a tím se snížil tlak působící na jednotku plochy. V závěrečné fázi opotřebením opět narůstá velmi rychle, a to vlivem změny deformace na střížné hraně. To způsobuje snížení kvality střížné plochy a zvýšení střížné síly. [24; 29]

Při návrhu funkčních rozměrů střížníku i střížnice je nutné s opotřebením nástroje počítat. Podle toho, zda se navrhuje nástroj pro vystříhování nebo děrování, používají se pro stanovení požadovaných rozměrů odlišné vztahy. Geometrie potřebná pro vystříhování je uvedena na obr. 31 a) a pro děrování na obr. 31 b). [29; 34]

Rozměr střížníku při děrování [29]:

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k}, \quad (2.30)$$

kde: A_j – jmenovitý rozměr otvoru [mm],
 Δ – tolerance otvoru [mm]
 δ_k – výrobní tolerance střížníku [mm].

Rozměr střížnice při děrování [29]:

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e}, \quad (2.31)$$

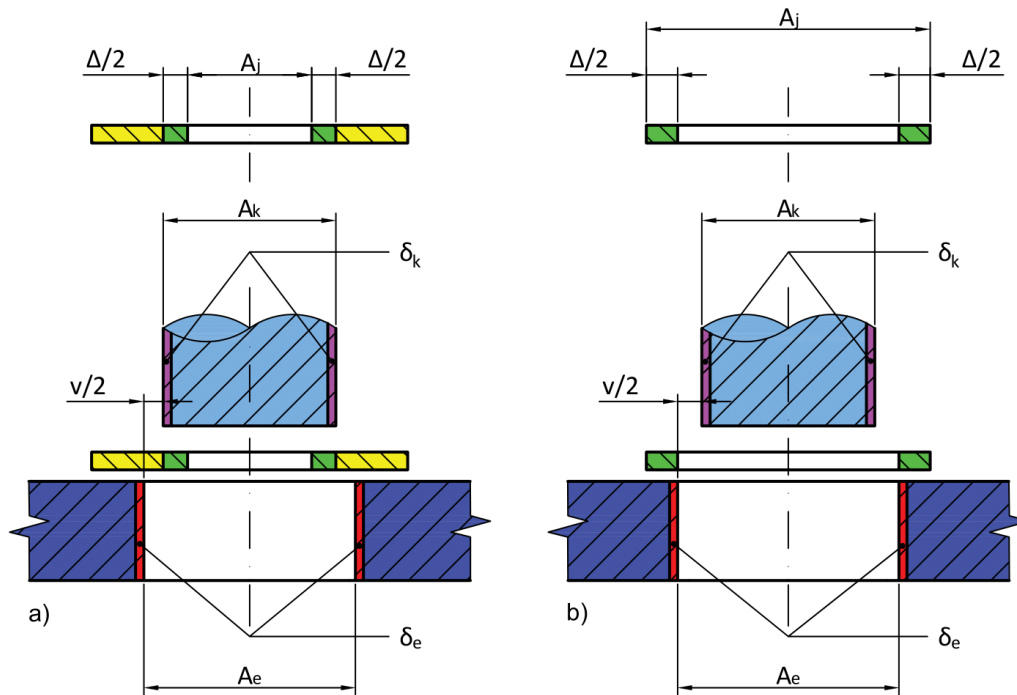
kde: δ_e – výrobní tolerance střížnice [mm].

Rozměr střížníku při vystřihování [29]:

$$A_k = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k} \quad (2.32)$$

Rozměr střížnice při vystřihování [29]:

$$A_e = (A_j - \Delta)^{+\delta_e} \quad (2.33)$$

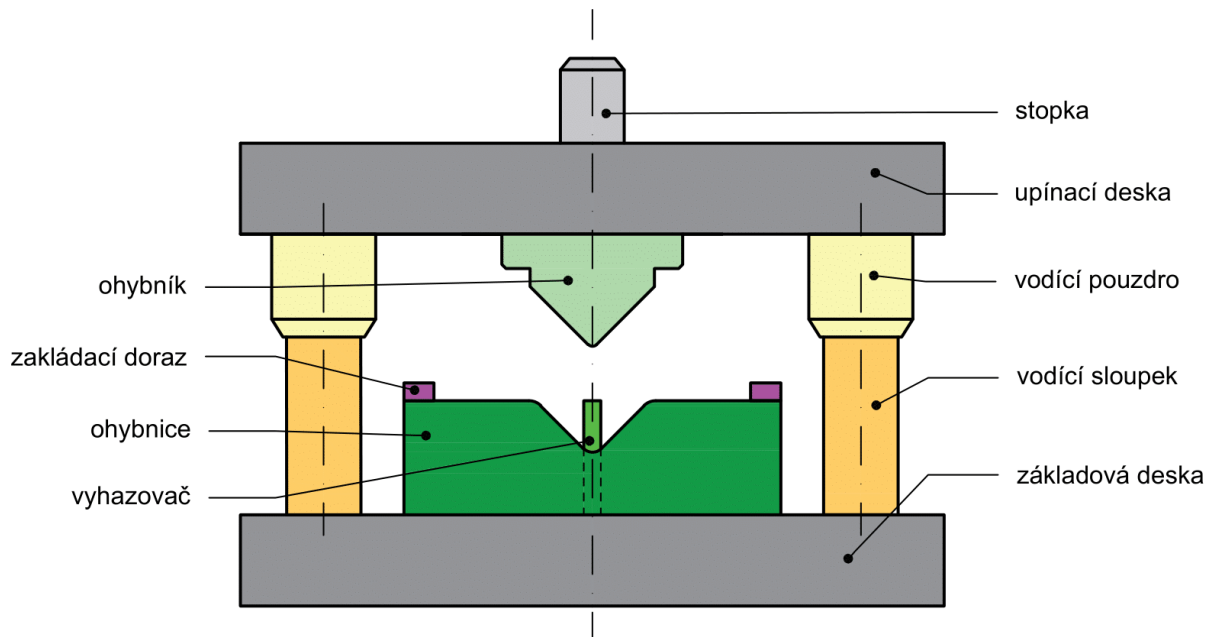


Obr. 31 Tolerance a funkční rozměry střížných nástrojů [34].

2.3.2 Ohýbací nástroje

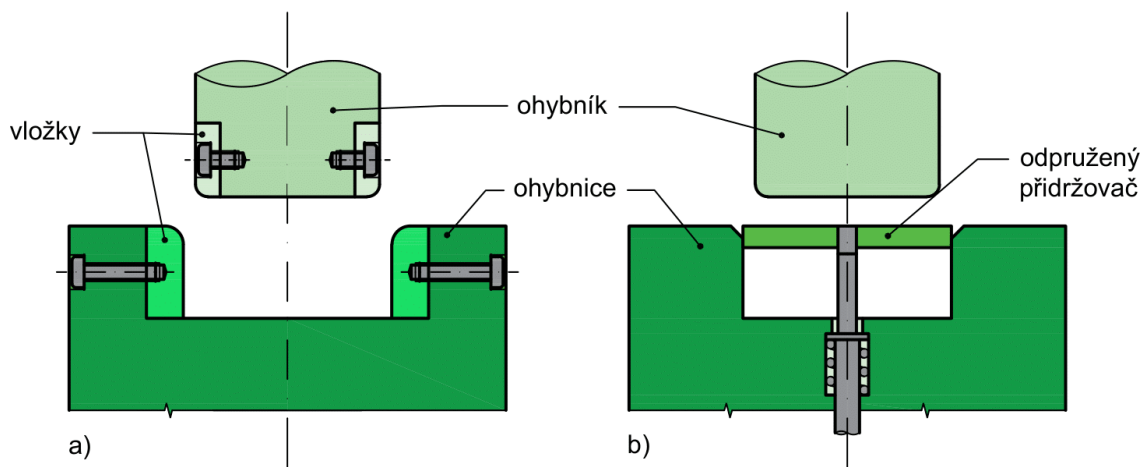
Konstrukce nástrojů pro ohýbání vykazuje s konstrukcí střížných nástrojů poměrně velkou podobnost. Ohyb se zhotovuje pomocí dvou protilehlých funkčních částí nástroje, které se nazývají ohybník a ohybnice. Obdobně jako střížné nástroje i nástroje ohýbací mohou být vedené pomocí vodících sloupků. Takový nástroj pro jednoduchý V-ohyb je uveden na obr. 32. [29; 32; 33]

U pohyblivé ohybnice je potřeba zajistit, aby během procesu nedošlo k jejímu pootočení. Z toho důvodu se pro uchycení ohybnice používá stopka. U jednodušších nástrojů je možné dokonce ohybnici a stopku vyrobit z jednoho kusu materiálu. Zaoblení ohybníku se většinou zhotovuje s poloměrem ohybu R_o . Výjimku tvoří ohybníky, které jsou podbroušeny kvůli zmenšení vlivu odpružení. Jelikož se pracovní části ohybníku neustále opotřebovávají, lze nástroj opatřit vyměnitelnými vložkami vyrobenými z odolnějších materiálů. Ty se upínají pomocí šroubů, viz obr. 33 a). [29; 32; 33]



Obr. 32 Schéma ohýbacího nástroje [29].

Naproti pohyblivého ohybníku se nachází pevná ohybnice. I u ní se k úspoře materiálu dá využít vyměnitelné vložky (obr. 33 a). Při konstrukci ohybnice je potřeba brát zřetel na její geometrii, zejména na zaoblení její hrany r_m . Tento parametr má významný vliv na velikost ohýbací síly a správné nadimenzování stroje závisí na jeho optimální hodnotě. Pro plechy do tloušťky 3 mm nabývá poloměr zaoblení hodnot z intervalu $(2 \div 6) \cdot s$. Pro polotovary o větší tloušťce je vhodné hrany ohybnice srazit pod úhlem 45° a poloměrem r_m zaoblit vzniklé přechody. Dalším parametrem, který je třeba správně určit je hloubka pevné čelisti l_h . Doporučené hodnoty obou uvedených parametrů uvádí tabulka 9. [29; 32; 33]



Obr. 33 Konstrukční řešení ohýbacího nástroje [29].

Do spodní čelisti lze také instalovat vyhazovač. Ten slouží k vyhození dílů, u kterých je možnost, že kvůli odpružení zůstanou v ohybnici, z nástroje. Kromě této funkce se může vyhazovač uplatnit také jako přidržovač. Schéma ohybnice s vyhazovačem je uvedeno na obr. 33 b). [29; 33]

Tab. 9 Zaoblení a hloubka pevné čelisti [29].

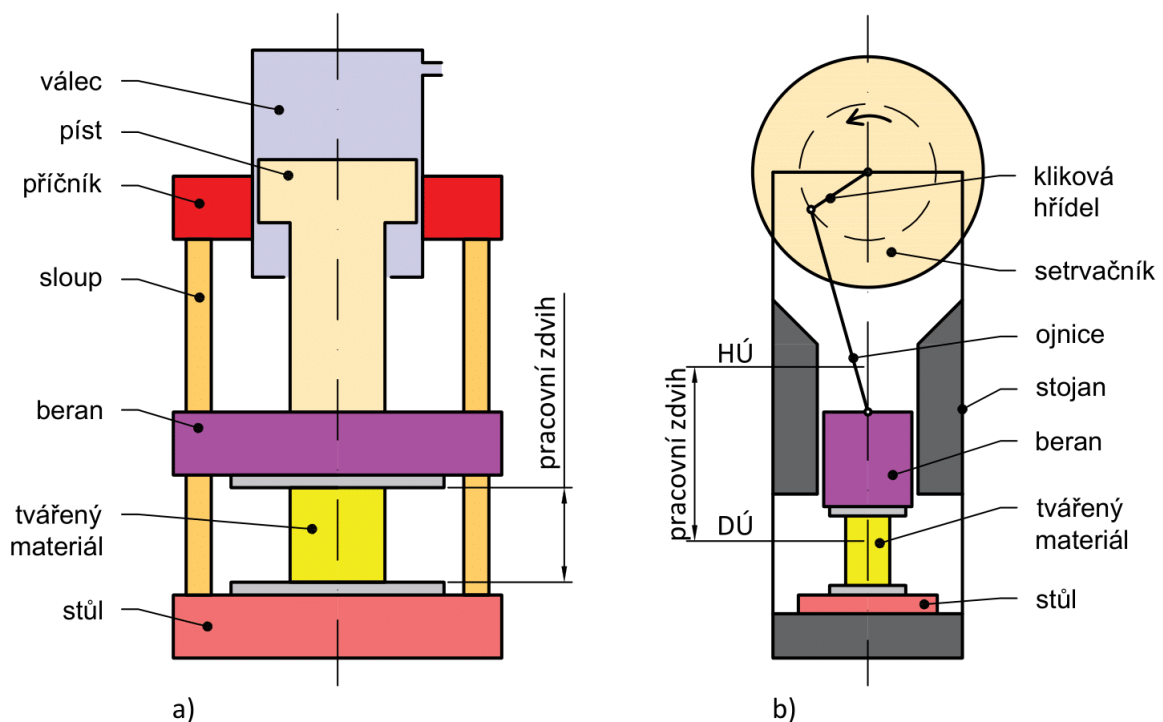
a [mm]	s < 0,5 mm		s = (0,5 ÷ 2) mm		s = (2 ÷ 4) mm		s = (4 ÷ 7) mm	
	l _h [mm]	r _m [mm]	l _h [mm]	r _m [mm]	l _h [mm]	r _m [mm]	l _h [mm]	r _m [mm]
10	6	3	10	3	10	4	-	-
20	8	3	12	4	15	5	20	8
35	12	4	15	5	20	6	25	8
50	15	5	20	6	25	8	30	10
75	20	6	25	8	30	10	35	12

2.4 Tvářecí stroje

Výroba technologiemi tváření je realizována pomocí výrobních strojů. Zatímco stroje pro obrábění bývají velmi často univerzální, tvářecí stroje jsou oproti nim charakterizovány horší přestavitelností a své uplatnění tak nalézají v hromadné výrobě. Zároveň mají tvářecí stroje oproti obráběcím robustnější a tužší konstrukci. [31; 35; 36]

V plošném i objemovém tváření jsou nejrozšířenější stroje, které disponují přímočarým pohybem nástroje. Základní princip funkce těchto strojů spočívá ve využití energie k překonání přetvárného odporu materiálu. Dle formy této energie lze rozdělit stroje do několika kategorií. [31; 35; 36]

První z těchto kategorií jsou energetické stroje. Do této skupiny se řadí buchary. Kinetická energie potřebná k přetvoření materiálu se zde zpravidla získává pomocí volného pádu beranu. Rychlost nástroje při dopadu obvykle přesahuje $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto stroje se nejčastěji používají u technologie kování; pro plošné tváření není jejich aplikace vhodná. [35; 36]



Další skupinou tvářecích strojů jsou stroje silové, viz obr. 34 a), využívající potenciální energii. Stavějí na principu Pascalova zákona, kdy lisovací tlak působí ve všech směrech rovnoměrně. Tlakovým médiem se uplatňuje vodní emulze či olej. Díky zmíněnému principu je rychlost beranu konstantní a nepřesahuje $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zároveň lze tuto rychlost snadno regulovat. Dalšími výhodami hydraulických lisů, které patří do této kategorie, jsou možnost nadimenzování procesu na vysoké síly, nastavitelný pracovní zdvih či klidný chod stroje. Silové stroje však poskytují nižší výkon, takže nejsou tak produktivní. Nevýhodou je také složitější konstrukce a nutnost přesného stanovení tvářecí síly. [35; 36]



Obr. 35 Výstředníkový lis [37].

Poslední kategorii tvoří mechanické lisy. Jejich funkce kombinuje oba výše zmíněné principy. K přetvoření materiálu využívají jak energii kinetickou, tak i potenciální. Díky jednoduché konstrukci a vysoké produktivitě jsou dnes mechanické lisy velmi rozšířeny ve tvářecích procesech. Omezení však spočívá v pevném zdvihu, který je dán horní (HÚ) a dolní (DÚ) úvratí. S tím souvisí i průběh rychlosti a síly beranu, který vždy závisí na aktuálním zdvihu, přičemž tvářecí síla svého maxima dosahuje u dolní úvratí. Mezi základní typy mechanických lisů se řadí lisy výstředníkové a klikové, jeho schéma viz obr. 34 b). Tyto lisy pracují na principu změny rotačního pohybu na pohyb přímočarý. Toho je dosaženo užitím klikového mechanismu, kdy se akumulovaná energie setrvačníku přenáší pomocí klikové hřídele a ojnice na beran stroje. Příklad výstředníkového lisu od firmy HESSE+CO Maschinenfabrik GesmbH je uveden na obr. 35. [35; 36; 37]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Součástí, pro kterou má být navržen sružený postupový nástroj, je ochranný držák z polotovaru o tloušťce 3 mm ze slitiny hliníku a manganu EN AW-3103. Po zhotovení konečného tvaru dílu bude ještě lakován. Prvním krokem ke stanovení vhodného výrobního postupu je posouzení technologičnosti dílce. Ta spočívá v ověření podmínek a požadavků uvedených v kapitolách 2.1.3 a 2.2.4.

Jelikož ve výkresové dokumentaci součásti nejsou předepsány žádné rozměrové ani geometrické tolerance, budou všechny úchytky rozměrů určeny dle normy ČSN ISO 2768-mH. Takto zjištěné tolerance, uvedené v tabulce 10, lze zhotovit pomocí běžného postupového nástroje.

Tab. 10 Úchytky rozměrů dle ČSN ISO 2768-mH [38].

Třída přesnosti		Mezní úchytky pro rozměry [mm]				
Označení	Název	0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400
m	střední	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

Další podmínka, kterou je nutné při posuzování technologičnosti zkontrolovat, je vzdálenost děrovaných otvorů od okrajů výstřižku. Při této kontrole se vychází z informací uvedených v kapitole 2.1.4 a na obr. 15, přičemž ověřované hodnoty lze nalézt na výkrese součásti obsaženém ve výkresové dokumentaci. Z něj vyplývá, že vzdálenost kruhového otvoru od kraje plechu musí být minimálně $0,8 \cdot s$. Jelikož se součást vyrábí z plechu o tloušťce 3 mm, nesmí tato vzdálenost být menší než 2,4 mm. U řešeného dílu je kruhový otvor od okraje vzdálen 5 mm, tudíž tento požadavek je dodržen. V případě hranatého otvoru pak podmínka stanovuje, že zmíněná minimální vzdálenost musí být větší nebo rovna tloušťce plechu. Zadaná součást obsahuje právě jeden obdélníkový otvor, jenž leží od okraje 6,2 mm. Lze tedy konstatovat, že i tato podmínka je splněna. Obr. 15 popisuje i vzdálenost otvorů mezi sebou. Už při zběžné kontrole výkresu součásti je zřejmé, že ani tento požadavek není porušen.

Z hlediska technologie ohýbání vychází nutnost ověřit vzdálenost otvoru od ohybu. Ta má nabývat hodnoty minimálně dvojnásobku tloušťky plechu, u řešeného dílce tedy 6 mm.

Jedna z os ohybu prochází obdélníkovým otvorem. Lze tedy usoudit, že v místě ohybu se vlivem působících napětí zdeformuje hrana tohoto otvoru. Konstruktor dílce byl s touto skutečností seznámen a mírně zhoršená kvalita je v tomto místě povolena.

Poslední, ale neméně důležité kritérium, jsou poloměry ohybu, které musí náležet intervalu mezi maximálním a minimálním poloměrem ohybu. Minimální poloměr ohybu se pro řešený dílec vypočte pomocí vztahu (2.18), kde součinitel c dle tabulky 7 nabývá hodnoty 0,35:

$$R_{omin} = c \cdot s = 0,35 \cdot 3 = 1,05 \text{ mm}$$

Velikost maximálního poloměru ohybu lze vypočítat vztahem (2.19). Hodnoty modulu pružnosti v tahu E a meze kluzu R_e popisují mechanické vlastnosti materiálu a jsou získány z tabulky 1:

$$R_{omax} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{69,5 \cdot 10^3}{120} - 1 \right) = 867,25 \text{ mm}$$

Oba ohyby, které mají být na součásti zhotoveny, mají velikost poloměru ohybu 3 mm. Z vypočtených hodnot vyplývá, že konstruktérem navržený ohyb je větší než minimální poloměr ohybu a menší než maximální poloměr. Jelikož jsou všechny podmínky technologičnosti splněny, součást může být vyráběna postupovým sruženým nástrojem.

3.1 Uspořádání výstřižků na nástřihovém plánu

První krok u návrhu technologického postupu spočívá ve zvolení optimálního nástřihového plánu s vhodným rozvržením jednotlivých operací. Protože jsou na součásti zhotoveny ohyby, je pro tvorbu tohoto nástřihového plánu potřeba zajistit rozvinutý tvar dílce. Dle kapitoly 2.2.1 se rozměr rozvinu určí jako součet délek neutrálních vrstev jednotlivých úseků. V případě rovných úseků se tato délka rovná délce úseku, jelikož zde nedochází k posunutí neutrální vrstvy. U ohnutých úseků toto posunutí nastává a novou délku lze stanovit ze vztahu (2.13).

Protože oba ohyby, které se na součásti nacházejí, mají stejný poloměr i úhel, stačí provést pouze jeden výpočet posunutí neutrální vrstvy. Nejprve je potřeba stanovit součinitel posunutí neutrální vrstvy x , k čemuž se použije tabulka 5.

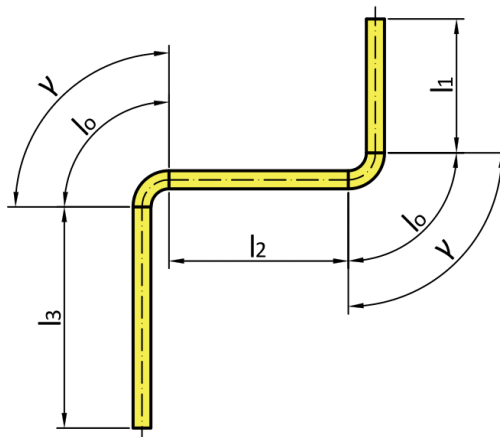
$$\frac{R_o}{s} = \frac{3}{3} = 1 \rightarrow x = 0,42$$

Výpočet délky uhnuté části dle vztahu (2.13):

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot (180 - 90)}{180} \cdot (3 + 0,42 \cdot 3) = 6,692 \text{ mm}$$

Pomocí vztahu (2.15) je dále dopočítána délka rozvinutého tvaru součásti, potřebná geometrie jednotlivých ramen viz obr. 36:

$$l_c = \sum l_i + \sum l_{o,j} = l_1 + l_2 + l_3 + 2 \cdot l_o = 22,2 + 29,8 + 36,7 + 2 \cdot 6,7 = 102,1 \text{ mm}$$



Obr. 36 Geometrie pro výpočet rozvinu.

Tento výpočet lze zkontrolovat pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022, podle kterého délka rozvinutého tvaru součásti je 102,1 mm. Obě hodnoty se shodují a lze s nimi pokračovat v dalších výpočtech.

Pro výrobu řešené součásti se nabízejí dva možné polotovary. První z nich je tabule plechu a z ní nastříhané pásy. Nevýhoda této varianty tkví ve složitější obsluze, kde zaměstnanec musí tabuli nadělit na jednotlivé pruhy. Z důvodu častého zakládání polotovarů se také narušuje kontinuita procesu. Druhý polotovar, který se nabízí, je odvíjející se svitek. Z důvodu vysoké sériovosti se pro výrobu dílce jeví jako vhodnější použít polotovar ve formě svitku o šířce b . Nabízejí se dvě základní varianty uspořádání výstřižků na pásu – podélné a příčné.

Varianta A

Na obr. 37 je uvedeno příčné uspořádání výstřižků, se kterým pracuje varianta A.

Velikost můstku e :

$$e = 6 \text{ mm}$$

Velikost okraje f :

$$f = 7 \text{ mm}$$

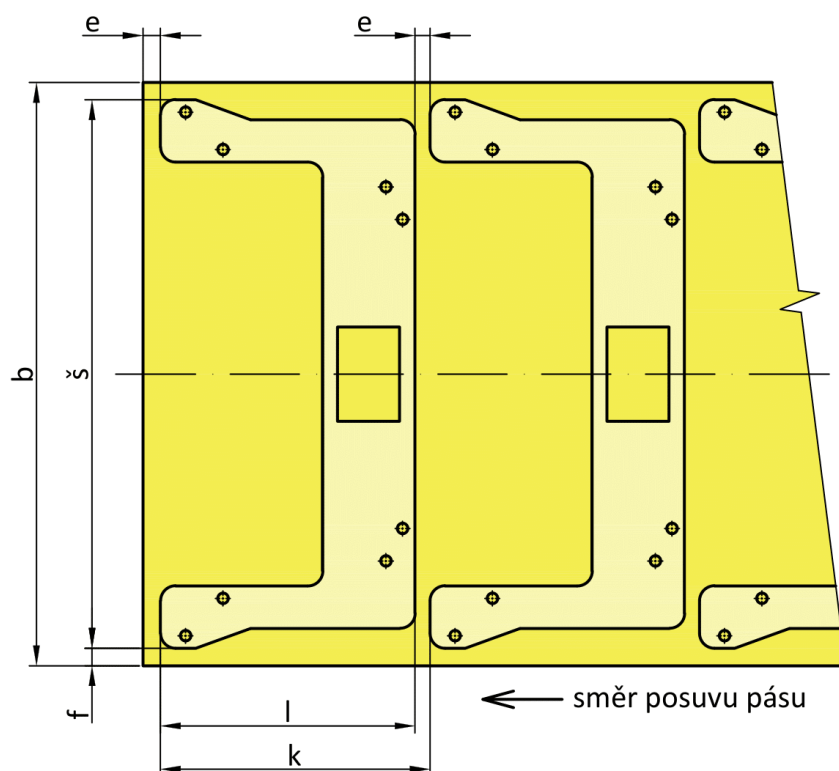
Velikosti můstku a okraje byly odečteny z tabulky obsažené v příloze č. 1 a zvětšeny přibližně o 10 %, jelikož zpracováváný materiál je měkký.

Šířka pásu b :

$$b = 2 \cdot f + š = 2 \cdot 7 + 220 = 234 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Délka kroku k :

$$k = l_v + e = 102,1 + 6 = 108,1 \text{ mm} \quad (3.2)$$



Obr. 37 Příčné uspořádání výstřižků.

Vyráběná součást je vyráběna z polotovaru ve formě vinutého svitku plechu, jehož rozměry jsou určeny na základě potřebné jakosti materiálu a tloušťky plechu. Pro výběr polotovaru byla použita nabídka společnosti Profimet s.r.o. Rozvinutou délku jednoho svitku lze vypočítat z informací o jeho vnitřním a vnějším průměru, které jsou uvedeny na webových stránkách dodavatele. Rozměry svitku shrnuje tabulka 10. [39]

Tab. 10 Rozměry svitku [39].

Vnější průměr	Vnitřní průměr	Šířka	Tloušťka
$\varnothing d_i$ [mm]	$\varnothing d_e$ [mm]	b [mm]	s [mm]
1000	508	234	3



Objem svitku V_{sv} :

$$V_{sv} = \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (d_i^2 - d_e^2) = \frac{\pi \cdot 234}{4} \cdot (1000^2 - 508^2) = 136\,355\,350,2 \text{ mm}^3 \quad (3.3)$$

Délka svitku L_{sv} po odečtení 100 mm potřebných na zavedení pásu do nástroje:

$$L_{sv} = \frac{V_{sv}}{b \cdot s} = \frac{136\,355\,350,2}{234 \cdot 3} - 100 = 194\,138,39 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Počet výstřížků na jeden svitek n_v :

$$n_v = \frac{L_{sv}}{k} = \frac{194\,138,39}{108,1} = 1\,795,9 \rightarrow 1\,795 \text{ ks} \quad (3.5)$$

Plocha svitku S_{sv} :

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot b = 194\,238,39 \cdot 234 = 45\,451\,783,26 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

Plocha výstřížku S_v :

$$S_v = 10\,149,26 \text{ mm}^2$$

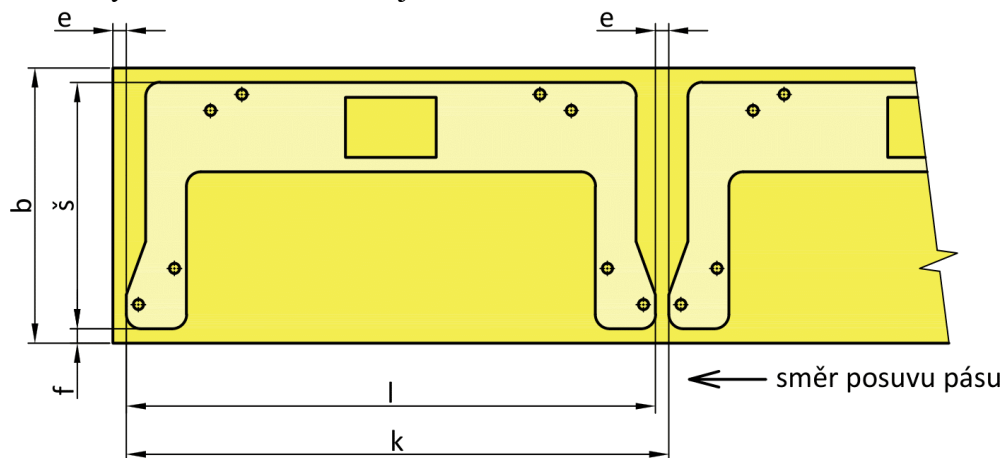
Plocha výstřížku byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022, přičemž jsou do ní započítány i plochy pro vystřížení otvorů.

Využití materiálu η :

$$\eta = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{10\,149,26 \cdot 1\,795}{45\,451\,783,26} \cdot 100 = 40,1 \% \quad (3.7)$$

Varianta B

Podélné řazení výstřížků ve variantě B je zobrazeno na obr. 38.



Obr. 38 Podélné uspořádání výstřížků.

Velikost můstku **e**:

$$e = 5 \text{ mm}$$

Velikost okraje **f**:

$$f = 6 \text{ mm}$$

Velikosti můstku a okraje byly odečteny z tabulky obsažené v příloze č. 1 a zvětšeny přibližně o 10 %, jelikož zpracováváný materiál je měkký.

Šířka pásu **b**:

$$b = 2 \cdot f + \check{s} = 2 \cdot 6 + 102,1 = 114,1 \text{ mm}$$

Délka kroku **k**:

$$k = l_v + e = 220 + 5 = 225 \text{ mm}$$

Pro výpočet rozvinuté délky se předpokládá stejný svitek plechu jako u varianty A. Rozměry svitku jsou opět uvedeny výše v tabulce 10 s tím rozdílem, že šířka nyní nabývá hodnoty 114,1 mm.

Objem svitku **V_{sv}**:

$$V_{sv} = \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (d_i^2 - d_e^2) = \frac{\pi \cdot 114,1}{4} \cdot (1000^2 - 508^2) = 66\,487\,801,1 \text{ mm}^3$$

Délka svitku **L_{sv}** po odečtení 100 mm potřebných na zavedení pásu do nástroje:

$$L_{sv} = \frac{V_{sv}}{b \cdot s} = \frac{66\,487\,801,1}{114,1 \cdot 3} - 100 = 194\,138,39 \text{ mm}$$

Počet výstřížků na jeden svitek **n_v**:

$$n_v = \frac{L_{sv}}{k} = \frac{194\,138,39}{225} = 862,8 \rightarrow 862 \text{ ks}$$

Plocha svitku **S_{sv}**:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot b = 194\,138,39 \cdot 114,1 = 22\,162\,600,3 \text{ mm}^2$$

Plocha výstřížku **S_v**:

$$S_v = 10\,149,26 \text{ mm}^2$$

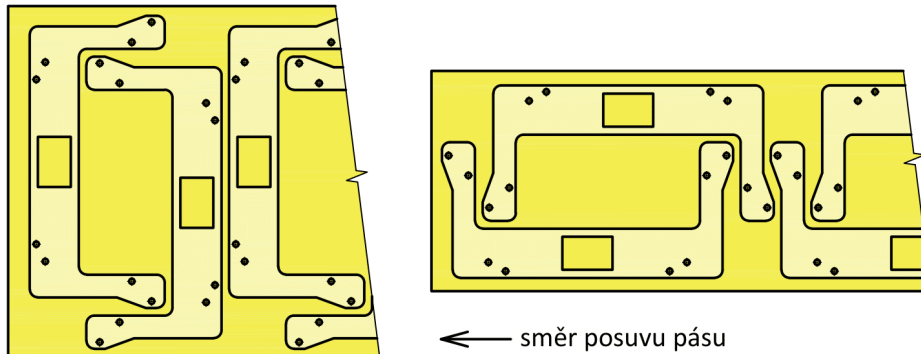
Plocha výstřížku byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022.

Využití materiálu **η**:

$$\eta = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{10\,149,26 \cdot 863}{22\,162\,600,3} \cdot 100 = 39,5 \%$$

Ze srovnání obou variant vyplývá, že využití materiálu pásu se v obou uspořádáních pohybuje okolo 40 %. O přibližně 0,6 % však je vyšší v případě varianty A. Ve prospěch tohoto rozvržení hovoří také skutečnost, že osy ohybu jsou kolmé k vláknům v materiálu. U druhé uvažované možnosti jsou osy ohybu rovnoběžné s vlákny, což by komplikovalo zhotovení ohybů. Délka jednotlivých kroků ve variantě B je bezmála dvakrát větší než u varianty A, tudíž by i celý nástroj byl výrazně rozměrnější. I proto se možnost B nejeví jako vhodná.

Využití materiálu kolem 40 % není příliš vysoké. Řešením by mohlo být uspořádání výstřížků tak, aby docházelo k výrobě dvou součástí najednou, což je znázorněno na obr. 39. Při použití této možnosti by musel být navržen nástroj s dvěma řadami střížníků a ohybníků, takže by se jeho konstrukce komplikovala a rozměry celého nástroje by se zvětšily. Bylo by potřeba provést důkladnou analýzu výrobních nákladů takového nástroje, aby se zjistilo, zda se potenciální úspora materiálu ekonomicky vyplatí oproti jednořadému nástroji. Vzhledem k rozsahu této práce toto zhodnocení nebude provedeno a pro výrobu součástí bude použito rozložení výstřížků na pásu navržené ve variantě A.

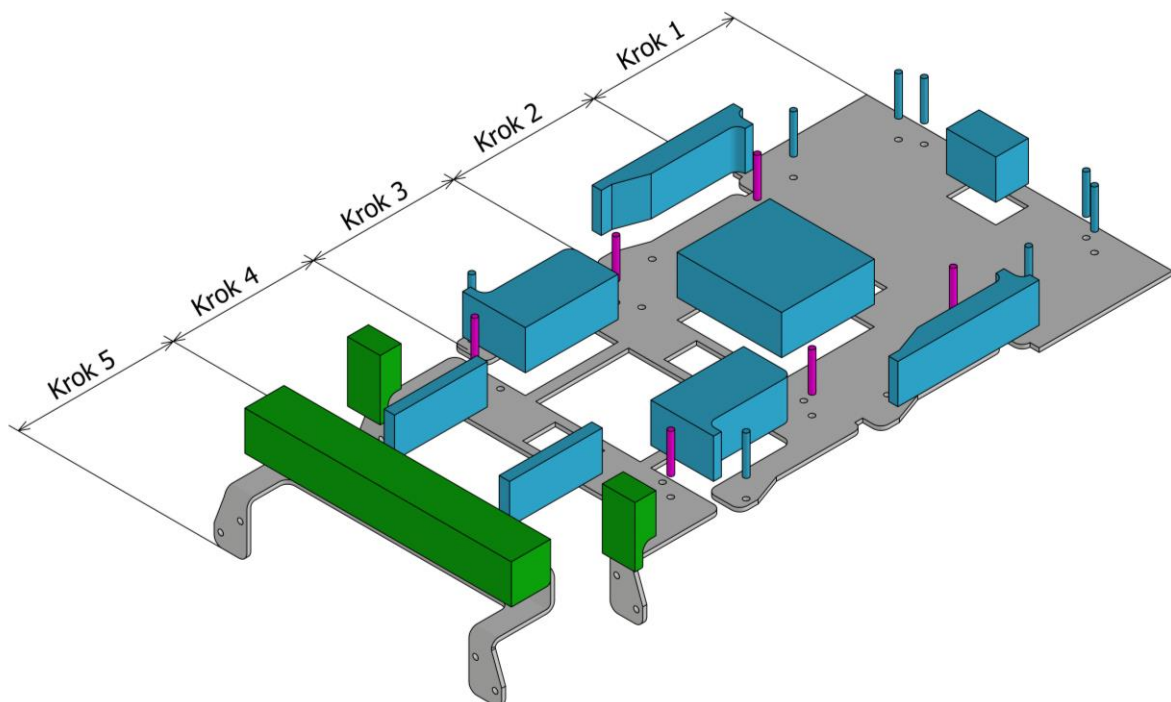


Obr. 39 Varianty uspořádání výstřížků ve dvou řadách.

Další krok po volbě vhodného uspořádání výstřížků na svitku plechu spočívá v návrhu konkrétního rozložení střížných a ohýbacích operací na nástřihovém plánu. Byly navrženy tři různé varianty výrobního postupu součástí, jejichž schémata byla znázorněna v programu Autodesk Inventor Professional 2022 a jsou uvedena na obr. 40, 41 a 42. Na těchto vizualizacích jsou části nástroje pro odlišení vyvedeny v různých barvách a to:

- střížníky modrou,
- ohybníky zelenou,
- hledáčky růžovou.

Varianta 1



Obr. 40 Rozložení střížných a ohýbacích operací – varianta 1.

První krok – děrování šesti otvorů Ø4,2 mm a obdélníkového otvoru 37,8 x 24,9 mm.

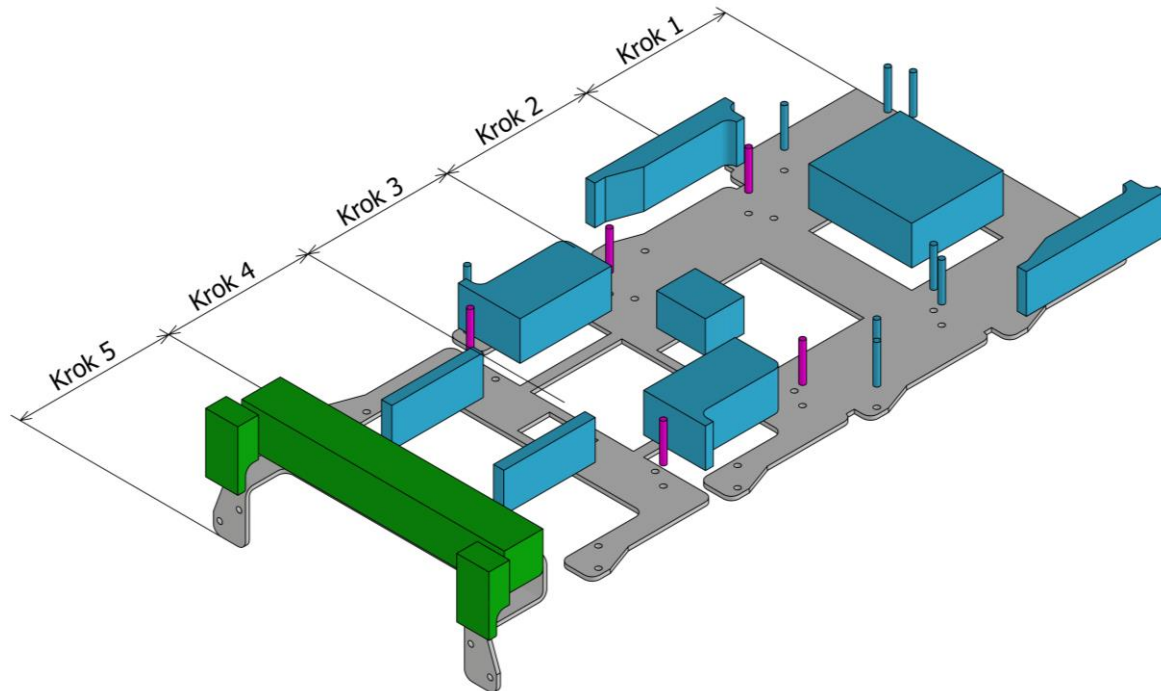
Druhý krok – zahledání do dvou otvorů z první operace, prostřížení otvoru mezi součástmi, vytvoření bočních obrysů výstřižku pomocí tvarových střížníků.

Třetí krok – zahledání, děrování zbývajících dvou otvorů Ø4,2 mm, dokončení obstřihování tvaru mezi dvěma součástmi při současném ponechání dvou můstků.

Čtvrtý krok – zahledání, zhotovení požadovaného ohybu směrem dolů, odstřížení můstků.

Pátý krok – ohyb nahoru.

Varianta 2



Obr. 41 Rozložení střížných a ohýbacích operací – varianta 2.

První krok – prostřížení otvoru mezi součástmi, vytvoření bočního obrysu na levé straně, děrování tří otvorů Ø4,2 mm na pravé straně.

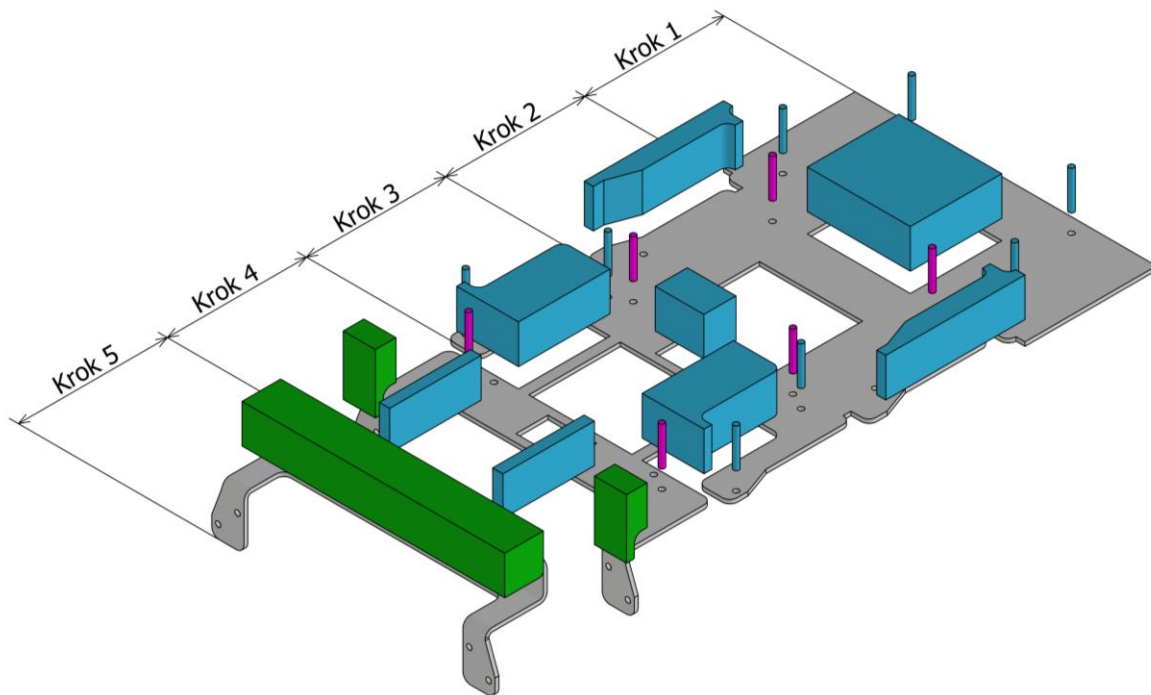
Druhý krok – zahledání do jednoho otvoru z předchozího kroku, vytvoření bočního obrysu na pravé straně, děrování čtyř otvorů Ø4,2 mm na levé straně.

Třetí krok – zahledání, děrování obdélníkového otvoru 37,8 x 24,9 mm, dokončení obstřihování tvaru mezi dvěma součástmi při současném ponechání dvou můstků.

Čtvrtý krok – odstřížení můstků.

Pátý krok – zhotovení obou ohybů.

Varianta 3



Obr. 42 Rozložení střížných a ohýbacích operací – varianta 3.

První krok – děrování čtyř otvorů $\text{Ø}4,2$ mm a prostřížení otvoru mezi součástmi.

Druhý krok – zahledání do dvou otvorů z předešlé operace, vytvoření bočních obrysů výstřížku pomocí tvarových střížníků.

Třetí krok – zahledání, děrování čtyř zbývajících otvorů $\text{Ø}4,2$ mm a obdélníkového otvoru $37,8 \times 24,9$ mm, dokončení obstříhování tvaru mezi dvěma součástmi při současném ponechání dvou můstků.

Čtvrtý krok – zahledání, zhotovení požadovaného ohybu směrem dolů, odstřížení můstků.

Pátý krok – ohyb nahoru.

Všechny tři navržené varianty vychází z postupu, kdy nejprve dojde k vystřížení požadovaného tvaru součásti a následně ke zhotovení ohybů. Tyto ohyby lze zhotovit buď v jednom (varianta 2) nebo ve dvou po sobě jdoucích krocích (varianta 1 a 3). Přestože by teoreticky výroba obou ohybů v jedné operaci měla postup o jeden krok zkrátit, není tomu tak. Před takto složitou ohýbací operací je totiž vyžadován volný krok, ve kterém dojde k odstřížení můstků. Délka celého nástroje by se tak nezměnila. Zároveň se v tomto případě komplikuje upínání ohybníků. Ve variantě 2 se také pracuje nesymetricky rozloženými střížníky. V kombinaci s velkou ohýbací silou na jednom z konců nástroje tak nejsou působící síly rozloženy rovnoměrně, což není vhodné. Z těchto důvodů je varianta 2 zamítnuta.

Zbývajících varianty 1 a 3 jsou do značné míry podobné, liší se pouze v pořadí vystříhování tvaru a děrování otvorů. U varianty 1 se velké střížníky soustřeďují do 2. a 3. kroku, zatímco v 1. kroku se stříhají jen menší otvory. Varianta 3 naopak pracuje s myšlenkou co možná nejrovnoměrnějšího rozložení působících sil. Celý nástroj by z tohoto důvodu měl být ve variantě 3 více vyvážený. Kvůli této skutečnosti je pro konstrukci nástroje zvolena varianta 3.

3.2 Technologické výpočty

Výroba zadané součásti bude probíhat v postupovém nástroji dle výrobního postupu, který poskytuje optimální variantu zhotovení střížných a ohýbacích operací. Aby bylo možné navrhnout všechny náležitosti nástroje a následně zvolit vhodný stroj, je nutné provést technologické výpočty pro celý proces výroby.

3.2.1 Výpočty pro technologii stříhání

První krok k určení celkové tvářecí síly a práce spočívá ve výpočtu sil působících v jednotlivých operacích procesu. Nejprve jsou stanoveny střížné síly. Dle vztahu (2.3) se na velikosti střížných sil podílí koeficient otupení břitu n , přičemž je kvůli bezpečnosti pro výpočty volena jeho maximální hodnota, tedy: $n = 1,3$.

Další parametr vystupující v potřebném vzorci popisuje odpor materiálu proti střížnému namáhání. Závisí na materiálu a podle vztahu (2.4) nabývá velikosti $0,77 \cdot R_m$. Pro konkrétní slitinu EN AW-3103 se hodnota meze pevnosti v tahu pohybuje v intervalu $140 \div 180$ MPa. Při výpočtech sil je opět volena maximální hodnota z tohoto rozmezí, tedy: $R_m = 180$ MPa.

Součást se vyrábí z plechu o tloušťce 3 mm. Poslední veličina, která musí být pro výpočet určena, je délka křivky stříhu. Ta nabývá pro každý střížník jiné velikosti, proto jsou stanoveny střížné síly pro každý střížník zvlášť. Délka křivky stříhu je zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022.

- Kruhový střížník Ø4,2

$$F_{s1} = n \cdot s \cdot L_1 \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 3 \cdot 13,195 \cdot 0,77 \cdot 180 = 7\,132,4 \text{ N}$$

- Velký obdélníkový střížník

$$F_{s2} = n \cdot s \cdot L_2 \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 3 \cdot 302 \cdot 0,77 \cdot 180 = 163\,243,1 \text{ N}$$

- Vnější tvarový střížník

$$F_{s3} = n \cdot s \cdot L_3 \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 3 \cdot 138,36 \cdot 0,77 \cdot 180 = 74\,789,1 \text{ N}$$

- Malý obdélníkový střížník

$$F_{s4} = n \cdot s \cdot L_4 \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 3 \cdot 135,6 \cdot 0,77 \cdot 180 = 73\,297,2 \text{ N}$$

- Vnitřní tvarový střížník

$$F_{s5} = n \cdot s \cdot L_5 \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 3 \cdot 226,85 \cdot 0,77 \cdot 180 = 122\,621,5 \text{ N}$$

- Odstříhovací střížník

$$F_{s6} = n \cdot s \cdot L_6 \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 3 \cdot 16 \cdot 0,77 \cdot 180 = 8\,648,6 \text{ N}$$

Celkovou střížnou sílu lze vypočítat sečtením všech dílčích sil působících na jednotlivých střížnících. Jelikož se některé ze střížníků vyskytují v nástroji vícekrát, musí být tato skutečnost do výpočtu zahrnuta, viz vztah (3.8):

$$\begin{aligned} F_{SC} &= \sum_{i=1}^6 F_{si} = 8 \cdot F_{s1} + F_{s2} + 2 \cdot F_{s3} + F_{s4} + 2 \cdot F_{s5} + 2 \cdot F_{s6} \\ &= 8 \cdot 7\,132,4 + 163\,243,1 + 2 \cdot 74\,789,1 + 73\,297,2 + 2 \cdot 122\,621,5 + 2 \cdot 8\,648,6 = 705\,718,2 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Kvůli nutnostem setření materiálu ze střížníku a protlačení materiálu střížnicí je nezbytné počítat i se silami vykonávajícími tyto činnosti. Koeficienty, které slouží ke stanovení těchto sil se určí z tab. 2 v kapitole 2.1.2.

Stírací síla se vypočte dle vztahu (2.5); voleno $k_{st} = 0,09$:

$$F_{st} = k_{st} \cdot F_{sc} = 0,09 \cdot 705\,718,2 = 63\,514,6 \text{ N}$$

Pro určení vytlačovací síly se použije vztah (2.6); voleno $k_{vt} = 0,03$:

$$F_{vt} = k_{vt} \cdot F_{sc} = 0,03 \cdot 705\,718,2 = 21\,171,5 \text{ N}$$

Navržení správného tvářecího stroje závisí také na tvářecí síle, kterou musí stroj vynaložit. U stříhání se velikost práce stanoví dle vztahu (2.4). Pro součinitel plnosti $\lambda = 0,6$ nabývá práce hodnoty:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_{smax} \cdot s}{10^3} = \frac{0,6 \cdot 705\,718,2 \cdot 3}{10^3} = 1\,270,3 \text{ J}$$

- Kontrola střížníků na otlačení

Protože během tvářecího procesu působí síly v řádech desítek až stovek kN, hrozí v místě upnutí střížníku otlačení upínací desky. Pokud napětí na rozhraní střížníků a upínací desky přesahuje mez o velikosti 180 MPa (pro ocel), nastává nutnost podepření kalenou opěrnou deskou, která brání vtlačení střížníku do upínací desky. Kontrola se provádí dle vztahu (2.29). Do tohoto výpočtu vstupuje průřez střížníku v místě upnutí, který bude pro potřeby výpočtu uvažován zvětšený o 3 mm, tedy ekvidistantně odsazený o 1,5 mm od obvodu střížníku. Velikost průřezu střížníku je zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022.

- Kruhový střížník $\varnothing 4,2 \text{ mm}$

$$\sigma_{ot1} = \frac{F_{s1}}{S_{st1}} = \frac{7\,132,4}{40,6} = 175,6 \text{ MPa}$$

- Velký obdélníkový střížník

$$\sigma_{ot2} = \frac{F_{s2}}{S_{st2}} = \frac{163\,243,1}{6\,142} = 26,6 \text{ MPa}$$

- Vnější tvarový střížník

$$\sigma_{ot3} = \frac{F_{s3}}{S_{st3}} = \frac{74\,789,1}{1\,852} = 40,4 \text{ MPa}$$

- Malý obdélníkový střížník

$$\sigma_{ot4} = \frac{F_{s4}}{S_{st4}} = \frac{73\,297,2}{1\,138,3} = 64,4 \text{ MPa}$$

- Vnitřní tvarový střížník

$$\sigma_{ot5} = \frac{F_{s5}}{S_{st5}} = \frac{122\,621,5}{3\,051,3} = 40,2 \text{ MPa}$$

- Odstřihovací střížník

$$\sigma_{ot6} = \frac{F_{s6}}{S_{st6}} = \frac{8\,648,6}{814} = 10,6 \text{ MPa}$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že kontaktní tlaky jsou u všech střížníků kromě jednoho výrazně menší, než je povolená mez. Jediný kruhový střížník Ø4,2 mm, u kterého by mohlo nastat otláčení, se blíží k hraniční hodnotě 180 MPa. Aby tyto osamocené střížníky nemusely být podepřené opěrnou deskou, což by činilo konstrukci nástroje o něco komplikovanější, nabízí se řešení zvětšením kontaktní plochy. Pokud se tedy použije na střížníku osazení o průměru 8,4 mm, bude kontaktní tlak:

$$\sigma'_{ot1} = \frac{F_{s1}}{S'_{st1}} = \frac{7\,132,4}{55,4} = 128,7 \text{ MPa}$$

Jak ze spočtené hodnoty vyplývá, se zvětšením osazení již otláčení střížníku nebude hrozit, takže toto řešení lze použít.

- Kontrola střížníku na vzpěr

Dalším kontrolovaným parametrem je kritická délka střížníku vzhledem k meznímu stavu vzpěrné stability. Pokud by délka střížníku tuto hodnotu překonala, může nastat vybočení tohoto střížníku. Z toho vyplývá, že žádný střížník nesmí délkou přesáhnout kritickou hodnotu, jinak by bylo třeba upravit konstrukční řešení nástroje, například dle obr. 30 b), c). Největší nebezpečí ztráty vzpěrné stability hrozí u malých střížníků, proto je provedena kontrola pouze u kruhového střížníku Ø4,2 mm a u odstříhovacího střížníku, který je sice dlouhý, ale relativně tenký. Pro výpočet se nejprve musí určit moment setrvačnosti I , který se pro kruhový průřez průměru 4,2 mm určí dle vztahu (3.9):

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4,2^4}{64} = 15,27 \text{ mm}^4 \quad (3.9)$$

Pro moment setrvačnosti obdélníkového průřezu pak platí vztah (3.10):

$$I_6 = \frac{a_p \cdot b_p^3}{12} = \frac{71 \cdot 8^3}{12} = 3\,029,33 \text{ mm}^4 \quad (3.10)$$

Kritická délka střížníku pro nástroj s vodící deskou se stanoví dle vztahu (2.28), přičemž koeficient bezpečnosti se volí $n_b = 1,5$:

- Kruhový střížník Ø4,2 mm

$$l_{krit1} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_1}{n_b \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 69,5 \cdot 10^3 \cdot 15,27}{1,5 \cdot 7\,132,4}} = 62,59 \text{ mm}$$

- Odstříhovací střížník

$$l_{krit2} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_2}{n_b \cdot F_{s2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 69,5 \cdot 10^3 \cdot 3\,029,33}{1,5 \cdot 8\,648,6}} = 800,44 \text{ mm}$$

Z výsledků vyplývá, že největší nebezpečí ztráty vzpěrné stability nastává u kruhového střížníku Ø4,2 mm kvůli jeho malému průměru. Od jeho kritické hodnoty 62,59 mm se bude muset odvíjet délka ostatních střížníků. Pokud by na základě této skutečnosti nebylo možné navrhnout řešení nástroje, musela by se upravit konstrukce nebezpečného střížníku.

- Minimální výška střížnice

Střížnice musí být schopná odolat tlakům, které na ni působí. Před samotnou konstrukcí se musí zjistit hodnota její minimální tloušťky, aby následně při provozu nedošlo k poškození. Tento mezní rozměr lze stanovit pomocí vzorce (2.26):

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{sc}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 705\,718,2} = 41,32 \text{ mm}$$

- Střížná vůle

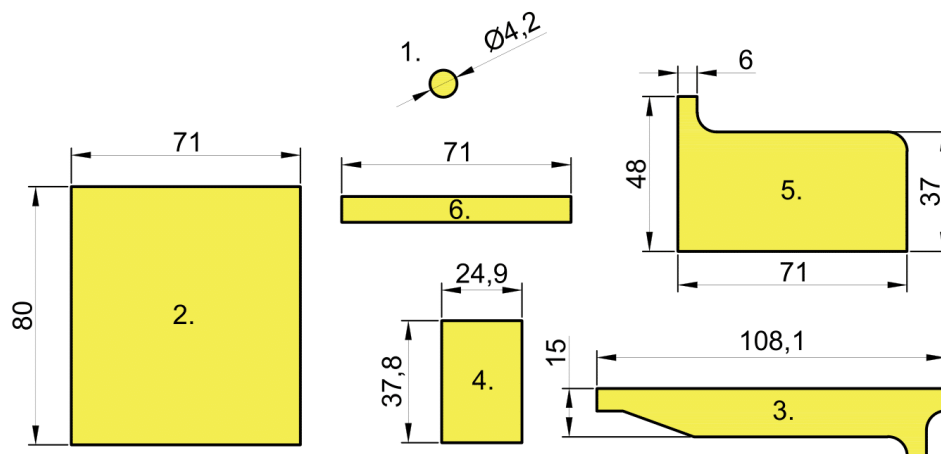
Velikost střížné vůle, respektive střížné mezery, je mezi všemi střížníky a otvory ve střížnici stejná. Střížná mezera se pro plechy do tloušťky 3 mm vypočte dle vztahu (2.1), střížná vůle se rovná dvojnásobku střížné mezery a určí se tedy dle vztahu (3.11). Koeficient potřebný pro výpočet je volen $c = 0,02$.

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,02 \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 180} = 0,45 \text{ mm} \quad (3.11)$$

- Výrobní tolerance střížných nástrojů

Kapitola 2.3.1 mimo jiné popisuje vliv opotřebení na rozměry funkčních částí nástrojem, přičemž toto opotřebení musí být zohledněno při návrhu nástroje. V procesu výroby součásti dochází k postupnému obstříhování tvaru, kdy všechny výstřížky jsou odpadem. Proto se pro rozměry nástrojů vychází ze vztahů pro děrování, konkrétně (2.30) pro střížník a (2.31) pro střížnici.

Díl má být vyráběn s tolerancemi rozměrů dle střední řady ČSN ISO 2768. Lze uvažovat, že mezním úchylkám součásti stanoveným touto řadou odpovídá toleranční stupeň IT11, kterému dle tab. 3 náleží výrobní tolerance nástroje IT7 až IT 8. Protože podle obecné zásady by měly být úchytky rozměrů střížníků přesnější než u střížnic, budou nástroje navrženy s přesností IT7 pro střížníky a IT8 pro střížnice. Protože jsou některé ze stříhaných otvorů tvarově složitější, nebudou pro zjednodušení počítány tolerance pro všechny jejich rozměry, ale jen pro ty uvedené na obr. 43.



Obr. 43 Rozměry stříhaných otvorů.

Vzorový příklad ukazuje výpočet pro stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro otvor $\text{Ø}4,2$ mm. Rozměry ostatních nástrojů shrnuje tab. 11. Potřebné hodnoty přípustné míry opotřebení a výrobní tolerance nástrojů uvádí příloha 2. Dané velikosti pro symetrické odchylky je nutné nejprve vydělit dvěma.

- rozměr střížníku

$$A_{k1} = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} = \left(4,2 + \frac{0,17}{2}\right)_{-0,040} = 4,285_{-0,040} \text{ mm}$$

- rozměr střížnice

$$A_{e1} = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} = \left(4,2 + \frac{0,17}{2} + 0,45\right)^{+0,063} = 4,735^{+0,063} \text{ mm}$$

Tab. 11 Rozměry funkčních střížných částí nástroje.

Stříhaný otvor	Rozměr [mm]	Max. rozměr střížníku A_k [mm]	Max. rozměr střížnice A_e [mm]
1.	Ø4,2	Ø4,285 ^{-0,040}	Ø4,735 ^{+0,063}
2.	71	71,155 ^{-0,074}	71,605 ^{+0,120}
	80	80,155 ^{-0,074}	80,605 ^{+0,120}
3.	108,1	108,275 ^{-0,087}	108,725 ^{+0,140}
	15	15,085 ^{-0,040}	15,535 ^{+0,063}
4.	24,9	25,010 ^{-0,057}	25,460 ^{+0,089}
	37,8	37,925 ^{-0,062}	38,375 ^{+0,100}
5.	6	6,060 ^{-0,027}	6,510 ^{+0,040}
	71	71,155 ^{-0,074}	71,605 ^{+0,120}
	37	37,125 ^{-0,062}	37,575 ^{+0,100}
	48	48,125 ^{-0,062}	48,575 ^{+0,100}
6.	71	71,155 ^{-0,074}	71,605 ^{+0,120}

3.2.2 Výpočty pro technologii ohýbání

Ohyb se zhotovuje působením síly na polotovar. Před samotným výpočtem ohýbací síly je nutné stanovit velikost ohýbací vůle dle vztahu (3.12) [29]:

$$v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot s = 1,1 \cdot 3 = 3,3 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Dále pak proběhne výpočet vzdálenosti opěr součtem ohýbací vůle, poloměru zaoblení tažnice stanoveného z tab. 9 a poloměru ohybu (3.13). Pro ohyb dolů ve 4. kroku platí:

$$l_{u4} = v_o + r_{m4} + R_o = 3,3 + 6 + 3 = 12,3 \text{ mm} \quad (3.13)$$

U ohybu nahoru v 5. kroku je odlišná délka ramena a , proto se i poloměr zaoblení tažnice odlišuje a vzdálenost opěr se rovná:

$$l_{u5} = v_o + r_{m5} + R_o = 3,3 + 4 + 3 = 10,3 \text{ mm} \quad (3.13)$$

Velikost ohýbací síly se pro ohyb do tvaru U vypočte vztahem (2.21). Protože ve čtvrtém kroku dochází k vytvoření dvou stejných ohybů najednou, musí se tato síla vynásobit 2:

- Ohýbací síla ve 4. kroku

$$F_{o,U4} = 2 \cdot \frac{0,4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b}{l_{u4}} = 2 \cdot \frac{0,4 \cdot 180 \cdot 3^2 \cdot 17}{12,3} = 1\,791,2 \text{ N}$$

- Ohýbací síla v 5. kroku

$$F_{o,U5} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b}{l_{u5}} = \frac{0,4 \cdot 180 \cdot 3^2 \cdot 166,2}{10,3} = 10\,456,1 \text{ N}$$

Skutečná síla nutná k vytvoření ohybu se získá přičtením síly potřebné ke kalibraci ohybu a síly k překonání síly přidržovače, jak bylo popsáno ve vzorci (2.22). Celková ohýbací síla pro jednotlivé ohyby tak bude, přičemž kalibrační a přidržovací síla se získá dle (2.23), respektive (2.24):

- Celková ohýbací síla ve 4. kroku

$$F_{oC4} = F_{o,U4} + F_{k4} + F_{p4} = 1\,791,2 + 2 \cdot 1\,791,2 + 0,3 \cdot 1\,791,2 = 5\,911\,N$$

- Celková ohýbací síla v 5. kroku

$$F_{oC5} = F_{o,U5} + F_{k5} + F_{p5} = 10\,456,1 + 2 \cdot 10\,456,1 + 0,3 \cdot 10\,456,1 = 34\,505\,N$$

Výsledná ohýbací síla se získá sumací všech ohýbacích sil ve všech operacích, tedy dle vztahu (3.12):

$$F_{oC} = \sum_{i=1}^2 F_{oCi} = F_{oC4} + F_{oC5} = 5\,911 + 40\,416 = 40\,416\,N \quad (3.12)$$

Hodnota práce, která se vynaloží k ohnutí materiálu do požadovaného úhlu, se vypočte pomocí rovnice (2.25). Pro součinitel zaplnění diagramu $\kappa = 0,65$ nabývá ohýbací práce velikosti:

- Ohýbací práce ve 4. kroku

$$A_{o4} = F_{o,U4} \cdot h_{o4} \cdot \kappa \cdot 10^{-3} = 5\,911 \cdot 16 \cdot 0,65 \cdot 10^{-3} = 61,5\,J$$

- Ohýbací práce v 5. kroku

$$A_{o5} = F_{o,U5} \cdot h_{o5} \cdot \kappa \cdot 10^{-3} = 34\,505 \cdot 23,8 \cdot 0,65 \cdot 10^{-3} = 533,8\,J$$

Celková ohýbací práce se podle vztahu (3.13) rovná součtu všech jednotlivých ohýbacích prací:

$$A_{oC} = \sum_{i=1}^2 A_{oi} = A_{o4} + A_{o5} = 61,5 + 533,8 = 595,3\,J \quad (3.13)$$

Průvodním jevem procesu ohýbání je odpružení součásti po uvolnění působící síly. Pro výpočet velikosti úhlu odpružení lze použít vztah (2.17), který platí pro ohyb do tvaru U. Koefficient neutrální vrstvy k_{β} je volen dle tab. 6 a nabývá hodnoty 0,68. Rovnice určující úhel odpružení má tvar:

- Úhel odpružení ve 4. kroku

$$\beta_{U4} = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_{u4}}{k_{\beta} \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{12,3}{0,68 \cdot 3} \cdot \frac{120}{69,5 \cdot 10^3} \right) = 0^{\circ}26'51''$$

- Úhel odpružení v 5. kroku

$$\beta_{U5} = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_{u4}}{k_{\beta} \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{10,3}{0,68 \cdot 3} \cdot \frac{120}{69,5 \cdot 10^3} \right) = 0^{\circ}22'29''$$

Dle výkresové dokumentace se tolerance velikosti úhlů ohybu řídí normou ČSN ISO 2768 třídy přesnosti m. Ta uvádí pro úhel 90° možné úchytky $\pm 0^{\circ}30'$. Vypočítané hodnoty odpružení do tohoto intervalu spadají, takže není nutné kvůli vlivu odpružení nástroj upravovat. [38]

3.2.3 Návrh pružin

Jelikož se v průběhu výroby součásti zhotovuje i ohyb nahoru, a protože není použit vícečinný stroj, je nezbytné v 5. kroku posunout celý díl pod úroveň pevné části ohybnice, pomocí které se boky součásti ohnou nahoru. To umožňuje odpružený vyhazovač. Při jeho použití nastává potřeba vyvinout sílu překonávající tuhost pružin. Velikost této síly se vypočte dle vztahu (3.14) [40]:

$$F_{pr} = (L_{pr0} - L_{pr}) \cdot K, \quad (3.14)$$

kde: L_{pr0} – délka nezatížené pružiny [mm],
 L_{pr} – délka zatížené pružiny [mm],
 K – tuhost pružiny [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$].

K odpružení vyhazovače jsou použity pružiny od firmy Fibro, jejichž specifikace uvádí příloha 3 [41]. Protože se zde nachází dvě pružiny, musí být výsledná síla násobená dvěma:

$$F_{pr} = 2 \cdot (L_{pr0} - L_{pr}) \cdot k = 2 \cdot (64 - 34) \cdot 7,6 = 456 \text{ N}$$

Práce, která musí být vykonána, se stanoví dle vztahu (3.15) [40]:

$$A_{pr} = 2 \cdot (L_{pr0} - L_{pr}) \cdot F_{pr} \cdot \psi \cdot 10^{-3} = 2 \cdot (64 - 34) \cdot 456 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 13,7 \text{ J} \quad (3.15)$$

kde: ψ – součinitel zaplnění diagramu [-], voleno: $\psi = 0,5$.

3.2.4 Poloha stopky nástroje

Při návrhu konstrukce nástroje je vhodné znát polohu výslednice všech působících sil. Do tohoto bodu se zpravidla umísťuje stopka horní části nástroje. Přestože se upnutí stopkou nepoužívá ve všech případech, tak se výpočet působíště výsledné síly provádí. Díky tomu je možné nástroj do stroje umístit tak, aby tímto bodem procházela osa lisu. Tím se zaručuje lepší vedení, neboť při špatném situování nástroje by síla působila mimo osu a beran by byl namáhán klopným momentem. V důsledku takto nevyváženého nástroje by se zmenšila přesnost vyráběných součástí a zároveň by docházelo k rychlejšímu opotřebení nástroje a stroje.

Polohu působíště všech sřížných a ohýbacích sil lze určit vícero způsoby, například graficky či analyticky. Pro potřeby této práce je použita varianta stanovení polohy pomocí výpočtu, která vychází z momentové rovnováhy působících sil. Tu popisuje vztah (3.15).

$$F_C \cdot X = \sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i, \quad (3.15)$$

kde: F_C – celková síla [N],
 X – poloha působíště výsledné síly [mm],
 x_i – polohy působíště jednotlivých sil [mm].

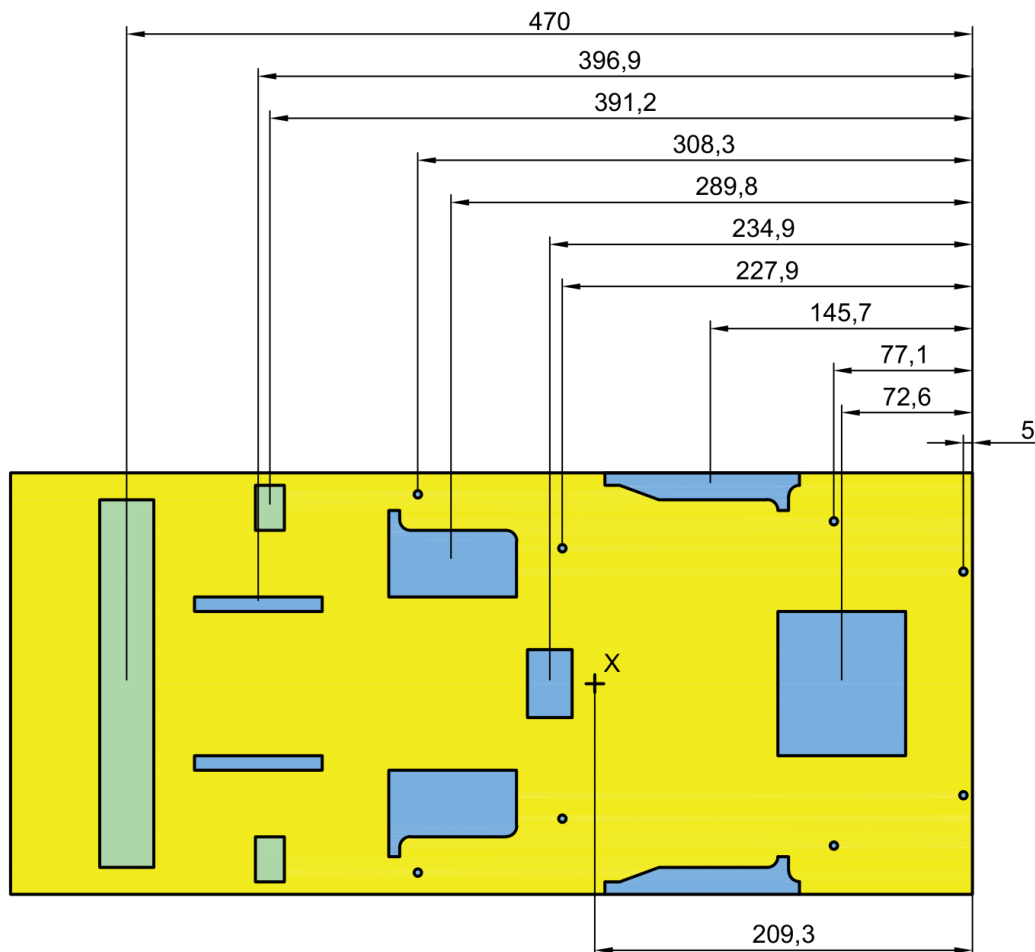
Ze znalosti velikosti celkové působící síly, všech samostatných sil a jejich působíšť lze z rovnice (3.15) vyjádřit parametr X a tím zjistit vhodný bod pro umístění stopky. Díky symetrii sřížného a ohýbacího procesu odpadá nutnost výpočtu polohy působíště ve směru kolmém na posuv pásu. V tomto směru bude ležet na ose symetrie, tedy přesně v polovině šířky pásu. Pro výpočet hledané souřadnice je nulový bod položen do pravého spodního rohu na obr. 44. Před samotným výpočtem se stanoví suma všech sřížných a ohýbacích sil dle vztahu (3.16):

$$F_C = F_{sC} + F_{oC} = 705\,718 + 40\,416 = 746\,134 \text{ N} \quad (3.16)$$

Působíště samostatných sil se shoduje s těžištěm jednotlivých střížníků a ohybníků. K nalezení jejich polohy je použit program Autodesk Inventor Professional 2022. Velikosti sil a jejich působíště shrnuje obr. 44.

Úpravou vztahu (3.15) se dopočítá poloha působíště výsledné síly:

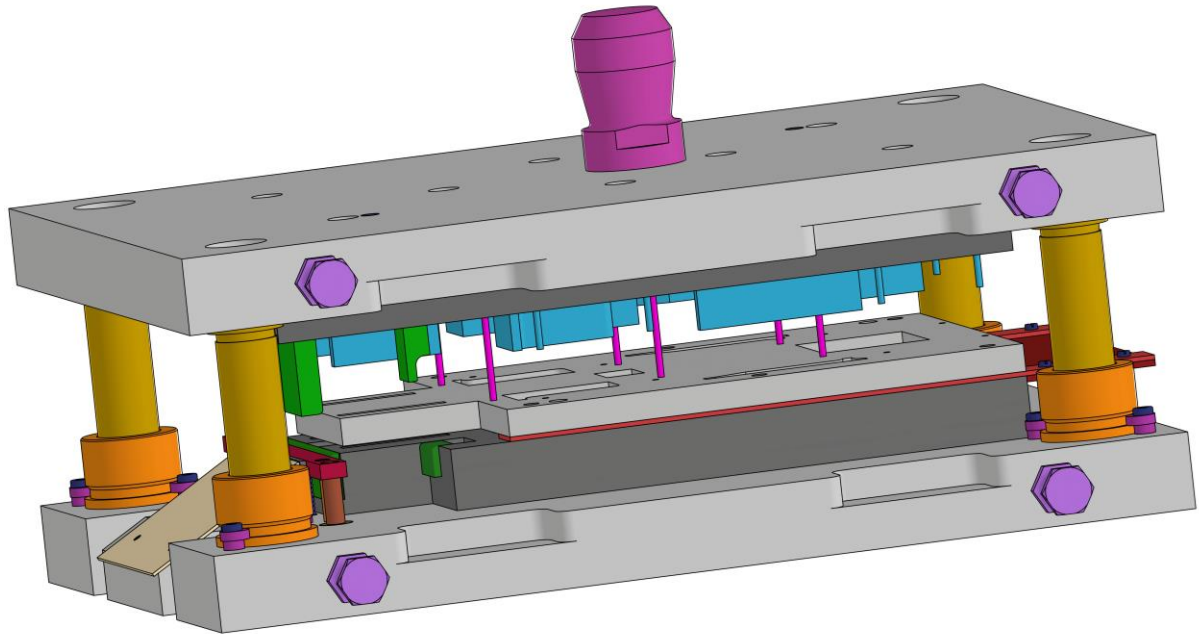
$$X = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{F_C} = \frac{156\,144\,596,2}{746\,134,3} = 209,3 \text{ mm}$$



Obr. 44 Schéma rozložení působících sil.

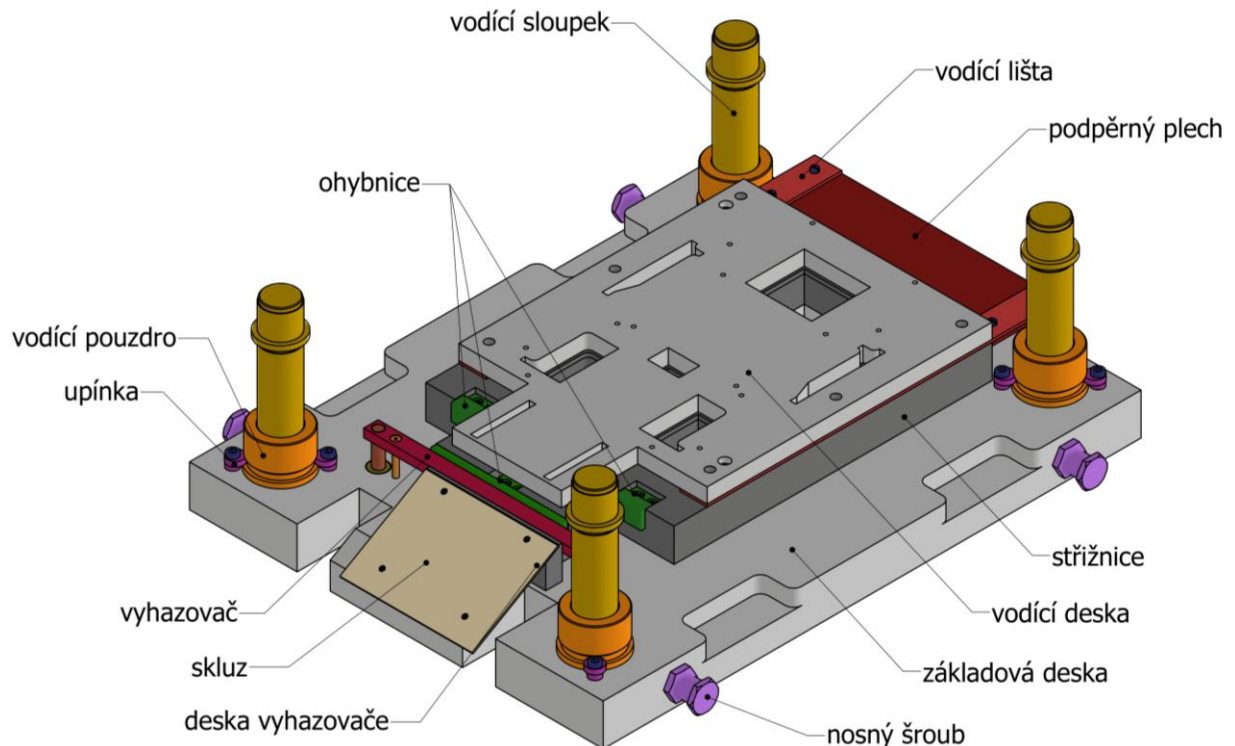
3.3 Návrh sduženého nástroje

Pro výrobu ochranného krytu v zadané sériovosti byl navržen postupový sdužený nástroj, ve kterém se kombinují střížné a ohýbací operace nutné ke zhotovení požadovaného tvaru součásti. Koncepce nástroje vychází z navrženého rozložení výstřížků na pásu a ze zvolené varianty posloupnosti jednotlivých operací. Zároveň byl brán zřetel na funkční a ekonomickou stránku konstrukce. Celý návrh nástroje byl realizován v CAD softwaru Autodesk Inventor Professional 2022. Některé z dílů, ze kterých se celý nástroj skládá, byly vybrány z katalogů dodavatelů či byl použit spojovací materiál a součásti normalizované dle norem ČSN a DIN. [42; 43]



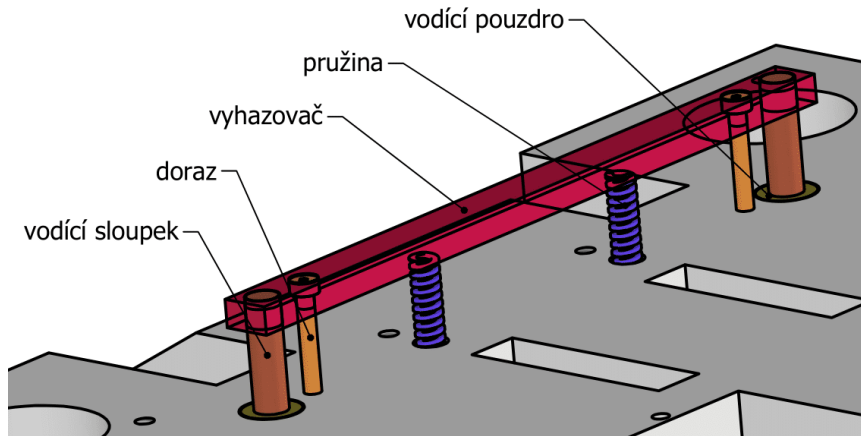
Obr. 45 Návrh postupového sdrúženého nástroje.

Jak je zřejmé z obr. 45, nástroj vychází z klasické koncepce lisovacích zařízení, která spočívá v rozdělení celku na horní a spodní část. Obě poloviny jsou vzájemně propojeny pomocí vodících sloupků zajišťujících pohyb a středění. Za účelem manipulace s nástrojem jsou obě části opatřeny nosnými šrouby. Výška sevřeného nástroje je 188 mm. Minimální bezpečný zdvih pro posuv pásu mezi jednotlivými kroky činí 56 mm. Aby mohl nástroj v lisu bezproblémově fungovat, je zapotřebí nástroj podložit. K tomu se užívají podkládací desky umísťované mezi základovou desku a stůl stroje. Výkres sestavy s hlavními rozměry nástroje a geometrie některých komponent je součástí výkresové přílohy práce.



Obr. 46 Spodní polovina nástroje.

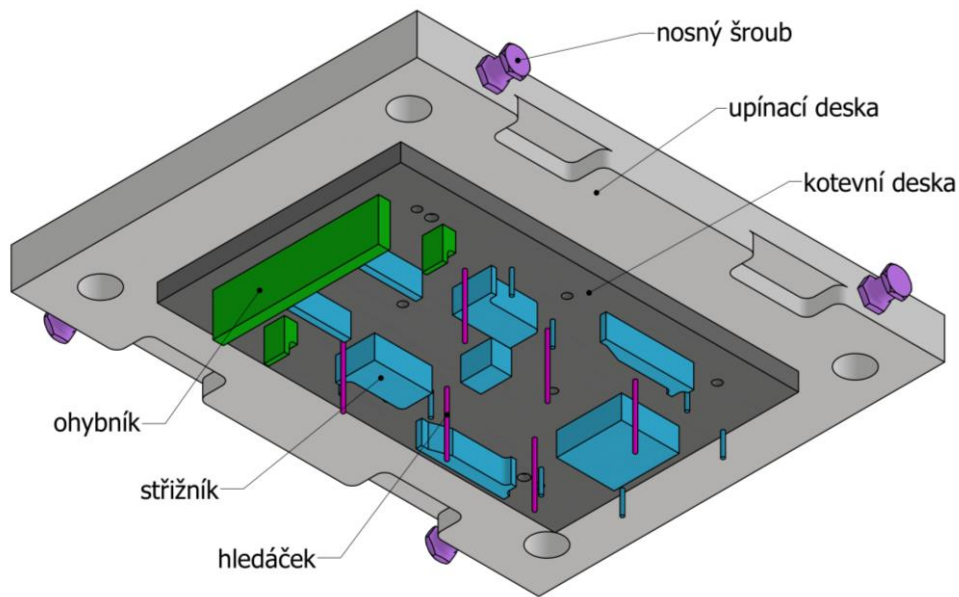
Spodní polovina nástroje je zobrazena na obr. 46. Pás plechu je zaveden mezi vodící lišty, zatímco mu oporu poskytuje podpěrný plech spojený s lištami pomocí šroubů a matic. Pás se v postupných krocích posouvá odvíjecím zařízením na celistvou střížnici, zatímco ho seshora zakrývá vodící deska sloužící ke zpřesnění vedení střížníků z horní části nástroje. Vodící deska, vodící lišty a střížnice jsou společně přišroubovány k základové desce pomocí šestice šroubů. K vystředění těchto komponent je použita dvojice kolíků. Na střížnici dále navazují ohybnice, jejichž upevnění ke střížnici je vždy provedeno pomocí dvou šroubů.



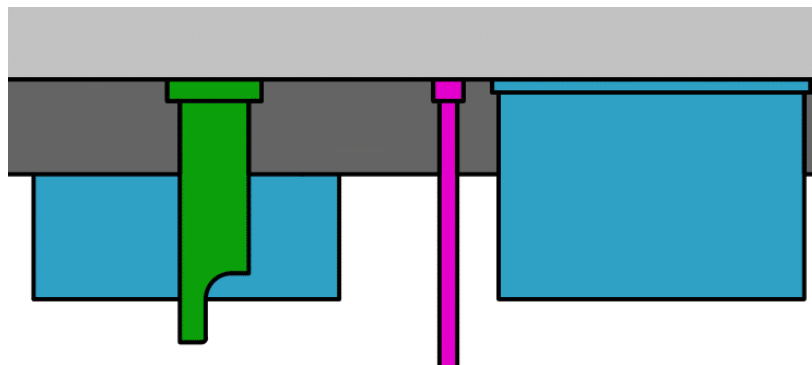
Obr. 47 Detail vyhazovače.

Za ohybnicemi následuje vyhazovač nutný ke zhotovení ohybu součásti nahoru – obr. 47. Vyhazovač se pohybuje na vodících sloupcích, které jsou v základové desce vedeny lepenými pouzdry. Zdvih vyhazovače zajišťují pružiny a vymezují dorazy. Všechny tři prvky zajišťující funkci vyhazovače jsou použity dvakrát a umístěny symetricky, čímž poskytují stabilnější pohyb. Toto vedení ještě doplňuje menší deska, ke které je šrouby uchycen skluz sloužící k odvodu hotových dílů. Ten je navíc přišroubován i ke zkosení základové desky. Protože se na bocích součásti nachází packy ohnuté dolů, jsou do základové desky vyfrézovány drážky, aby se díl mohl volně pohybovat. Již byly zmíněny čtyři vodící sloupky, které zajišťují vzájemný pohyb horní a spodní části nástroje. Tyto sloupky jsou v základové desce vedeny pouzdry upevněnými excentrickými upínkami a šrouby. Odpad vzniklý při děrování plechu propadá otvory ve střížnici a v základové desce do otvoru ve stole lisu. Uchycení celé spodní poloviny nástroje je prováděno pomocí upínek, k čemuž jsou do základové desky vyfrézovány vybrání.

Horní část nástroje ukazuje obr. 48. Nejdůležitější komponentou je zde upínací deska a k ní osmi šrouby upevněná deska kotevní. Vzájemné vystředění těchto dvou desek zajišťuje dvojice kolíků. Kotevní deska slouží k usazení funkčních nástrojů – střížníků a ohybníků – a také hledáček, díky nimž je realizovaný stříh přesnější. Toto upevnění je provedeno pomocí osazení (obr. 49). Vodící sloupky propojující horní a spodní polovinu nástroje jsou zalisované do upínací desky. Na této desce se také nacházejí vybrání k uchycení nástroje k beranu lisu pomocí upínek, přičemž k vystředění se uplatní stopka.



Obr. 48 Horní polovina nástroje.



Obr. 49 Detail upnutí funkčních nástrojů.

3.4 Volba tvářecího stroje

V okamžiku, kdy jsou známy všechny dílčí působící síly, lze jejich sumací určit celkovou tvářecí sílu. Podle této hodnoty se pak stanoví vhodný tvářecí stroj, který dokáže tuto sílu vyvinout. Zatímco výpočet dle (3.16) pracuje se silami, jež působí všechny ve stejný okamžik, ve skutečnosti tomu tak není. Vlivem rozdílné délky nástrojů v různých operacích je potřeba jednotlivé síly vyvinout v různých časových okamžicích. Skutečná tvářecí síla tak bude mít nižší hodnotu. Přesto se tento výpočet jeví jako vhodný, protože díky němu bude zajištěna rezerva ve výkonu stroje.

Celková tvářecí síla (3.16):

$$\begin{aligned}
 F_{tv} &= \sum_{i=1}^n F_i = F_{sc} + F_{st} + F_{vt} + F_{oc} + F_{pr} \\
 &= 705\,718 + 63\,515 + 21\,172 + 40\,416 + 456 = 831\,277 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

Obdobně se vypočte i celková tvářecí práce spotřebovaná při jednom zdvihu (3.17):

$$A_{tv} = \sum_{i=1}^n A_i = A_s + A_o + A_{pr} = +595,3 + 13,7 = 1\,879,2\,J \quad (3.16)$$

Na základě těchto vypočtených hodnot a vzhledem k jednoduché konstrukci nástroje, která umožňuje použít jednočinný lis, se jako vhodný tvářecí stroj jeví výstředníkový mechanický lis. Konkrétní zvolený lis nese označení PE160MA od výrobce Vaptech (obr. 50). [44]



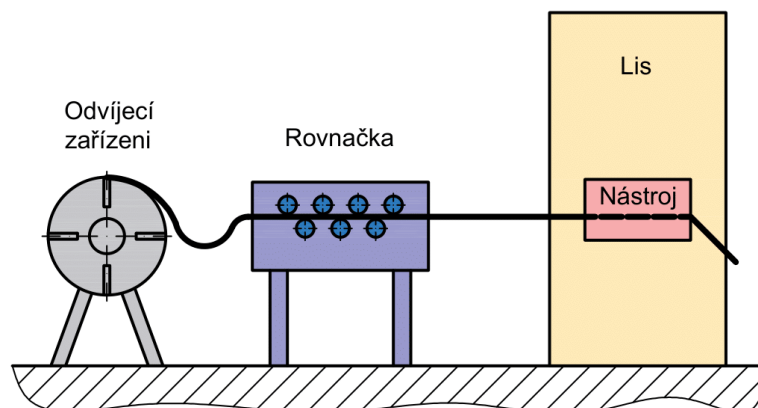
Obr. 50 Lis PE160MA [44].

Jmenovitá tvářecí síla lisu nabývá hodnoty 1 600 kN, která je téměř dvojnásobná oproti potřebné síle, tudíž poskytuje dostatečnou rezervu. Konstrukce lisu používá rám typu C. Pro bezpečnější provoz disponuje ochranou proti přetížení a může být vybaven různými prvky sloužícími k ochraně obsluhy. Díky stolu o rozměrech 1 300 x 780 mm a manuálně přestavitelnému zdvihu v intervalu 20 ÷ 180 mm poskytuje stroj dostatečný prostor pro upnutí nástroje. Ve stole lisu se nachází otvor o průměru 380 mm, přičemž tato velikost zajišťuje propadávání odpadu vzniklého při stříhání. Upínací otvor v beranu o průměru 65 mm s tolerancí H7 umožňuje upnutí nástroje pomocí stopky. Podstatné parametry lisu PE160MA shrnuje tab. 12. [44]

Tab. 12 Parametry lisu PE160MA [44].

jmenovitá tvářecí síla	[kN]	1 600
zdvih beranu	[mm]	110
přestavitelnost zdvihu	[mm]	20 ÷ 180
jmenovitý počet zdvihů	[min ⁻¹]	50
nastavitelný počet zdvihů	[min ⁻¹]	30 ÷ 65
sevření	[mm]	460
vyložení beranu	[mm]	400
rozměry stolu	[mm]	1 300 x 780
průměr otvoru ve stolu	[mm]	Ø380
rozměry beranu	[mm]	900 x 600
počet upínacích otvorů v beranu	[ks]	6
průměr upínacího otvoru v beranu	[mm]	Ø65H7
příkon elektromotoru	[kW]	15
rozměry stroje	[mm]	1 400 x 1 390 x 2 840
hmotnost stroje	[kg]	4 600

Jako polotovary pro výrobu dílu je použit svitek plechu, což vyvolává potřebu zařazení podávací linky před samotný tvářecí lis. Linka zajistí nejen samotné odvíjení plechu, ale také jeho rovnání a posun o požadovanou velikost výrobního kroku. K tomu účelu je zvolena automatická linka s označením ARPL od dodavatele Attl a spol. s. r. o. Přesný typ použité linky je RAL 500, který lze použít pro pásy s tloušťkou plechu 0,8 ÷ 3 mm až do šířky 500 mm. Přesnost podání pásu je $\pm 0,1$ mm. Schéma celé výrobní linky zobrazuje obr. 51. [45]



Obr. 51 Schéma výrobní linky [45].

ZÁVĚR

Řešený dílec je ochranný kryt pro lékařské zařízení, pro něž je plánována produkce v sérii 300 000 ks/rok. Tato součást má být vyráběna ze slitiny EN AW-3103, přičemž tento materiál splňuje funkční i technologické požadavky. Ke zhotovení dílu lze použít řadu různých technologií, díky své efektivnosti byla jako nejvhodnější zvolena výroba součásti v postupovém sdruženém nástroji, který kombinuje stříhání a ohýbání. Na tyto technologie se zaměřila literární studie vypracovaná v této práci. Jelikož se jedná o pohledovou součást, bude po zhotovení požadovaného tvaru díl dále lakován.

Posouzením technologičnosti dílce se zjistilo, že součást splňuje všechny obecné zásady nutné pro výroby technologiemi stříhání a ohýbání. Dále byla vypočtena rozvinutá délka dílu, která je 102,1 mm. Při návrhu uspořádání výstřižků na pásu plechu se nabízelo několik variant, přičemž ze srovnání podélného a příčného rozmístění vychází jako výhodnější to příčné, které disponuje využitím materiálu 40,1 %. Na základě zvoleného uspořádání byl vybrán polotovar, svitek plechu o šířce 234 mm. Následně byly navrženy tři varianty rozložení střižných a ohýbacích operací. Všechny možnosti pracovaly s výrobou součásti v pěti krocích. Jako nejvhodnější se zvolila varianta nástřihového plánu 3. Tato volba je zdůvodněna symetrií jednotlivých operací a rovnoměrným působením tvářecích sil.

Pro ověření zamýšleného konceptu výroby byly provedeny kontrolní výpočty. Dále byly pomocí technologických výpočtů stanoveny působící síly, přičemž celková tvářecí síla nabývá hodnoty 831,3 kN a celková tvářecí práce hodnoty 1 879,2 J. Na základě vypočtených sil bylo určeno působiště výsledné síly, aby do tohoto bodu mohla být umístěna stopka. Samotná konstrukce nástroje vychází ze zvolené varianty nástřihového plánu a předešlých výpočtů. Výkres sestavy nástroje a některých jeho součástí je obsažen ve výkresové dokumentaci práce. Vzhledem k rozměrům nástroje a požadované tvářecí síle a práci byl vybrán vhodný výrobní stroj, a sice výstředníkový mechanický lis PE160MA od firmy Vaptech. Svitek plechu bude rovnán a do lisu posouván automatickou linkou ARPL RAL 500 výrobce Attl a spol.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. 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.
2. Produkty: *HUAYI GROUP* [online]. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <http://cs.huayigroup.com/sheet-metal-fabrication/>
3. Aluminium Alloy: *aalco* [online]. [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-3103-H14-Sheet_298.ashx
4. 3103 Aluminium Alloy: *Smiths* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.smithmetal.com/3103.htm>
5. ŘASA, Jaroslav a Zuzana Kerečaninová. Akademie Tváření: Nekonenční metody obrábění [online]. [cit. 2022-11-28] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-8-dil>
6. Messer: *Laserové řezání* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/laserove-rezani>
7. KAŠPAR, Jan. Tepelné dělení materiálu kyslíkem [online]. 13.4.2011 [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/tepelne-deleni-materialu-kyslikem>
8. Procesní hlavy a optika Precitec: *LASCAM systems* [online]. [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.lascam.cz/procesni-hlavy-optika-2/>
9. Plazmové řezání: *Schinkmann s.r.o* [online]. 2021 [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>
10. Co je obloukové plazmové řezání: *Esab* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: https://esab.com/cz/eur_cs/esab-university/blogs/what-is-plasma-arc-cutting/
11. Eight Tips for Avoiding Common Plasma Cutting Mistakes: *FABTECH* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.fabtechexpo.com/blog/2021/10/06/eight-tips-for-avoiding-common-plasma-cutting-mistakes>
12. Řezání vodou: *řežeme vodou.cz* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.profimet.cz/hlinik/hlinikove-svitky>
13. Water cutting: *BTH Import Stal* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://bth.pl/en/services/water-cutting-cutting-steel-with-using-water-jet/>
14. Water Chillers for Water Jet Cutting Machine: *Water Chillers* [online]. [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.waterchiller.cn/waterjet-cutting-chillers/>
15. Děrovací nástroje: *Trumpf* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/servis/servis-strojni-systemy-a-lasery/nastroje/derovaci-nastroje/
16. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL, 1980, 216 s.
17. Vysekávání plechů: *Kavale* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://kavale.cz/vyroba/vysekavani-plechu/>
18. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd.* Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-718-3244-8.
19. Precision progressive metal stamping die design: *VorTool* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.vortool.com/progressive-tool-and-die-featuresT>
20. TATÍČEK, František a Roman DVOŘÁK. Akademie Tváření: Stříhání [online]. 17.5.2010 [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>

21. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
22. Technologie plošného tváření – stříhání: *Technická univerzita Liberec. Fakulta strojní: Katedra strojírenské technologie*. [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
23. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření I*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 978-80-7078-877-6.
24. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
25. HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2*. 2. upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 176 s. ISBN 80-718-3245-6.
26. Kolektiv autorů. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Vyd. 1. Praha, 1971.
27. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
28. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
29. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
30. ČSN 22 27340. *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1991, 16 s.
31. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2010. ISBN 978-80-227-3242-0.
32. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design: processes – machines – tools*. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.
33. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
34. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřetle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1977, 28 s.
35. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: Tvářecí stroje* [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
36. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015 [cit. 2023-02-17]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/16826>
37. Eccentric presses: *HESSE+CO Maschinenfabrik GmbH* [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.hesse-maschinen.com/en/products/eccentric-presses-55>
38. ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance. Nepředepsané mezní úchylnosti délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1992, 8 s.
39. Hliníkové pásy ve svitcích: *profimet s.r.o.* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.profimet.cz/hlinik/hlinikove-svitky>
40. Normálie Katalog 02/2023: *FIBRO* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.de.shop.fibro.com/cs>
41. VEČEŘA, Jaromír. *Výroba VESA držáku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139735>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

42. Normálie pro lisovací techniku: *Meusburger* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/zakaznici/die-making/products>
43. FIBRO [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.de.shop.fibro.com/cs>
44. Mechanical C-frame presses: *Vaptech* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://vaptech.bg/products/mechanical-c-frame-presses>
45. Produkty: *Attl a spo. s.r.o. Továrna na stroje* [online]. [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.attl.cz/produkty.html>
46. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II - plošné tváření: Návody do cvičení*. Vyd. 1. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1991. ISBN 80-214-0259-8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A_e	rozměr střížnice	[mm]
A_j	jmenovitý rozměr otvoru	[mm]
A_k	rozměr střížníku	[mm]
A_o	ohýbací práce	[J]
A_{pr}	práce ke stlačení pružin	[J]
A_s	střížná práce	[J]
A_{tv}	celková tvářecí práce	[J]
b	šířka pásu	[mm]
b_0	šířka materiálu	[mm]
c	koeficient střížné vůle	[-]
c_r	koeficient zahrnující vliv materiálu	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	velikost můstku	[mm]
f	velikost okraje	[mm]
F_k	kalibrační síla	[N]
$F_{o,U}$	ohýbací síla pro V-ohyb	[N]
$F_{o,V}$	ohýbací síla pro U-ohyb	[N]
F_p	síla přidržovače	[N]
F_{pr}	síla pro stlačení pružin	[N]
F_s	střížná síla	[N]
F_{sC}	celková střížná síla	[N]
F_{st}	stírací síla	[N]
F_{vt}	vytlačovací síla	[N]
H	minimální výška střížnice	[mm]
h_0	zdvih nástroje	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
K	tuhost pružiny	[N·mm ⁻¹]
k	délka kroku	[mm]
k_β	koeficient polohy neutrální vrstvy	[-]
k_{st}	koeficient stírání	[-]
k_{vt}	koeficient vytlačování	[-]
L	délka křivky stříhu	[mm]
L_{pr0}	délka nezatížené pružiny	[mm]
L_{pr}	délka zatížené pružiny	[mm]
L_{sv}	délka svitku	[mm]
l_C	délka polotovaru	[mm]
l_{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
l_o	délka oblouku	[mm]
l_u	vzdálenost opěr	[mm]
l_v	vzdálenost opěr	[mm]
n	koeficient otupení břitů	[-]
n_b	koeficient bezpečnosti	[-]
n_v	počet výstřížků	[-]
R	vnější poloměr ohybu	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v kluzu	[MPa]

Označení	Legenda	Jednotka
R_o	vnitřní poloměr ohybu	[mm]
$R_{o\max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{o\min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
S_{pol}	plocha polotovaru	[mm ²]
S_{st}	průřez střížníku v místě upnutí	[mm ²]
S_{sv}	plocha svitku	[mm ²]
S_v	plocha jednoho výstřížku včetně otvorů	[mm ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
s_1	tloušťka materiálu po deformaci	[mm]
V_{sv}	objem svitku	[mm ³]
v	střížná vůle	[mm]
v_o	ohýbací vůle	[mm]
X	poloha působíště výsledné síly	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální vrstvy	[-]
x_i	poloha působíště jednotlivé síly	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
z_r	koefficient rozšíření	[-]
z_z	koefficient ztenčení	[-]
α	úhel ohybu	[°]
β_U	odpružení pro ohyb do U	[°]
β_V	odpružení pro ohyb do V	[°]
Δ	tolerance otvoru	[mm]
δ_e	výrobní tolerance střížnice	[mm]
δ_k	výrobní tolerance střížníku	[mm]
ε	poměrné přetvoření	[-]
κ	součinitel zaplnění diagramu	[-]
λ	součinitel zaplnění diagramu	[-]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
σ_1	hlavní napětí	[MPa]
σ_{ot}	napětí ve střížníku	[MPa]
τ_s	mez pevnosti ve stříhu	[MPa]
ψ	součinitel zaplnění diagramu	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

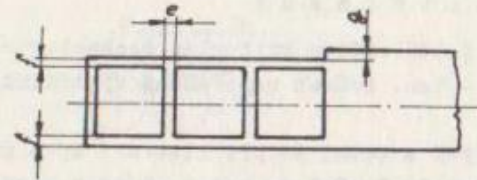
Příloha 1	Velikost můstku a bočního odpadu [46]
Příloha 2	Tolerance funkčních rozměrů střížníků a střížnic [34]
Příloha 3	Parametry pružiny Fibro 241.14.10.064 [40]

SEZNAM VÝKRESŮ

Ochranný kryt	2023-DP-208674-00
Sdružený nástroj	2023-DP-208674-SES
Kusovník	2023-DP-208674-KUS
Střížnice	2023-DP-208674-04
Ohybnice pro ohyb nahoru	2023-DP-208674-09
Ohybník pro ohyb dolů	2023-DP-208674-10
Střížník vnitřní tvarový	2023-DP-208674-12

Příloha 1
Velikost můstku a bočního odpadu [46]

Tab. 17



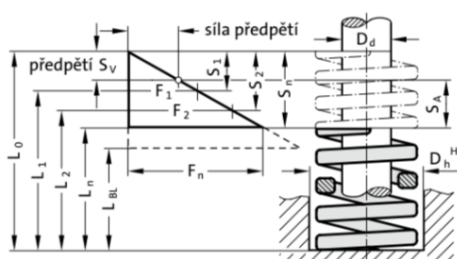
Tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15 - 50		50-100		100 -200		200 -300		300 -#00	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1-0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	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	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Příloha 2

Tolerance funkčních rozměrů střížníků a střížnic [34]

Tolerance součástky TS		Připustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice – TE	Střížniku – TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,016
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140

SPECIÁLNÍ ŠROUBOVÁ TLAČNÁ PRUŽINA, SF, IDENTIFIKAČNÍ BARVA "ZELENÁ", DIN ISO 10243



- D_h = průměr otvoru
- D_d = průměr trnu
- L_0 = délka nezatížené pružiny
- $L_1...L_n$ = délky zatížené pružiny, přiřazené síle pružiny $F_1...F_n$
- L_{BL} = délka 100 % stlačené pružiny
- $F_1...F_n$ = síla pružiny v N přiřazené k délkám pružiny $L_1...L_n$
- $S_{V1}...S_{V7}$ = mín. předpětí pružiny přiřazené k délce pružiny $S_1...S_7$
- $S_1...S_n$ = zdvihy pružiny přiřazené k síle pružiny $F_1...F_n$
- R = tuhost pružiny v N/mm
- $S_{A1}...S_{A7}$ = pracovní zdvih pružiny

241.14. Speciální šroubová tlačná pružina, SF, identifikační barva "zelená", DIN ISO 10243

Objednací číslo	D_h	D_d	L_0	R	45%			62%			80%			100%				
					S_1	S_{V1}	S_{A1}	F_1	S_2	S_{V2}	S_{A2}	F_2	S_3	S_{V3}	S_{A3}	F_3	S_n	F_n
241.14.10.025	10	5	25	11	5,6	1,6	4	62	7,8	3,8	4	85	10	7,2	2,8	110	12,5	138
241.14.10.032	10	5	32	8,5	7,2	2,1	5,1	61	9,9	4,8	5,1	84	12,8	9,3	3,5	109	16	136
241.14.10.038	10	5	38	6,8	8,6	2,5	6,1	58	11,8	5,7	6,1	80	15,2	11	4,2	103	19	129
241.14.10.044	10	5	44	6	9,9	2,9	7	59	13,6	6,6	7	82	17,6	12,8	4,8	106	22	132
241.14.10.051	10	5	51	5	11,5	3,3	8,2	57	15,8	7,6	8,2	79	20,4	14,8	5,6	102	25,5	128
241.14.10.064	10	5	64	4,1	14,4	4,2	10,2	59	19,8	9,6	10,2	81	25,6	18,6	7	105	32	131
241.14.10.076	10	5	76	3,6	17,1	4,9	12,2	62	23,6	11,4	12,2	85	30,4	22	8,4	109	38	137
241.14.10.305	10	5	305	0,9	68,6	19,8	48,8	62	94,6	45,8	48,8	85	122	88,4	33,6	110	152,5	137
241.14.13.025	12	6	25	21	5,6	1,6	4	118	7,8	3,8	4	163	10	7,2	2,8	210	12,5	262
241.14.13.032	12	6	32	16,4	7,2	2,1	5,1	118	9,9	4,8	5,1	163	12,8	9,3	3,5	210	16	262
241.14.13.038	12	6	38	13,6	8,6	2,5	6,1	116	11,8	5,7	6,1	160	15,2	11	4,2	207	19	258
241.14.13.044	12	6	44	12,1	9,9	2,9	7	120	13,6	6,6	7	165	17,6	12,8	4,8	213	22	266