



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY PLECHU TV DRŽÁKU

PRODUCTION OF A PART OF THE TV BRACKET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Vodák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Marek Vodák
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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:

Návrh výroby plechu TV držáku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby části držáku televize z oceli. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost plechu,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metallurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 s. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

VODÁK Marek: Návrh výroby plechu TV držáku.

Diplomová práce je zaměřena na návrh technologie výroby plechu TV držáku. Díl je vyroben z ocelového plechu o tloušťce 2,5 mm. Jako nejvhodnější materiál byla zvolena konstrukční ocel S235JR s následnou povrchovou úpravou práškovým lakováním. Z variantního řešení byla jako nejefektivnější s ohledem na výrobní požadavky a velikost série 30 000 kusů ročně zvolena výroba ve sdruženém postupovém nástroji. V navrženém nástroji bude součást vyrobena v sedmi krocích a celková potřebná síla je 1013 kN. Výroba bude probíhat na mechanickém lisu PCK12 od firmy Bliss-Bret s maximální silou 1250 kN. Výsledná cena dílu je 39,4 Kč.

Klíčová slova: ocel S235JR, plošné tváření, stříhání, ohýbání, postupový sdružený nástroj

ABSTRACT

VODÁK Marek: Production of a part of the TV bracket.

This master's thesis is focused on the design of the technology to produce a part of the TV bracket. The part is made of steel sheet with a thickness of 2.5 mm. The structural steel S235JR was chosen as the most suitable material with following powder coating. From the possible variants, the production by progressive forming tool was chosen with respect to production requirements and a series size of 30 000 pieces by year. The part will be made in seven steps in designed tool and the total required force is 1013 kN. The production will take place on a mechanical press PCK12 from Bliss-Bret with a maximum force of 1250 kN. The final price of the part is 39.4 Kč.

Keywords: S235JR steel, sheet metal forming, shearing, bending, progressive forming tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VODÁK, Marek. *Návrh výroby plechu TV držáku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124963>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24.6.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu během studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

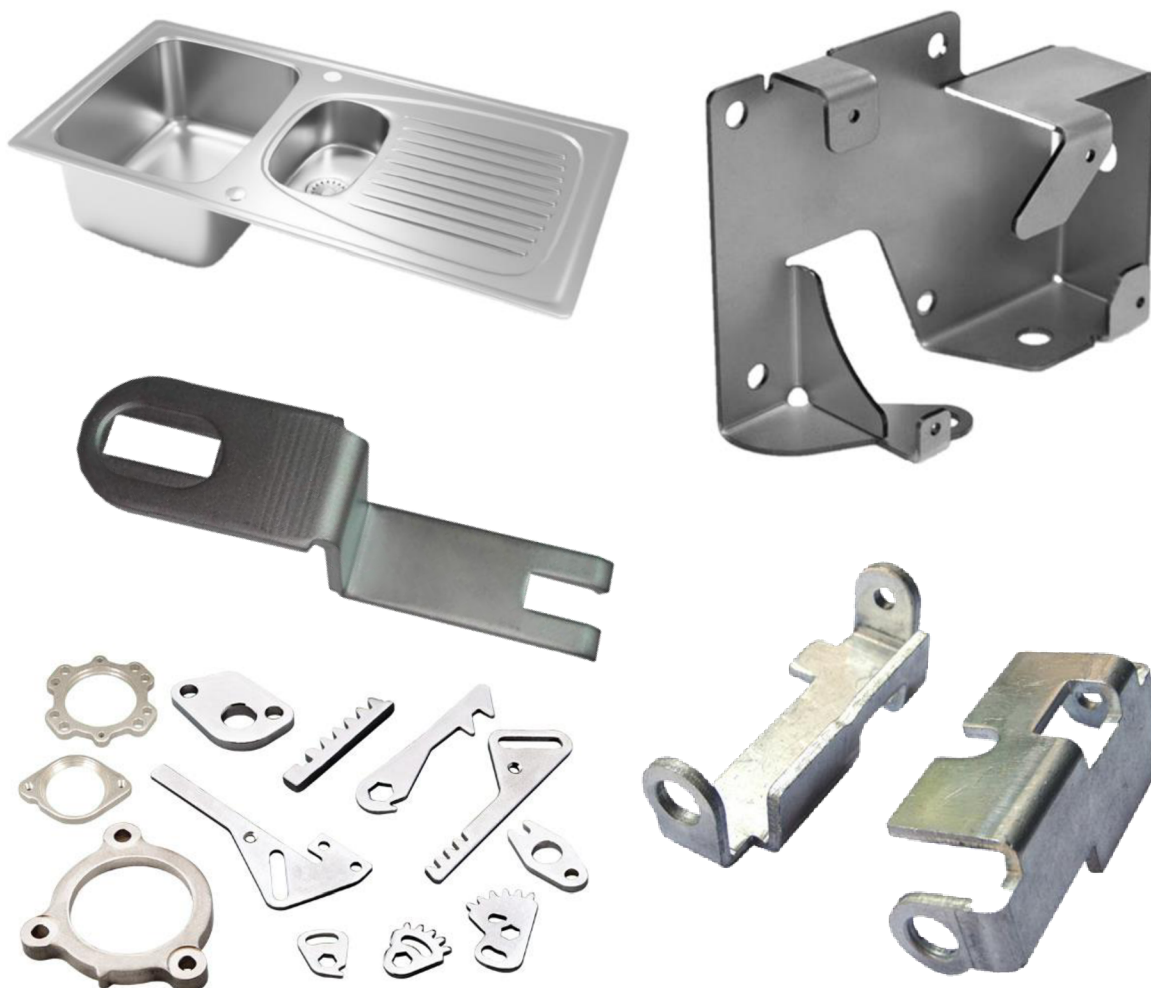
	Str.
ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Možné technologie výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	13
2.1 Stříhání	13
2.1.1 Rozmístění výstřížků	16
2.2 Ohýbání	17
2.3 Síly a práce	20
2.3.1 Těžiště sil	21
2.4 Nástroje	23
2.4.1 Střížné nástroje	25
2.4.2 Ohýbací nástroje	29
2.5 Stroje	31
2.6 Technologičnost	32
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	34
3.1 Rozvinutý tvar	35
3.2 Umístění výstřížků	37
3.3 Výchozí polotovar	38
3.4 Postup výroby	41
3.5 Odpružení	43
3.6 Síly a práce	45
3.6.1 Těžiště sil	49
3.7 Konstrukční řešení nástroje	50
3.7.1 Návrh funkčních částí	55
3.8 Volba tvářecího stroje	57
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	59
5 ZÁVĚRY	61
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

Strojírenství se zabývá návrhem a výrobou strojů, různých zařízení, dílů a dalších výrobků. Velký důraz je kladen na hospodárnost a snahu o co nejefektivnější výrobu. Uplatňují se zde čtyři základní technologie, a to slévárství, obrábění, svařování a tváření.

Tváření patří mezi vysoce produktivní a jednu z nejhospodárnějších technologií výroby z důvodu úspory materiálu, tedy malému procentu odpadu a také kvůli menší energetické náročnosti jednotlivých procesů. Podstatou je plastická deformace, tzn. je nutné překročit mez kluzu materiálu, a polotovár je tak trvale deformován bez porušení působením vnějších sil. Lze ho rozdělit na objemové a plošné tváření nebo podle teploty, za které probíhá výrobní proces, na tváření za tepla, poloohřevu nebo za studena.

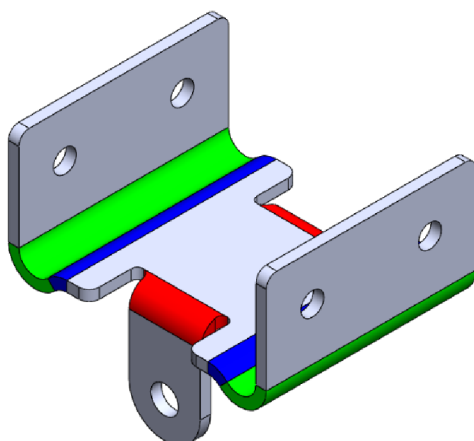
V dnešní době je velmi významné zpracování plechových polotovarů, pro které se využívají technologie plošného tváření. Při nich nedochází k výrazné změně tloušťky materiálu a deformace převládají pouze ve dvou směrech. Jedná se o technologie tažení, ohýbání, rovnání a stříhání, které probíhají nejčastěji za studena. Příklady různých výrobků zhotovených pomocí plošného tváření jsou např. kuchyňský dřez nebo různé ohýbané a vystřížené součásti (obr. 1).



Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením [4, 5, 6, 7, 8]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Vyráběnou součástí je plech (obr. 2) pro televizní držák na zeď (obr. 3). Jedná se o hlavní kloub, který je upevněný na nosném ramenu, kolem kterého může rotovat o 180° . Zároveň je na něm uchycen plech s otvory pro umístění televize, který lze naklánět v rozsahu $\pm 15^\circ$. Jednotlivé díly jsou spojeny pomocí šroubů a matic. Vyrobená součástka musí splňovat pevnostní vlastnosti, aby nedošlo k uvolnění televize a jejímu poškození a především ke zranění osob. Výrobní série daného dílu činí 30 000 kusů ročně.

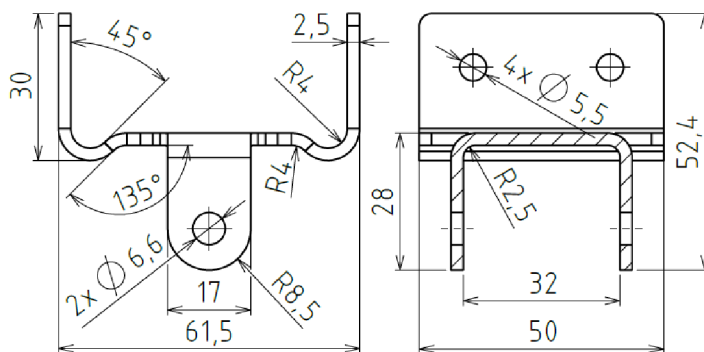


Obr. 2 3D model vyráběné součásti



Obr. 3 TV držák [13]

Součástka je prostorového tvaru (obr. 2) a je vyrobena z 2,5 mm tlustého ocelového plechu. Je tvořena šesti ohyby, přičemž vždy dva jsou stejné. Hlavní rozměry (obr. 4) jsou dány výkresem součásti (číslo výkresu: 2020_DP_182815_1). U prvních dvou ohybů, označených červenou barvou (obr. 2), je poloměr ohybu 2,5 mm, jejich úhel je 90° a délka 28 mm. V každém ramenu o šířce 17 mm je vytvořen otvor o průměru 6,6 mm, který je soustředný se zaoblením ramena o poloměru 8,5 mm. Druhé dva ohyby, znázorněné modrou barvou, mají poloměr 4 mm a úhel ohybu 135° . Třetí vytvořené ohyby, označené zelenou barvou, jsou o poloměru 4 mm, úhlu 45° a délce 30 mm. V každém takto vzniklém ramenu jsou dva otvory o průměru 5,5 mm s roztečí 28 mm.



Obr. 4 Rozměry vyráběné součástky

Pro výrobu součásti je nutné správně zvolit její materiál tak, aby byly dodrženy veškeré pevnostní a technologické podmínky. Vyráběná součást má malé rozměry s relativně velkou tloušťkou stěny a její zatížení nebude příliš velké. Zároveň se nepožaduje zvýšená korozní odolnost vzhledem k umístění uvnitř budov a následné povrchové úpravě, a tak lze jako výchozí materiál zvolit konstrukční materiál, který je levný a velice dobře dostupný. Jako nejvhodnější se jeví základní konstrukční ocel S235JR dle EN 10025-2:2004. Její číslo je 1.0038 a ekvivalentem je ocel 11 375. Jedná se o konstrukční jakostní nelegovanou ocel určenou pro svařované, šroubované a nýťované konstrukce nebo na součásti energetických a tepelných zařízení. Je vhodná ke svařování a plechové polotovary lze dobře tvářet. Není určena pro tepelné zpracování kromě žhání k odstranění vnitřního pnutí a normalizačního žhání u ocelí s označením +N. Má zaručenou minimální mez kluzu, hodnotu nárazové práce

pro teplotu 20 °C a maximální obsah některých prvků. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli (tab. 1) je dáno materiálovým listem v příloze 1.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S235JR [14].

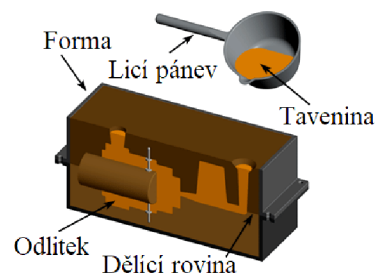
Mechanické vlastnosti									
Mez kluzu R_e [MPa]		Mez pevnosti R_m [MPa]				Tažnost A_5 [%]			
306		393				32,9			
Chemické složení									
Prvek	C	Mn	Si	S	P	N	Al	Cu	Mo
Obsah [%]	0,08	0,75	0,008	0,005	0,012	0,008	0,035	0,02	0,002

Vyrobená součást bude opatřena povrchovou úpravou v podobě práškového lakování. Jedním důvodem je estetický dojem, druhým je zvýšení odolnosti proti korozi způsobené atmosférickou vlhkostí. Technologie práškového lakování je moderní a velmi používaný způsob povrchové úpravy výrobku. Spočívá v nanesení barevného prášku na očištěný a odmaštěný povrch součásti pomocí statické elektřiny. Následně dojde v peci při teplotě asi 140 ÷ 200 °C k roztavení vrstvy prášku, jeho vytvrzení a přilnutí k povrchu. Velkou výhodou je sortiment různých barev a textury konečných povrchů a absence rozpouštědel.

1.1 Možné technologie výroby [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]

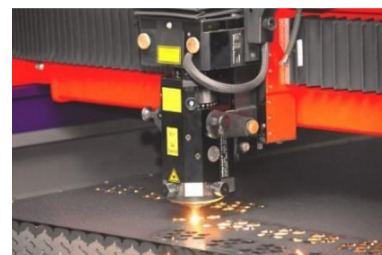
Vyráběný díl lze zhotovit různými postupy výroby. Při volbě správné technologie je nutné brát ohled na splnění rozměrových požadavků. Dále je stále více potřeba volit technologie podle jejich ekonomičnosti, hospodárnosti a ekologičnosti. Musí se také zohlednit doba výrobního cyklu a velikost produkované série. Mezi možné způsoby výroby patří:

- Odlévání – spočívá v nalití taveniny příslušného kovu do dutiny formy, která má požadovaný tvar odlitku (obr. 5). Výhodou této technologie je malé procento odpadu, kdy je třeba pouze množství materiálu odpovídající velikosti součástky a vtokové soustavy, kterou ale lze recyklovat. Nevýhodou je nutnost úkosovat všechny plochy kolmé k dělicí rovině a vytvořit otvory na součásti až po odlití obráběním. Pro zvolený materiál je problémem jeho malá zabíhavost omezující minimální tloušťku stěny odlitku a velká teplotní roztažnost, která může způsobovat vznik trhlin. Po ztuhnutí je také kov zpravidla velmi křehký a je třeba jej tepelně zpracovat.



Obr. 5 Princip odlévání [17]

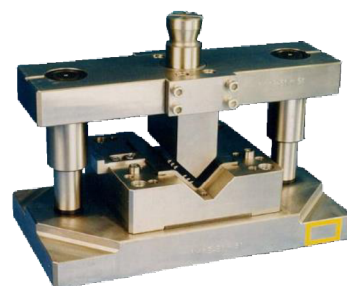
- Řezání laserem a ohyb v nástroji – řezání materiálu pomocí laserového paprsku (obr. 6) spočívá v zaostření úzkého paprsku stimulovaného světla na velmi malou plochu, čímž dojde k velmi rychlému natavení materiálu a jeho odstranění proudem plynu. Pro zvolený materiál o tloušťce 2,5 mm je tato technologie vhodná. Velkou výhodou je možnost vytváření komplikovaných tvarů, rozměrová přesnost a rychlost. Nevýhodou tohoto řešení je spotřeba řezného plynu, vysoká cena zařízení a provozu a také jeho bezpečnost. Pomocí laseru by se vyřezal rozvinutý tvar součásti z plechu a k následnému vytvoření jednotlivých ohybů by došlo v nástroji (obr. 7), ve kterém by působením dvou pracovních částí, ohybníku a ohybnice,



Obr. 6 Řezání laserem [20]

došlo k vytvoření prostorového tvaru. Vzhledem k počtu ohybů a jejich komplikovanosti by musely být vytvořeny ve více nástrojích, do kterých by bylo nutné každý díl ručně založit, což je při sérii 30 000 kusů velmi nevýhodné.

- Vysekávání a ohyb v nástroji – vysekávání na vysekávacích automatech (obr. 8) představuje velmi produktivní metodu pro získání výstřížků z plechů. Jeho obrys vzniká postupně vystřihováním jednoduchých tvarů pomocí univerzálních nástrojů tvořených razníkem a matricí, které postupně vytváří konturu součásti. Touto technologií lze dosáhnout potřebné přesnosti u zvoleného materiálu. Jejimi výhodami jsou především nižší náklady na pořízení a provoz vysekávacího automatu, cena nástrojů a jednoduchost obsluhy. Nevýhodou je, že s komplikovanějšími tvary součástí roste čas potřebný k jejich vysekání a stroj je limitován počtem nástrojů v zásobníku. Po vysekání jednotlivých dílů dojde k jejich ohybu opět v nástroji (obr. 7). Pro zhotovení zadané součásti je ale hlavní nevýhoda stejná jako v případě použití laseru, a to nutnost s každým dílem ručně manipulovat mezi jednotlivými ohýbacími operacemi.
- Stříhání a ohýbání v nástroji – představuje kombinaci dvou nástrojů, ve kterých je součást vyrobena. Jedná se o postupový střížný nástroj (obr. 9), ve kterém je na několik kroků vytvořen obrys součásti, a ohýbací nástroj (obr. 7), kde by došlo k vytvoření jednotlivých ramen. Výhodou tohoto řešení je produktivita střížného nástroje, dostatečná přesnost a materiál součásti vhodný pro stříhání. Nevýhodou je při sériovosti 30 000 kusů nutnost manipulace s výstřížky mezi jednotlivými nástroji, stejně jako v předchozích případech.
- Stříhání a ohýbání v postupovém sruženém nástroji – spojuje střížný a ohýbací proces do jednoho nástroje (obr. 10), ve kterém je zadaná součást vyrobena v několika krocích. Výhodami je tedy vysoká produktivita a nízký výrobní čas jedné součástky. Také je výhodné, že výroba probíhá pouze na jednom stroji, který ale musí disponovat dostatečnou tvářecí silou. Nevýhodou jsou vysoké náklady na výrobu nástroje, které ale pro velké výrobní série cenu výrobku výrazně nezvyšují.



Obr. 7 Ohýbací nástroj [21]



Obr. 8 Vysekávací automat [22]



Obr. 9 Postupový střížný nástroj [25]



Obr. 10 Postupový sružený nástroj [24]

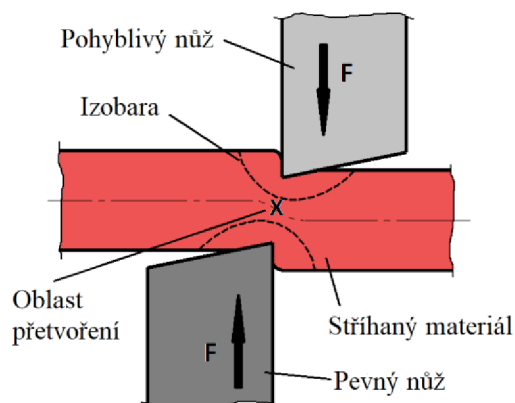
Z možných způsobů výroby byla jako nejvýhodnější zvolena výroba stříháním a ohýbáním pomocí sruženého postupového nástroje, která se s ohledem na tvar a rozměry součástí a velikost série jeví jako nejvhodnější. Kompletní výroba dílu probíhá pouze v jednom stroji a nástroji. Na vybrané technologie bude zaměřena jak teoretická, tak i praktická část práce.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [2], [26], [27]

Jako nejvýhodnější technologie výroby zadané součásti byla zvolena kombinace stříhání a ohýbání v postupovém sdrúženém nástroji. Stříhání je vysoce produktivní metodou dělení materiálu, spočívající v zatížení polotovaru takovým napětím, při kterém dojde ke vzniku a šíření trhlin a následnému oddělení materiálu. Proto je v praxi velice rozšířená a lze se s ní setkat při výrobě většiny dílů, především z plechových polotovarů. Následný ohyb výstřížku spočívá ve vytvoření trvalé deformace pomocí dvojice sil nebo momentů tak, že dojde ke změně křivosti polotovaru. Technologie ohýbání je také velmi rozšířená, především při zpracování plechů.

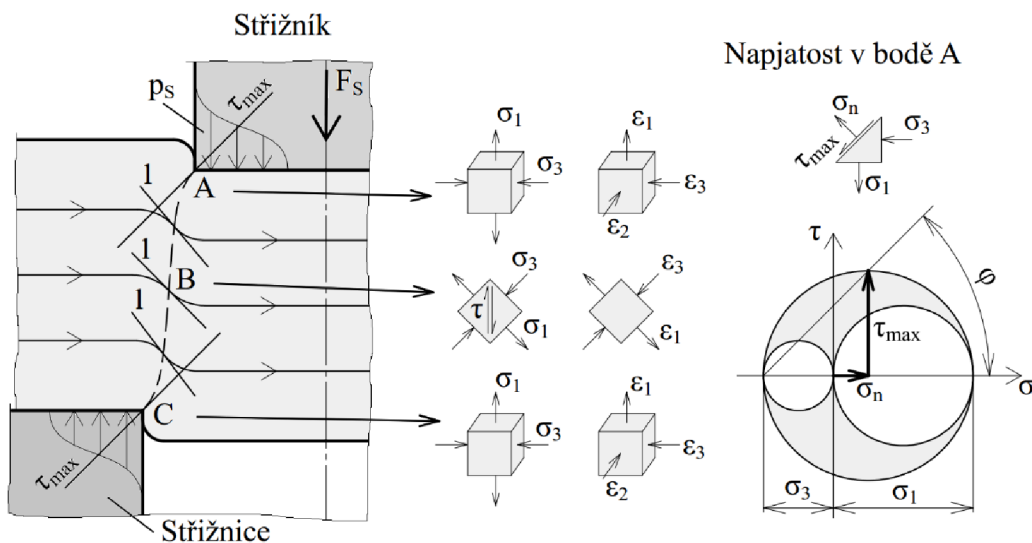
2.1 Stříhání [1], [26], [27], [28], [29], [30]

Stříhání je jednou ze základních metod dělení materiálu. Představuje tak jedinou tvářecí operaci, kde je cílem vyvolat porušení. K tomu dochází v tzv. střížné rovině, ve které působí smyková napětí vyvolaná dvěma břity nožů. Jejich působením dochází ke zvyšování tlaku v materiálu, který se šíří od místa jejich vniku podél ploch, tzv. izobara (obr. 11), a tím i k přetvoření materiálu v oblasti bodu X.



Obr. 11 Schéma stříhu [26]

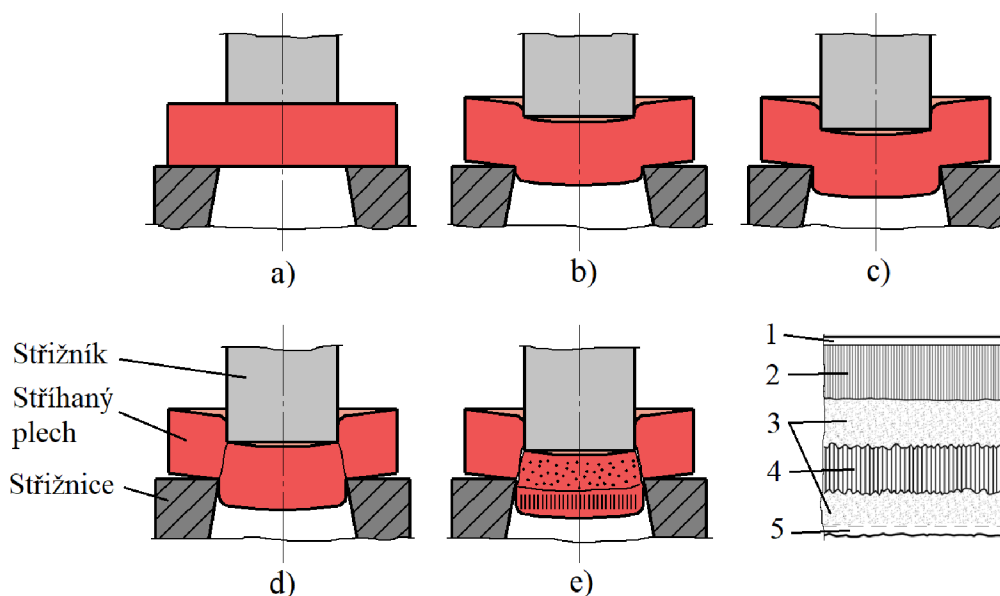
Při uzavřeném stříhání, kdy obrys nástroje tvoří uzavřenou křivku, dochází ke vtahování materiálu mezi břity. Tím se výrazně mění křivost jednotlivých vláken (obr. 12) znázorněných vrstevnicemi a dochází k jejich výraznému protahování a ke zmenšování tloušťky materiálu mezi střížnými noži. Právě změna křivosti podélných vláken má za následek natačení souřadného systému hlavních napětí σ_1 a σ_3 po tloušťce. Ke vzniku trhliny dochází ve směru maximálních smykových napětí, který je od hlavních os skloněn pod úhlem 45° . Tímto lze vysvětlit výsledný tvar střížné plochy ve tvaru 'S' křivky, který odpovídá směru jejich natočení.



Obr. 12 Schéma napjatosti a deformace při uzavřeném stříhání [1]

Stav napjatosti a deformace se po tloušťce mění. V bodě A (obr. 12), tedy těsně u hrany střížníku, je největší hlavní napětí σ_1 tahové a má směr totožný se směrem pohybu nástroje. Hlavní napětí σ_3 je tlakové. Působí kolmo na pohyb nože a jeho velikost je přibližně rovna polovině σ_1 . Třetí hlavní napětí σ_2 je při stříhání nulové. To znamená, že v tomto místě lze uvažovat rovinnou napjatost. Protože mají σ_1 a σ_3 rozdílnou hodnotu, je střední napětí σ_s nenulové. Tím je i složka deviátoru napětí D_{σ_2} nenulová a v bodě A tak nastává prostorový stav deformace. Jejich rozdílná velikost také způsobuje, že kromě maximálního smykového napětí je zde i normálové tahové napětí, jak je zobrazeno pomocí Mohrovy kružnice (obr. 12). To napomáhá šíření trhlin v materiálu, které svým působením rozevívá. Tento stav napjatosti a deformace odpovídá také bodu C, ve kterém je rozložení jednotlivých napětí stejné.

Spolu s tím, jak se mění směr hlavních napětí dochází i ke změně poměru jejich velikostí. Jejich hodnota se postupně srovnává a právě uprostřed vzdálenosti mezi nástroji, tedy v bodě B, jsou absolutní hodnoty napětí σ_1 a σ_3 stejné. Napětí σ_2 se stále uvažuje nulové a nastává zde rovinný stav napjatosti, přičemž jsou splněny podmínky prostého smyku. Deformační schéma je v tomto bodě také rovinné kvůli tomu, že napětí σ_2 a složka deviátoru napjatosti D_{σ_2} jsou nulové.



Obr. 13 Fáze stříhání [1]

Při zvyšování napětí v materiálu pohybem nožů a dosažení jeho kritických hodnot dochází ke vzniku a šíření trhlin až do okamžiku odtržení. Celkově lze proces stříhání rozdělit do tří fází, někdy se uvádí čtyři:

- První fáze – začíná po dosednutí střížníku na polotovár (obr. 13a). Při dalším pohybu nástroje dochází ke vnikání do materiálu a vzniku pružné deformace (obr. 13b). Maximální hloubka vniknutí nástroje v této fázi závisí na vlastnostech materiálu a obecně dosahuje hodnoty $5 \div 8 \%$ tloušťky plechu. Vlivem působících sil a střížné mezery zde dochází k prohnutí polotovaru. Na výsledné střížné ploše se tato fáze projeví jako tzv. pásmo zaoblení hrany plechu, které je označeno jako oblast 1 (obr. 13). Lze zde vidět také oblast 5, tzv. ostrinu nebo otřep, který vzniká otláčením spodního břitu. Jeho velikost lze odhadnout v závislosti na tloušťce a vlastnostech stříhaného materiálu.
- Druhá fáze (obr. 13c) – se vyznačuje tím, že napětí překoná mez kluzu a dochází k plastické deformaci, tzv. plastickému stříhu. Maximální hloubka vniknutí nástroje v této fázi je přibližně $10 \div 25 \%$ tloušťky materiálu podle jeho druhu a mechanických

vlastností. U vysoce houževnatých materiálu může ale dosahovat hodnoty až 60 %. Na konci je dosaženo největší potřebné síly, která s dalším pohybem nástroje rychle klesá. Plocha, která vzniká během této fáze, tzv. pásmo plastického stříhu, představuje nejkvalitnější část střížné plochy. Je hladká, lesklá a kolmá a je označena oblastí 2 (obr. 13).

- Třetí fáze – během ní napětí dosáhne meze pevnosti ve stříhu pro daný materiál. Na začátku vznikne tzv. nástřih (obr. 13d), kdy vznikají jednotlivé trhlinky v polotovaru, které následně velmi rychle rostou vlivem působícího tahového napětí až se spojí a dojde k odtržení výstřížku (obr. 13e). Lomová plocha (pásmo lomu) má tvar 'S' křivky a charakteristický matný a drsný povrch. Tuto část představuje oblast 3 a její velikost může být až 80 % tloušťky materiálu v závislosti na velikostech ostatních oblastí.
- Čtvrtá fáze – která se ne vždy uvádí, představuje protlačení dílu ze zbytku materiálu. Přitom dochází k oěru pásem lomu výstřížku a původního polotovaru. Pásmo oěru je označeno oblastí 4 (obr. 13) a jeho velikost se výrazně zvětšuje při nevhodně zvolené střížné vůli.

Na kvalitu střížné plochy má velký vliv velikost střížné mezery 'z', resp. střížné vůle 'v', která je při uzavřeném stříhání jejím dvojnásobkem. Pokud je její velikost optimální (obr. 14b), trhlinky, které se šíří od hran nožů, se potkají a vzniklá plocha má daleko lepší kvalitu. Při malé střížné mezeře (obr. 14a) se lomová plocha neprotne a při odtržení součásti vzniká na střížné ploše zátrh, tedy jakýsi zub. Naopak při velké hodnotě (obr. 14c) se trhliny šíří od jednoho břítu k druhému, ale neprotnou se. Optimální velikost střížné mezery pro plechy do tloušťky 3 mm lze určit výpočtem:

$$z = c \cdot t_0 \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

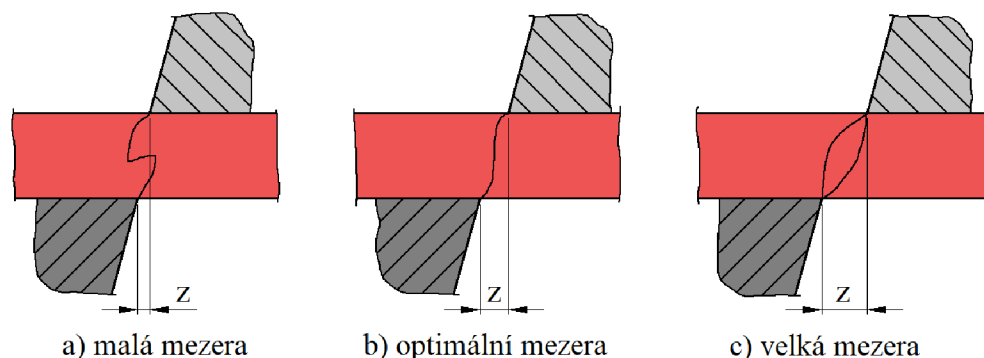
kde: c – součinitel vlivu na kvalitu plochy [-]; obvykle $c = 0,005 \div 0,035$. Menší hodnota součinitele vede k lepší střížné ploše, vyšší snižuje střížnou sílu,

t_0 – tloušťka materiálu [mm],

τ_s – střížný odpor materiálu [MPa], spočítá se rovnicí:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]}, \quad (2.2)$$

kde: R_m – mez pevnosti [MPa].



Obr. 14 Vliv střížné mezery [27]

Orientační hodnoty lze pro různé materiály určit podle tabulek, kde je střížná mezera určena procenty tloušťky materiálu. Pro středně tvrdou ocel se doporučuje rozmezí $z = (0,06 \div 0,08) \cdot t_0$.

Na střížné ploše, vlivem velkého trvalého přetvoření, dochází k lokálnímu zpevňování materiálu, které se projevuje vyšší pevností a tvrdostí povrchu a sníženou plasticitou. Tato oblast se projevuje až do vzdálenosti 20 ÷ 30 % tloušťky polotovaru od střížné plochy.

Negativní důsledek zpevnění se projeví například během ohybu vystřižené součásti, kdy vznikají na této ploše trhlinky. Odstranit ho lze buď pomocí tepelného zpracování, žíhání, nebo obrobením střížné plochy.

2.1.1 Rozmístění výstřížků [26], [29], [31]

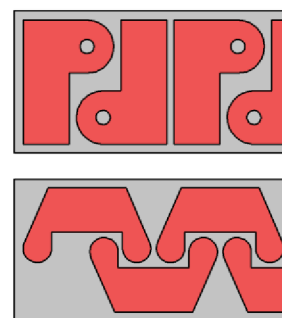
Při postupovém stříhání se jako výchozí materiál nejčastěji používají pásy plechu. Mohou být navinuté ve svitku nebo nastříhané z tabulí o potřebné šířce. Na pásy se výstřížek umísťuje podle několika hledisek. Nejvíce používaným je podle úspory materiálu tak, aby byl odpad co nejmenší. Zde je důležité znát využití, které se počítá rovnicí:

$$\eta = \frac{S_{vys}}{S_{pol}} \cdot 100 [\%], \quad (2.3)$$

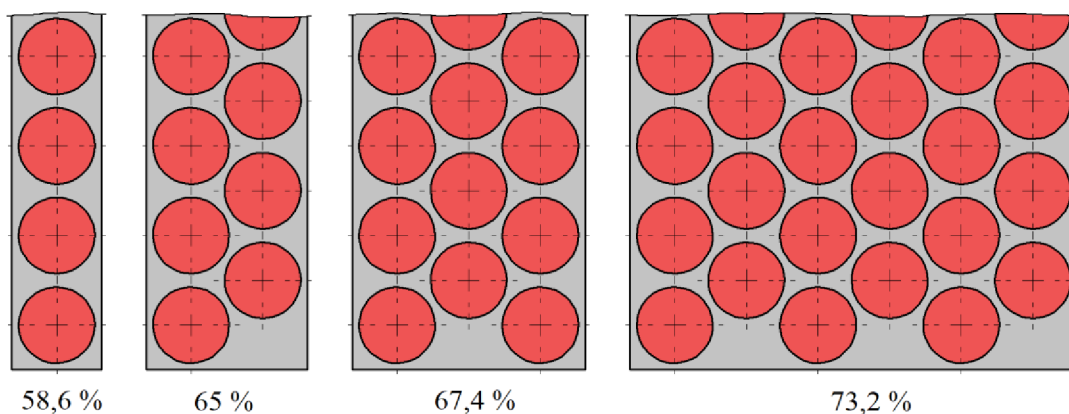
kde: η – využití materiálu [%],
 S_{vys} – plocha výstřížků [mm²],
 S_{pol} – plocha polotovaru [mm²].

U složitějších výstřížků, zejména pokud mají tvar typu P nebo T (obr. 15), lze zvýšit podíl využití materiálu jejich vhodným umístěním, které se nazývá střídané uspořádání a znamená, že jsou jednotlivé součásti poskládány do sebe. Postup stříhání jednotlivých dílů potom může probíhat tak, že se v jednom kroku stříhají zároveň dvě součásti nebo pouze jedna a pás se poté otočí a pokračuje se druhou stranou.

Využitelnost materiálu lze také ovlivnit umístěním výstřížků do jednořadého nebo víceřadého uspořádání (obr. 16), případně do dvouřadého střídaného (obr. 15). Z porovnání využitelnosti vychází lépe víceřadé uspořádání, ovšem s rostoucím počtem řad výrazně stoupá náročnost konstrukce nástroje, cena a náklady na jeho údržbu.



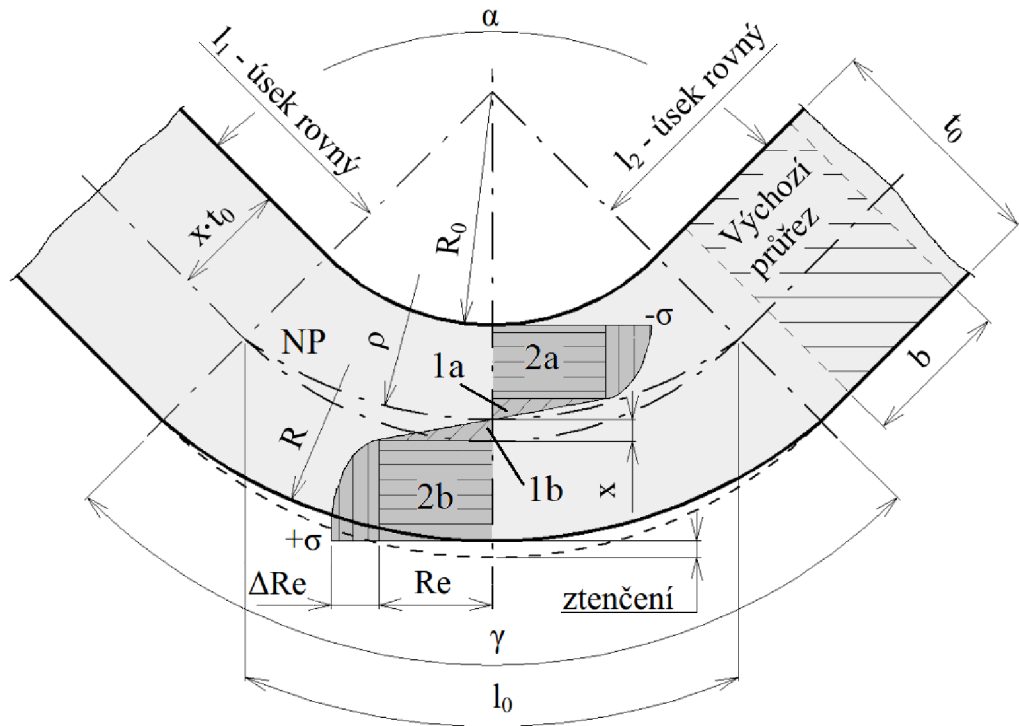
Obr. 15 Střídané uspořádání [29]



Obr. 16 Využití materiálu u jednořadého a víceřadého uspořádání [31]

2.2 Ohýbání [1], [23], [27], [28], [30], [32], [33], [34]

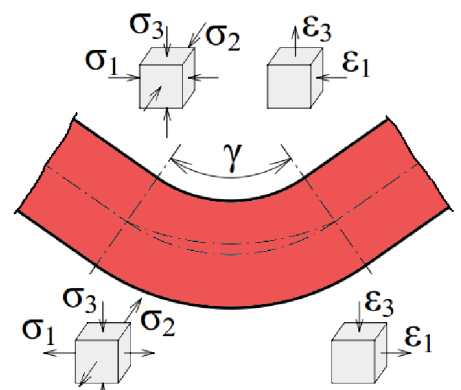
Ohýbání je technologická operace, která vlivem osamělých sil, nebo ohybových momentů, trvale deformuje tvar součásti, tj. mění jeho křivost. Jedná se o jednu z nejvíce používaných technologií ve strojírenství.



Obr. 17 Schéma ohýbání [28]

Při ohýbání vzniká na průřezu polotovaru tlakové i tahové napětí. U jeho průběhu po průřezu (obr. 17) představuje oblast 1a a 1b elastickou složku pro tah a tlak, jejíž velikost nepřekročí mez kluzu materiálu a nedojde tak k plastické deformaci. Oblast 2a a 2b reprezentuje plastickou složku s přírůstkem napětí vlivem zpevnění.

Při ohýbání širokých pásů, tj. pásů s šířkou více jak třikrát větší než je tloušťka materiálu, nedochází k deformaci profilu ve směru šířky. Výjimku představují velmi úzké okrajové části, ve kterých se šířka na vnitřním poloměru zvětšuje a na vnějším zmenšuje. Tato skutečnost se ale při výpočtu zanedbává. Proto je možné na obou stranách uvažovat rovinný stav deformace a prostorový stav napjatosti, jejichž mechanická schémata (obr. 18) se ale liší pro tlakovou a tahovou oblast. Všestranná tlaková napjatost vzniká na vnitřním poloměru součástky. V těchto místech nastává rovinná deformace a dochází zde ke spěchování materiálu. Na vnějším poloměru, kde dochází k natahování materiálu a zmenšování tloušťky stěny, nastává nestejnorodá tahová napjatost.



Obr. 18 Schéma napjatosti a deformace při ohybu širokých pásů [23]

Kladné, tedy tahové napětí se mění v tlakové, v tzv. neutrální ploše (NP), ve které je hodnota napětí nulová. Její poloha se mění s velikostí ztenčení průřezu v různých místech ohybu a její

průběh se pro praktické výpočty nahrazuje kružnicovým obloukem o poloměru ' ρ_n ', který je dán geometrickým průměrem vnitřního a vnějšího poloměru a lze jej spočítat:

$$\rho_n = \sqrt{R_o \cdot R} [mm], \quad (2.4)$$

kde: R_o – poloměr ohybu [mm],
 R – vnější poloměr ohýbané součásti [mm].

V praxi velice často dochází k situaci, kdy je součást na vnitřním poloměru namáhána tlakem nástroje. V tomto případě se poloměr neutrální plochy ještě více zmenšuje a posouvá se k vnitřní straně.

Problematika neutrálních ploch je při ohýbání složitější. Pro další výpočty je třeba znát plochu nulového prodloužení, ve které nedochází k deformaci materiálu a délka tohoto oblouku je stejná jako délka neohnutého polotovaru. Její poloměr ' ρ_0 ' je dán součinitelem ztenčení průřezu ' z_z '. Součinitel rozšíření průřezu ' z_r ' není třeba uvažovat, protože při ohýbání širokých pásů nedochází ke změně šířky. V praktických výpočtech se často používá součinitel určující její posunutí a poloměr je:

$$\rho_0 = \left(R_o + \frac{t_0}{2} \right) \cdot z_z = R_o + x \cdot t_0 [mm], \quad (2.5)$$

kde: x – součinitel posunutí plochy nulového prodloužení [-].

Ten, stejně jako součinitel ztenčení průřezu, je závislý na poměru poloměru ohybu a tloušťky materiálu (tab. 2), který se nazývá relativní poloměr ohybu.

Tab. 2 Hodnoty posunutí plochy nulového prodloužení a součinitele ztenčení průřezu [27].

$\frac{R_o}{t_0}$	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0
z_z	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998	0,999	1,00
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486	0,492	0,498

Aby při ohýbání součásti nedošlo k poškození vznikem trhlin na straně namáhané tahovým napětím, je velice důležité znát minimální poloměr ohybu ' R_{min} '. Je to takový poloměr, při kterém se dosahuje maximálního přetvoření pro daný materiál a nedojde ještě k poškození jeho krajních vláken. Při menším poloměru ohybu ' R_o ', než je kritický ' R_{min} ', dochází na tahové straně ke vzniku trhlin a tím k porušování, které může při dalším zmenšování poloměru vést k lomu. Velikost minimálního poloměru závisí nejen na plastických vlastnostech, ale také na kvalitě povrchu a na anizotropii materiálu. Výrazný vliv má také způsob ohýbání a geometrie výsledného ohybu, jako je jeho úhel a tloušťka polotovaru. Protože se dosahuje vysokých přetvoření, dochází k výraznému zpevnování, které může především u málo plastických materiálů vést k nutnosti použití tepelného zpracování pro obnovení plastických vlastností. Hodnotu minimálního poloměru ohybu lze určit:

$$R_{min} = \frac{t_0}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_o \cdot t_0 [mm], \quad (2.6)$$

kde: ε_c – mezní prodloužení [-],
 c_o – koeficient určující min. poloměr [-]; pro měkkou ocel je $c_o = (0,4 \div 0,8)$.

Při ohýbání součástí na velké poloměry je nutné kontrolovat maximální poloměr ohybu ' R_{max} ', při kterém ještě dojde v krajních vláknech materiálu k plastické deformaci, tj. dosáhne se zde napětí o velikosti meze kluzu. Pokud by byl polotovar ohnut na větší poloměr,

než je maximální, nedošlo by k plastické, ale pouze k elastické deformaci, a po odtížení by se polotovár narovnal. Jeho velikost je:

$$R_{max} = \frac{t_0}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) [mm], \quad (2.7)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa],
Re – mez kluzu v tahu [MPa].

Při výrobě dané součásti je nutné znát délku výchozího polotovaru, aby po provedení jednotlivých ohybů bylo dosaženo správných rozměrů. Při jejím stanovení se vychází z délek jednotlivých rovných úseků a délek oblouků v ploše nulového prodloužení (obr. 19) u jednotlivých ohybů. Potřebnou délku polotovaru lze spočítat podle rovnice:

$$l_c = l_1 + l_2 + \dots + l_n + l_{o1} + l_{o2} + \dots + l_{o(n-1)} [mm], \quad (2.8)$$

kde: l_c – výchozí délka polotovaru [mm],
 l_i – délky rovných úseků [mm],
 l_{oi} – délky ohnutých částí [mm].

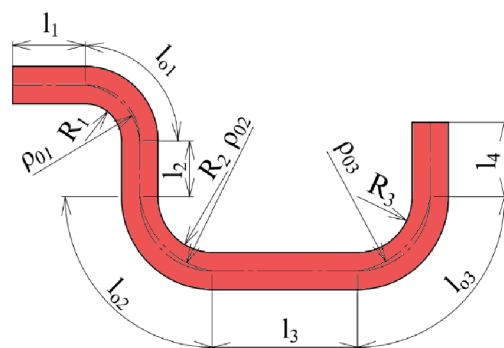
Pro výpočet délek oblouků je třeba znát poloměr plochy nulového prodloužení, který se spočítá podle rovnice (2.5). Jednotlivé délky oblouků jsou:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_0 [mm], \quad (2.9)$$

kde: γ – úhel ohnuté části [°]:

$$\gamma = 180 - \alpha, \quad (2.10)$$

kde: α – úhel ohybu [°].



Obr. 19 Výchozí délka polotovaru [33]

Při výrobě co nejpřesnějších výrobků je nutné zvážit také odpružení materiálu. K tomu dochází vždy a může za něj elastická složka deformace, resp. vlákna materiálu, u kterých napětí nepřekročilo hodnotu meze kluzu. Odpružení se projeví změnou úhlu ohybu od požadovaného po odtížení o hodnotu ' β ' (obr. 20). S tím souvisí také změna křivosti, tedy zvětšení poloměru ohybu ' R_o' '. Velikost odpružení závisí na více faktorech. Hlavní vliv má samotný materiál a jeho vlastnosti, jako je pevnost. Dále mají výrazný vliv také geometrické podmínky a především relativní poloměr ohybu. Čím je jeho hodnota vyšší, tím větší je i výsledná změna geometrie. Dalším činitelem je samotný úhel ohybu, jeho velikost a také tvar. Důležité rozměry pro výpočet velikosti odpružení pomocí empirického vztahu jsou zakótované ve schématu ohybu do tvaru U (obr. 21). Výsledný vztah pro stanovení změny úhlu je:

$$tg\beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t_0} \cdot \frac{Re}{E} \rightarrow \beta [^\circ], \quad (2.11)$$

kde: β – úhel odpružení [°],

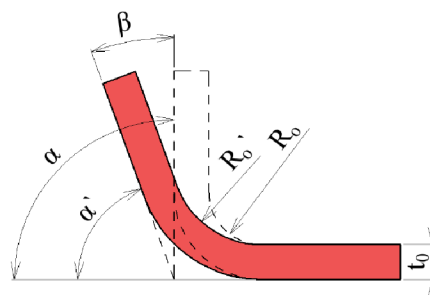
l_u – vzdálenost mezi středy zaoblení ohybnice a ohybníku [mm]; dáno vztahem:

$$l_u = R_o + r_m + 1,15 \cdot t_0 [mm], \quad (2.12)$$

kde: r_m – poloměr zaoblení ohybnice [mm],

k – součinitel určující polohu neutrální plochy [-]:

$$k = 1 - x [-]. \quad (2.13)$$



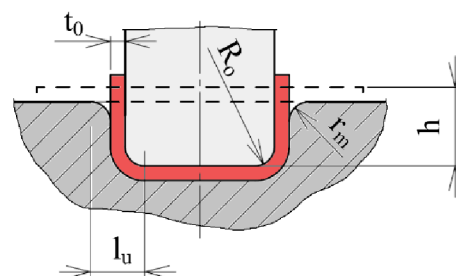
Obr. 20 Odpružení [27]

Druhou možností je jeho určení pomocí diagramů. To se ale využívá spíše v praxi a tyto grafy jsou sestaveny pro různé materiály a pro různé relativní poloměry ohybu.

Obecně lze říct, že při malých hodnotách relativního poloměru ohybu je celkové odpružení malé a změna poloměru je minimální, a proto se řeší pouze změna úhlu, která se kompenzuje větším přehnutím součástí. Pro větší relativní poloměry ohybu dosahuje velikost odpružení daleko větších hodnot a je nutné řešit i výsledný poloměr. Toho se docílí tak, že je na nástroji vyroben poloměr menší, než je jeho velikost požadovaná výkresem součásti. Hodnota zhotoveného poloměru na ohybníku se určí:

$$R_{ohyb} = \frac{1}{\frac{1}{R_o} + 3 \cdot \frac{Re}{E \cdot t_0}} \text{ [mm]}, \quad (2.14)$$

kde: R_{ohyb} – vyrobený poloměr ohybníku [mm].

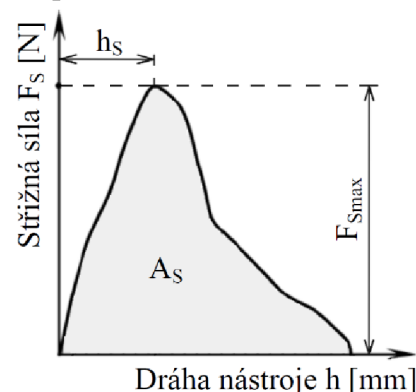


Obr. 21 Schéma ohybu do U [27]

2.3 Síly a práce [1], [23], [27], [29], [32], [35]

U postupového sdrúženého nástroje dochází ke kombinaci více technologií, pro které je nutné určit potřebnou tvářecí sílu a práci. To se určuje především s ohledem na volbu správného tvářecího stroje. Její celková hodnota je dána součtem sil pro jednotlivé operace:

- Stříhání – pro oddělení výstřížku od základního materiálu je nutné na něj působit takovou silou, která způsobí dostatečně velké napětí v materiálu pro vznik trhlin a odstřížení součásti. Z jejího průběhu (obr. 22) v závislosti na hloubce vniku nástroje do materiálu lze vidět, že její maximální hodnoty je dosaženo v okamžiku, kdy se hrana nástroje dostane do vzdálenosti 'h_s'. Tato hloubka je součtem vniknutí nástroje, tedy uraženou dráhou, ve střížné fázi 1 a 2 zvětšené o 10 ÷ 20 %, a představuje bod, ve kterém dojde k odstřížení materiálu. Po překonání maxima křivka klesá a změna jejího směru je způsobena nutností protlačit výstřížek. Maximální velikost střížné síly závisí na střížném odporu materiálu a stanoví se rovnicí:



Obr. 22 Průběh střížné síly [1]

$$F_S = n \cdot S_S \cdot \tau_S \text{ [N]}, \quad (2.15)$$

kde: F_S – střížná síla [N],

n – součinitel zahrnující vliv vnějších podmínek, tj. otupení hrany a nerovnoměrnost tloušťky materiálu [-], obvykle je $n = (1,2 \div 1,5)$,

S_S – střížná plocha [mm²],

$$S_S = t_0 \cdot L \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.16)$$

kde: L – délka křivky stříhu [mm],

τ_S – střížný odpor [MPa].

Střížný odpor představuje napětí ve střížné ploše, které je potřeba vyvinout k oddělení materiálu. Jeho velikost je dána velkým množstvím faktorů, jako jsou např. vlastnosti materiálu a jeho tloušťka, dále tvar a rozměr obrysu nástroje a velikost střížné vůle. Jeho určení je možné dvěma způsoby. Prvním je jednoduchá rovnice, kde je určen jako část meze pevnosti materiálu, přičemž se obvykle zvolí vyšší možnost:

$$\tau_S = (0,75 \div 0,80) \cdot R_m = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]}. \quad (2.17)$$

Druhou možností je využití empirických vztahů pro jednotlivé materiály, kde pro ocel je jeho tvar:

$$\tau_s = 111,0 + 0,56 \cdot Rm \text{ [MPa]}. \quad (2.18)$$

Pro stanovení velikosti stroje je také nutné znát střížnou práci. Ta je dána velikostí plochy pod křivkou závislosti síly na dráze nástroje. Teoretickým výpočtem se určí pomocí integrace síly po dráze. V praktických výpočtech se určuje pomocí součinitele plnosti ' λ ', který se liší pro různé materiály a lze jej stanovit pomocí diagramů podle tloušťky materiálu. Pro středně tvrdou ocel o tloušťce 2,5 mm nabývá hodnoty asi $\lambda = 0,53$. Vztah pro střížnou práci ' A_s ' je:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot h}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.19)$$

kde: h – dráha nástroje [mm]; v tomto případě střížníku, je $h = t_0$.

- Ohýbání – také pro jednotlivé ohyby je nutné určit velikost síly ' F_o '. Na jejím průběhu v závislosti na dráze nástroje (obr. 23) jsou označeny jednotlivé složky pro volný ohyb, tvořený pružnou a plastickou deformací a případnou kalibrací, při které už její hodnota velmi prudce narůstá. Při ohybu s použitím přidržovače je přidržovací síla asi 25 ÷ 30 % hodnoty ' F_o '. Pokud se kalibruje, je hodnota kalibrační síly asi 2,5 ÷ 3 násobkem ' F_o '. Pro stanovení velikosti ' F_o ' lze dle ČSN 22 7340 použít rovnici:

$$F_o = \frac{0,4 \cdot Rm \cdot b \cdot t_0^2}{l_u} \text{ [N]}, \quad (2.20)$$

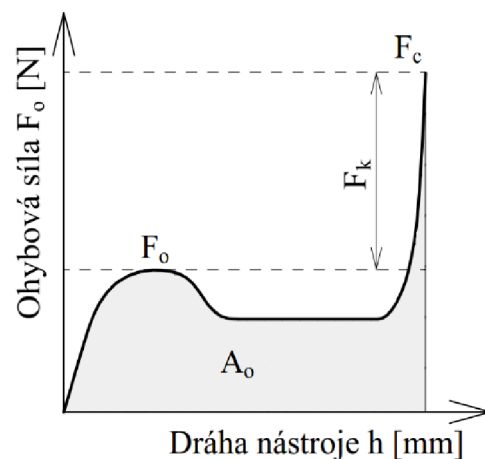
kde: b – šířka ohýbaného plechu [mm].

Pokud je známá potřebná velikost síly, lze určit také ohybovou práci, kterou je nutné vykonat pro změnu křivosti polotovaru. Opět je daná velikostí plochy pod křivkou průběhu ohybové síly. Spočítat ji lze integrací, nebo jednodušším vzorcem, který uvažuje opravný koeficient ' m ' respektující její průběh a určuje podíl zaplnění diagramu podobně jako u stříhání. Velikost potřebné ohybové práce ' A_o ' se určí rovnicí:

$$A_o = m \cdot \frac{F_o \cdot h}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.21)$$

kde: m – součinitel respektující průběh síly [-]; pro ohyb do tvaru U je $m = 1/6$,

h – dráha nástroje [mm]; v tomto případě ohybníku.



Obr. 23 Průběh síly u ohybu do U [2]

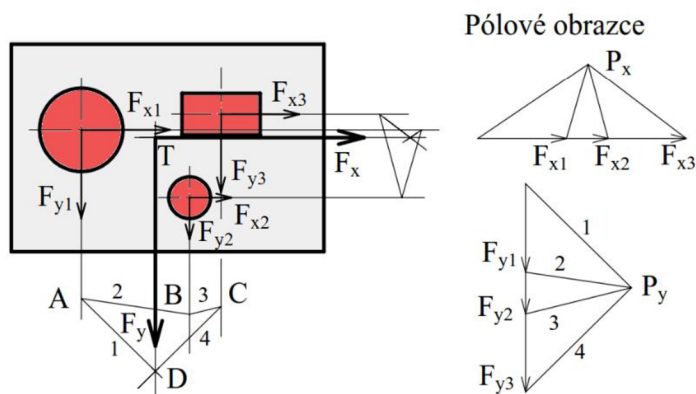
2.3.1 Těžiště sil [26], [29], [36]

Při návrhu sduženého postupového nástroje je důležité znát těžiště všech působících sil. Je třeba ho určit z toho důvodu, že právě do něj se umísťuje stopka, za kterou se horní polovina nástroje upíná do tvářecího stroje. Pokud by nástroj nebyl upnut v těžišti působících sil, mohlo by docházet k jeho přičení, což by způsobilo větší opotřebení vodících prvků a také stroje nebo v krajním případě zničení pracovních částí nástroje.

Poté co se určí pro jednotlivé střížníky a ohybníky velikosti sil, je nutné určit jejich polohu působíště. Ta je v těžištích jednotlivých nástrojů. V případě kruhových, čtvercových nebo obdélníkových tvarů je to jednoduché, u složitějších tvarů je ale nutné jeho polohu spočítat, případně určit pomocí počítačového softwaru.

Při určování celkového těžiště jsou dvě možnosti:

- Grafická – určuje polohu těžiště pomocí velikosti sil bez nutnosti provádět výpočet. Nejprve je nutné do těžišť jednotlivých obrazců zanést velikosti sil ve stejném měřítku ve dvou na sebe kolmých směrech (obr. 24). V horizontálním směru jsou indexovány písmenem 'x', ve vertikálním písmenem 'y'. Pokračuje se stanovením tzv. pólových obrazců. Získají se zvolením libovolného bodu, který je označen 'P_x' nebo 'P_y', a vedle něj libovolné přímky v daném směru, na kterou se nanesou velikosti jednotlivých sil, jejichž začátky a konce jsou spojeny s pólem (obr. 24). Jednotlivé přímky jsou pro větší přehlednost označeny číslicemi 1 ÷ 4. Dalším krokem je protažení nositelek sil mimo náčrt, a zvolení bodu 'A' na přímce, která přísluší síle 'F_{y1}'. Tím poté procházejí dvě přímky rovnoběžné s úsečkami 1 a 2. Průsečík, který vznikl protnutím přímky 2 a nositelky síly 'F_{y2}', je bod 'B'. Tím se následně vede rovnoběžka s 3 a jejím protnutím s 'F_{y3}' je získán bod 'C', kterým se vede poslední rovnoběžka s přímkou 4. Její průsečík s 1 dává bod 'D', který značí horizontální polohu těžiště a prochází jím nositelka výslednice sil. Obdobně se určí její vertikální poloha. Pokud je potřeba zjistit těžiště pro více sil, postupuje se stejným způsobem pro každou z nich. Bod 'T', který značí těžiště, je dán průsečíkem získaných výslednic sil pro horizontální a vertikální směr.



Obr. 24 Grafická metoda určení těžiště [26]

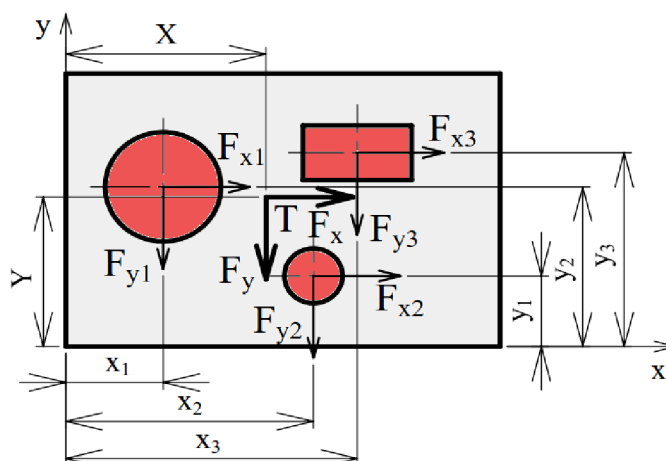
- Výpočetní – určí polohu těžiště pomocí výpočtu, což je výhodnější při velkém počtu sil. Základním principem je momentová rovnováha. Momenty jednotlivých sil ke zvolenému souřadnému systému musejí být rovny momentu silové výslednice, jejíž rameno je právě vzdálenost těžiště od os souřadného systému (obr. 25). Matematické rovnice pro určení jeho polohy pro směr osy 'x' a 'y' jsou:

$$X = \frac{F_{x1} \cdot x_1 + F_{x2} \cdot x_2 + F_{x3} \cdot x_3}{F_{x1} + F_{x2} + F_{x3}} \text{ [mm]}, \quad (2.22)$$

kde: X – vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému ve směru osy 'x' [mm],
 F_{xi} – síly ve směru osy 'x' [N],
 x_i – vzdálenost působišť sil od počátku ve směru 'x' [mm].

$$Y = \frac{F_{y1} \cdot y_1 + F_{y2} \cdot y_2 + F_{y3} \cdot y_3}{F_{y1} + F_{y2} + F_{y3}} \text{ [mm]}, \quad (2.23)$$

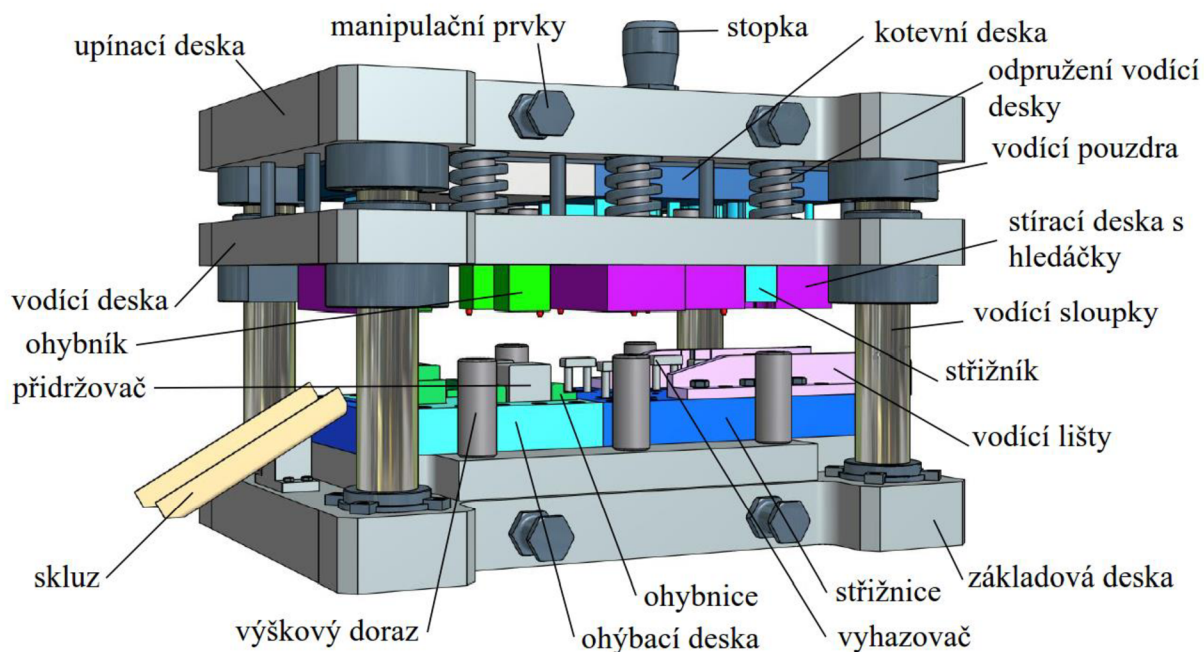
kde: Y – vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému ve směru osy 'y' [mm],
 F_{yi} – síly ve směru osy 'y' [N],
 y_i – vzdálenost působišť sil od počátku ve směru 'y' [mm].



Obr. 25 Výpočetní metoda určení těžiště [26]

2.4 Nástroje [24], [36], [37], [38], [39], [40], [41]

Na postupových sdužených nástrojích (obr. 26) se už z jejich podstaty provádí více operací. Zpravidla se umísťují do vodících stojánků, pro které se často využívají normalizované vodící sloupky a pouzdra, a skládají se z horní a spodní poloviny.



Obr. 26 Postupový sdužený nástroj a jeho hlavní části [37]

Horní část se nazývá upínací hlavice a je tvořena upínací deskou a stopkou, za kterou se nástroj uchytlí do tvářecího stroje. Kotevní deskou jsou drženy pracovní části, střížníky a ohybníky, na svém místě. Důležitou součástí je opěrná deska, která je vyrobena z kalené oceli a opírají se o ní střížníky a ohybníky. Její funkcí je zabránění otlacení upínací desky při vyšších pracovních tlacích. Nástroje, u kterých se požaduje vyšší pracovní přesnost se opatřují také vedením, které je zabezpečeno pomocí vodící desky, v níž se pohybují činné části a zvyšuje se jejich přesnost a zároveň může také plnit funkci stěračů. U sdužených nástrojů je nejčastěji plovoucí, což znamená, že je odpružená a připevněná k horní polovině nástroje. Dále jsou zde umístěny hledáčky, které zvyšují přesnost výroby. V případě rozměrově větších nástrojů

je důležité je opatřit manipulačními prvky, jako jsou nosné šrouby nebo oka, díky kterým lze s nástrojem manipulovat pomocí jeřábu.

Spodní polovina nástroje je se stolem stroje, na kterém je položena, spojena nejčastěji pomocí různých upínek. Tvořena je základovou deskou, na kterou se postupně upínají další části. Pro střížné operace je zde střížnice. V části, kde dochází k vytváření ohybů se nachází ohybová deska, ve které jsou umístěny ohybnice a přídržovače, které se velmi často používají, aby nedošlo k deformaci rovného úseku součásti. Důležité je u sdružených nástrojů použít odpružené vyhazovače, které při otevření nástroje oddálí materiál od spodní poloviny nástroje, a ten tak může být posouván, aniž by vytvořené ohyby bránily jeho pohybu. Při zavádění materiálu plní důležitou funkci vodící lišty, případně spolu s podpěrným plechem, které jsou od sebe vzdáleny o přesnou hodnotu šířky polotovaru zvětšenou o vůli a zajišťují tak jeho přesné boční vedení. Dále jsou důležité zejména načínací dorazy, které zajistí, že je plech v nástroji ustaven ve správné poloze. Také se zde, zejména v případě ručního posuvu, používají další dorazy, jako například zpětné, pevné, odpružené, anebo výškové. Ty zajišťují posunutí plechu mezi operacemi vždy o stejnou velikost, tedy o délku kroku.

Na jednotlivé komponenty jsou kladeny zcela odlišné nároky, a proto je při konstrukci nástrojů velice důležité správně zvolit materiál použitý pro jejich výrobu a jeho následné tepelné zpracování u jednotlivých částí. U pracovních částí je nutné zvolit kvalitní nástrojovou ocel, která má odpovídající pevnost a odolnost proti velkému namáhání a opotřebení během tvářecího procesu a zajistí tak potřebnou životnost nástroje. Nejvíce namáhané jsou střížníky, které musí odolávat velkému abrazivnímu opotřebení. Jako materiál pro nosné části nástroje je ale výhodnější zvolit levnější konstrukční ocel, která splňuje pevnostní nároky a výrazně sníží náklady na výrobu celého nástroje. Pro jednotlivé části se používají různé materiály s příslušným tepelným zpracováním (tab. 3).

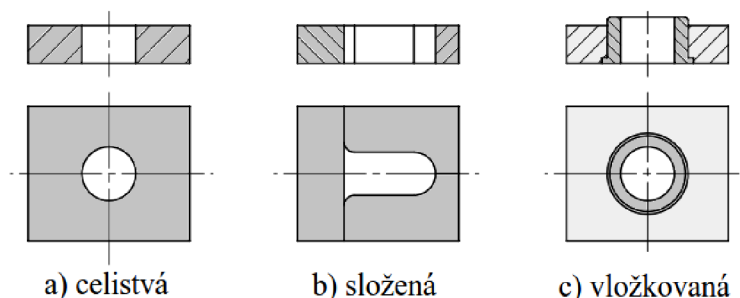
Tab. 3 Materiály a jejich tepelné zpracování pro tvářecí nástroje [36].

Část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
Vodící stojánky – desky, sloupky, pouzdra	42 2456, 42 2661, 11 500, 12 061, 14 220	Cementováno do hl. 0,5 mm, kaleno na 60 ÷ 62 HRC
Stopky	11 600	–
Střížníky	19 191, 19 312, 19 436, 19 437,	Kaleno na 61 ÷ 63 HRC
Střížnice	19 191, 19 312, 19 436, 19 437	Kaleno na 60 ÷ 62 HRC
Dorazy	19 312, 19 191, 19 436, 19 437	Kaleno na 65 ± 2 HRC
Kotevní a upínací desky	11 500, 12 050	–
Stírače	12 061, 19 191	–
Vodící lišty	11 600, 14 220	Cem., kal. na 60 ÷ 62 HRC
Hledáčky	14 220, 19 191, 19 421	Kaleno na 56 ÷ 60 HRC
Ohybníky, ohybnice	19 191, 19 312, 19 436, 19 437	Kaleno na 55 ÷ 60 HRC

2.4.1 Střížné nástroje [23], [26], [36], [38]

Základními částmi jsou střížník a střížnice, která je v naprosté většině případů pevná. Její konstrukce je ovlivněna nejen velikostí produkované série, ale také tvarem a velikostí stříhané součástky. Základní konstrukční řešení střížnic je:

- Celistvé – jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu (obr. 27a). Využívají se hlavně pro tvarově jednoduché a rozměrově menší výstřižky, protože je v tomto případě složité opracování nepravidelných tvarů a odstranění deformací způsobených kalením.



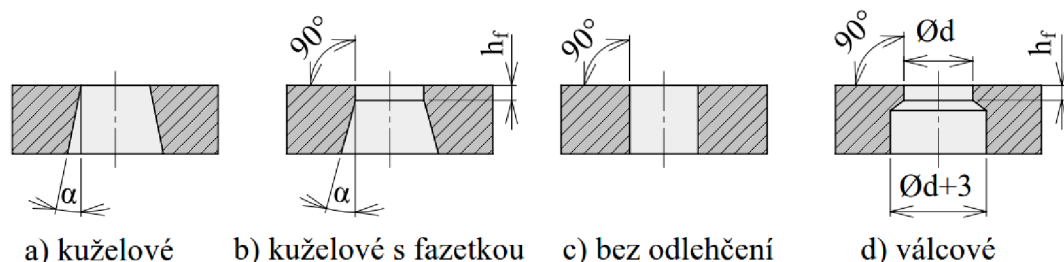
Obr. 27 Možnosti konstrukce střížnic [36]

- Složené – nacházejí využití při tvarově složitých výstřižcích, nebo pokud jsou jejich rozměry velké. Taková střížnice je složena z více dílů (obr. 27b), což sice zvětšuje výrobní náklady, ale výrazně snižuje náročnost výroby a její zmetkovitost, zvyšuje životnost a zjednodušuje a zlevňuje její údržbu. Výhodné je také snadnější kalení jednotlivých dílů, u kterých vlivem tepla vznikají menší deformace a ty lze snadněji odstranit broušením.
- Vložkované – šetří náklady na výrobu tím, že se do desky z levné konstrukční oceli umístí kalené vložky (obr. 27c) z oceli nástrojové (případně ze slinutých karbidů), čímž dojde k výraznému ušetření drahého materiálu. Využívají se hlavně pro nástroje určené pro hromadnou, nebo velkosériovou výrobu, protože se výrazně zvýší životnost. V případě opotřebení je možné jednoduše vyměnit jednotlivé vložky. Ty zároveň přecházejí asi o 3 ÷ 5 mm nad ocelovou desku kvůli snadnějšímu přebroušení. Musejí být pevně připevněny a během střížného procesu se nesmějí nadzvedávat. Konstrukční řešení pro jejich upnutí je různé, mohou být osazené a zalisované nebo zajištěné pomocí šroubů.

Po odstřížení materiálu je nutné výstřižek nebo odpad protlačit střížnicí určitou silou. Pro její snížení se používá úprava geometrie funkčních částí. Jednotlivé typy možných odlehčení otvorů ve střížnicích jsou:

- Kuželové – představuje jednoduché kuželové rozšíření (obr. 28a) otvoru ve střížnici. Je vhodné především pro malý až střední počet vyráběných součástí, pro díly menších rozměrů a pro díly, u kterých se nevyžaduje vysoká přesnost. Nevýhodou je, že při broušení čela dochází ke zvětšování průměru otvoru. Velikost úhlu α' je pro stříhání plechů o tloušťce 2 ÷ 4 mm asi $\alpha = 30 \div 45'$.
- Kuželové s fazetkou – je modifikace předchozí možnosti, kdy hrana střížnice přechází do fazetky (obr. 28b), na kterou je kolmá a na kterou poté navazuje kuželové odlehčení. Tento typ se hodí spíše pro velké počty stříhaných kusů z toho důvodu, že při přebroušování nedochází ke změně rozměru otvoru. Úhel α' nabývá hodnot asi $\alpha = 3 \div 5^\circ$ a šířka fazetky h_f pro tloušťku plechu v rozmezí 0,5 ÷ 5 mm má velikost $h_f = 5 \div 10$ mm.

- Bez odlehčení – představuje jednoduchý otvor (obr. 28c) ve střižnici a používá se v případech, kdy se výstřížek vrací nad rovinu střižnice pomocí vyhazovače. Také je vhodné v případě velmi rozměrných tvarů.
- Válcové – je jediné, které se používá výhradně u kruhových otvorů především při děrování otvorů s $d > 5$ mm. Jeho výhodou je v tom, že má fazetku (obr. 28d) a nedochází tak ke změně průměru při broušení a zároveň je velmi jednoduché ho vyrobit odvrtním vrtákem o větším průměru. Šířka fazetky je stejná jako v případě kuželového odlehčení s fazetkou.

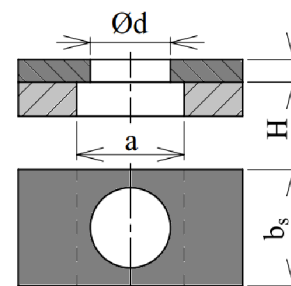


Obr. 28 Geometrie funkčních částí střižnice [36]

Z hlediska pevnostního výpočtu se u střižnic (obr. 29) určuje především jejich tloušťka H tak, aby nedošlo k velkému prohnutí. Tato velikost se pro obdélníkové střižnice a v případě dodržení podmínek $\frac{a}{2} < d < \frac{3 \cdot a}{4}$; $b_s > d$ stanoví:

$$H = \sqrt{\frac{3 \cdot F_S}{\sigma_{odov}} \cdot \left(\frac{b_s}{a} \right) \left(1 + \frac{b_s^2}{a^2} \right)} \quad [mm], \quad (2.24)$$

kde: σ_{odov} – maximální dovolené ohybové napětí ve střižnici [MPa]; obvykle je dáno rozmezím $\sigma_{odov} = 300 \div 400$ MPa,
 b_s – šířka střižnice [mm],
 a – vzdálenost podpěr střižnice [mm].



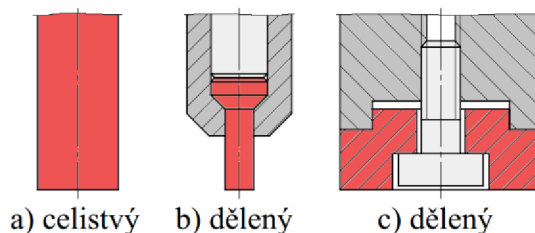
Obr. 29 Stanovení rozměru střižnice [36]

Pro hrubou kontrolu její tloušťky lze použít i jednoduchý vztah:

$$H = \sqrt[3]{F_S} \quad [mm]. \quad (2.25)$$

Druhou hlavní částí střižného nástroje jsou střižníky, u kterých lze zvolit různé konstrukční řešení především podle jejich rozměru, působícího namáhání a také podle velikosti vyráběné série neboli počtu pracovních cyklů, které musí střižník vydržet. Tyto možnosti jsou:

- Celistvý střižník – je vyrobený z jednoho kusu nástrojového materiálu (obr. 30a) a velmi často se používá především pro střední a malé velikosti. Jeho výhodou je snadná výroba, ale při vzrůstajících rozměrech stoupají náklady na materiál.
- Dělený střižník pro malé rozměry – je vhodný pro malé průřezy, kdy hrozí jeho prasknutí. Jeho konstrukce spočívá v umístění malého střižníku do těla z levnějšího materiálu (obr. 30b), např. konstrukční oceli. Mezi něj

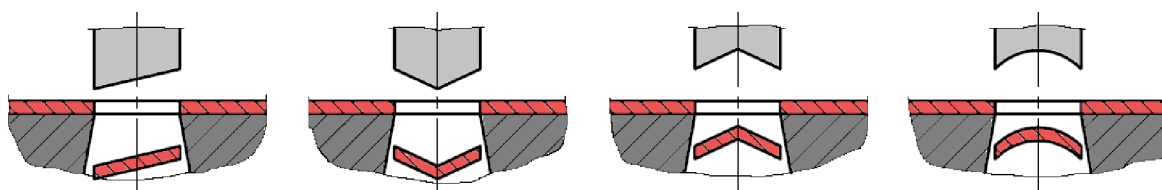


Obr. 30 Konstrukce střižníků [38]

a opěrnou desku se často vkládá opěrný kolík, který umožňuje vyrobit kratší střížník kvůli ušetření materiálu.

- Dělený střížník pro velké rozměry – se používá opět z důvodu ušetření nástrojového materiálu. Tělo je vyrobeno z konstrukční oceli a z kvalitního materiálu je vyrobena pouze pracovní část (obr. 30c), která se k tělu připevní pomocí šroubů. Přesného uložení je dosaženo osazením, kterým je také zabráněno jejímu pohybu nebo pootočení.

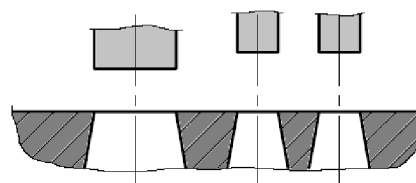
Funkční části střížníků jsou nejčastěji rovné a kolmé k ose, ovšem jejich čela lze tvarově upravit tak, aby došlo ke snížení potřebné střížné síly. Možnosti jejich úprav mohou být různé (obr. 31), ale při jejich použití dochází k deformaci vystříhnutého materiálu podle tvaru nástroje. Upravit lze i střížnice, ale to se nepoužívá příliš často kvůli náročné výrobě.



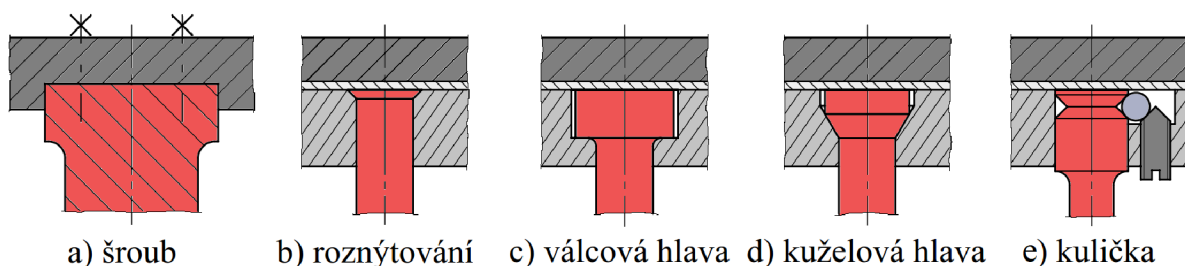
Obr. 31 Úprava čela střížníků [36]

Při více střížnicích je možné celkovou sílu snížit jejich rozdílnou délkou (obr. 32), přičemž nejdelší bývá obvykle ten s největším rozměrem.

Při konstrukci střížníků je také možnost zvolit z více způsobů jejich upínání k horní polovině nástroje. Pro větší rozměry je možné je připevnit pouze pomocí šroubů za přírubu, případně ji ještě zapustit (obr. 33a). Rozměrově menší střížníky se upínají buďto roznýtováním horní části (obr. 33b) nebo pomocí válcové (obr. 33c) nebo kuželové hlavy (obr. 33d). Další možností je uchycení pomocí šroubů nebo zajištění klínem. Speciální metody upnutí jsou zalitím pryskyřicí nebo lehce tavitelným kovem. V případě potřeby rychle měnit střížníky je možné je upnout pomocí kuličky, tzv. rychloupínacím způsobem (obr. 33e).



Obr. 32 Úprava délky střížníků [36]



Obr. 33 Způsoby upínání střížníků [36]

Při střížném procesu dochází k velkému opotřebování pracovních částí nástrojů, čímž se mění jejich rozměry. Tuto skutečnost je nutné zohlednit právě při návrhu funkčních částí a je nutné vycházet z požadovaných rozměrů a tolerancí pro výrobek. Při vystříhování, kdy nástrojem propadá výrobek, se vychází z rozměrů střížnice, která určuje výsledný rozměr výrobku.

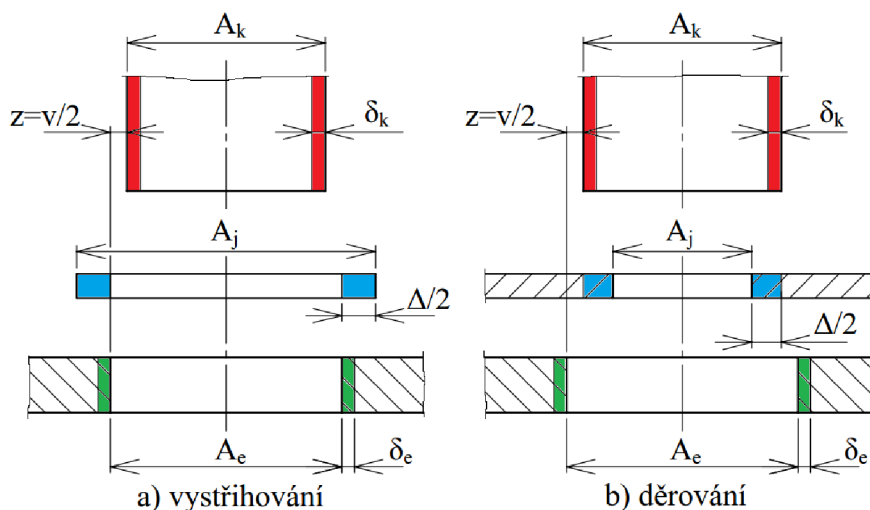
Ve schématu situace (obr. 34a) jsou zakótované jednotlivé rozměry, které se vyskytují v rovnicích:

$$A_{ev} = (A_j - 0,8 \cdot \Delta)^{+\delta_e} [mm], \quad (2.26)$$

kde: A_{ev} – rozměr střížnice při vystřihování [mm],
 A_j – jmenovitý rozměr výstřižku [mm],
 Δ – tolerance výstřižku [mm],
 δ_e – výrobní tolerance střížnice [mm].

$$A_{kv} = (A_j - 0,8 \cdot \Delta - v)_{-\delta_k} [mm], \quad (2.27)$$

kde: A_{kv} – rozměr střížníku při vystřihování [mm],
 v – střížná vůle [mm],
 δ_k – výrobní tolerance střížníku [mm].



Obr. 34 Stanovení funkčních rozměrů střížných nástrojů [38]

Při děrování (obr. 34b), kdy nástrojem propadá odpad, je situace obdobná, s tím rozdílem, že rozměr vytvořené díry je určen střížníkem. Výrobní rozměry funkčních částí pro případ děrování:

$$A_{kd} = (A_j + 0,8 \cdot \Delta)_{-\delta_k} [mm], \quad (2.28)$$

kde: A_{kd} – rozměr střížníku při děrování [mm].

$$A_{ed} = (A_j + 0,8 \cdot \Delta + v)^{+\delta_e} [mm], \quad (2.29)$$

kde: A_{ed} – rozměr střížnice při děrování [mm].

Při návrhu nástroje se musí kontrolovat tlakové namáhání všech jeho pracovních částí. Prvním důvodem je, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení otláčením. Toto kritérium je dáno rovnicí:

$$\sigma_{dov} \geq \frac{F_S}{S} [MPa], \quad (2.30)$$

kde: σ_{dov} – dovolené tlakové napětí [MPa], obvykle je $\sigma_{dov} = 1600 \div 2000$ MPa,
 S – plocha průřezu střížníku [mm²].

Dalším bodem pro kontrolu na otláčení je místo dosednutí střížníku na upínací desku. Pokud se zde dosáhne kritické hodnoty napětí, pro ocelové desky je $\sigma_{dov} = 180$ MPa, je nutné použít ocelovou kalenou opěrnou desku, která má tloušťku nejčastěji 5 mm.

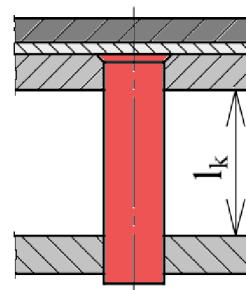
Druhým důvodem, proč kontrolovat tlakové namáhání, je nebezpečí ztráty vzpěrné stability především u dlouhých a velice tenkých střížníků. Určuje se zde tzv. kritická délka neboli maximální volná délka, u které při daném zatížení nedojde k vybočení. Její velikost se liší pro vedené a nevedené nástroje a pro střížníky s vedením je daná vzdáleností mezi kotevní a vodící deskou (obr. 35) a její velikost je:

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_k \cdot F_S}} \text{ [mm]}, \quad (2.31)$$

kde: l_k – kritická volná délka střížníku [mm],
 I – kvadratický moment průřezu [mm⁴]; pro kruhový průřez o průměru d_s :

$$I = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64}, \quad (2.32)$$

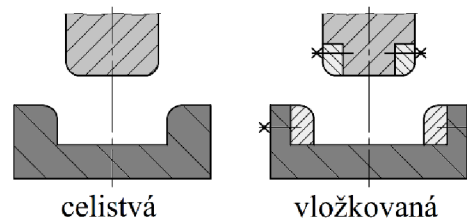
k_k – součinitel bezpečnosti [-]; obvykle se jeho velikost volí $k_k = 1,5 \div 2$.



Obr. 35 Kritická délka střížníku [38]

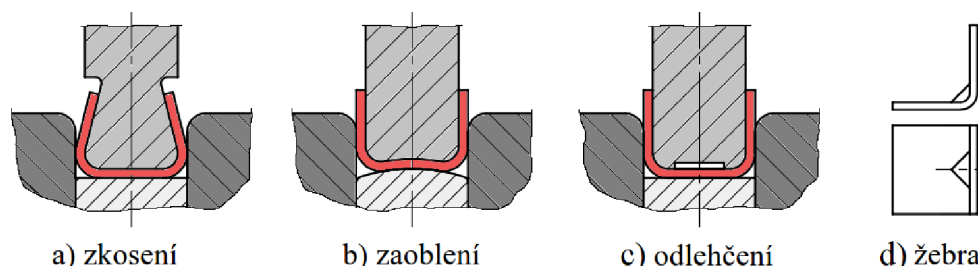
2.4.2 Ohýbací nástroje [23], [36], [38], [42]

Hlavními pracovními částmi nástroje jsou ohybník a ohybnice. Z hlediska jejich konstrukce lze rozlišovat dva základní typy (obr. 36), a to celistvé, které jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu, a vložkované, u kterých jsou těla vyrobeny z konstrukční oceli a z nástrojové oceli jsou pouze části, které tvarují polotovary. Ty jsou s tělem spojeny nejčastěji pomocí šroubů. Používají se hlavně pro rozměrnější nástroje kvůli ušetření nákladů na výrobu, případně pro vysoce namáhané nástroje, u kterých zvyšují životnost pouhou výměnou vložek. Zaoblení pracovních hran ohybníku r_p většinou odpovídá poloměru ohybu, který má mít výsledná součást. Případně je možné jej zmenšit s ohledem na změny jeho velikosti při odpružení. Poloměr zaoblení ohybnic r_m se volí podle tloušťky materiálu a ovlivňuje jak velikost ohýbací síly, tak i vzhled povrchu. Pro plechy do 3 mm se nejčastěji volí v rozmezí $2 \div 6$ násobku jeho tloušťky.



Obr. 36 Konstrukce ohýbadel [36]

Možností, jak zmírnit velikost odpružení, je v případě ohybu do tvaru U několik. Prvním způsobem je zkosení ohybníku (Obr. 37a). To se provede asi o $1 \div 3^\circ$ a velikost mezery je rovna jmenovité tloušťce materiálu. Druhou možností je zaoblení spodní části ohybníku a přídržovače (obr. 37b) tak, že při odtižení spodní část odpruží a eliminuje odpružení svislých stěn. Nevýhodou ale je deformované dno součásti. Dalším způsobem je odlehčení jeho spodní části (obr. 37c) tak, aby byla v místě ohybů dosažena větší deformace, čímž vzroste lokální zpevnění materiálu a sníží se tak odpružení. Velikost tohoto odlehčení je asi $0,05 \div 0,1$ mm. Čtvrtou možnost představuje vytvoření žebra v ohybu (obr. 37d), čímž se zvýší pevnost a sníží odpružení. Tento způsob lze ale použít jen tam, kde nebude vzniklé žebro bránit funkci součásti.



Obr. 37 Možnosti úprav ohýbadel pro eliminaci odpružení [36]

Při ohýbání musí být mezi ohybníkem a ohybnicí určitá mezera 'm_o', která umožní vtáhnout materiál do nástroje. Na její velikosti závisí také potřebná síla a konečná velikost odpružení. Mezera mezi nástroji je polovinou ohybové vůle 'v_o' a její velikost lze stanovit rovnicí:

$$m_o = \frac{v_o}{2} = (1,05 \div 1,15) \cdot t_o \text{ [mm]}. \quad (2.33)$$

Vlastní rozměry ohybníku a ohybnice opět vychází z požadavků na velikost vyráběné součásti. Pokud je důležitý vnější rozměr, vychází se z ohybnice podobně jako u stříhání. V případě součásti se symetrickými tolerancemi se rozměry nástrojů (obr. 38a) určí:

$$B_e = B^{+\delta_{eo}} \text{ [mm]}, \quad (2.34)$$

kde: B_e – rozměr ohybnice [mm],
 B – jmenovitý rozměr ohýbané součásti [mm],
 δ_{eo} – výrobní tolerance ohybnice [mm].

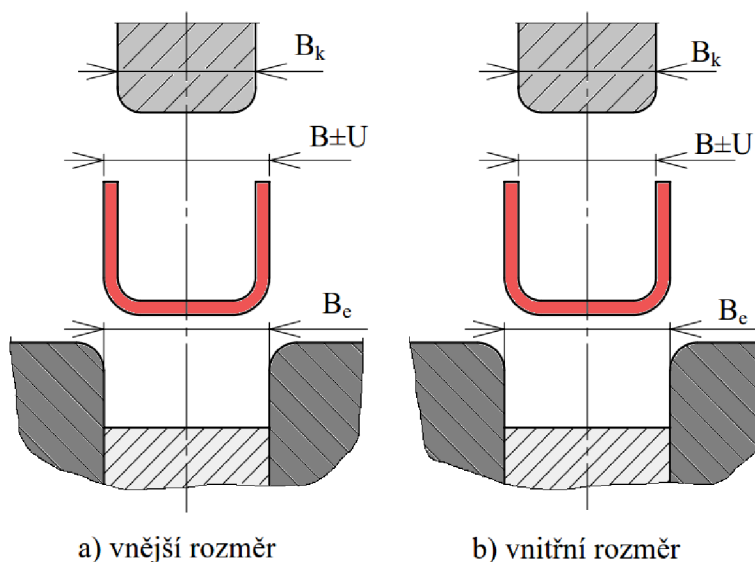
$$B_k = (B_e - v_o)_{-\delta_{ko}} \text{ [mm]}, \quad (2.35)$$

kde: B_k – rozměr ohybníku [mm],
 δ_{ko} – výrobní tolerance ohybníku [mm].

Podobně jako u stříhání se zde v případě nutnosti dodržení vnitřního rozměru ohybku vychází z ohybníku (obr. 38b):

$$B_k = B_{-\delta_{ko}} \text{ [mm]}. \quad (2.36)$$

$$B_e = (B_k + v_o)^{+\delta_{eo}} \text{ [mm]}. \quad (2.37)$$



Obr. 38 Rozměry ohýbacích nástrojů [23]

2.5 Stroje [43], [44], [45], [46]

Pro výrobu jakékoliv součásti je nutné použít odpovídající stroj, který umožní provádět potřebnou technologickou operaci. Základní rozdělení je podle relativního pohybu nástroje vůči polotovaru na stroje s pohybem přímočarým a rotačním, přičemž pro výrobu zadané součásti lze uvažovat jen první skupinu.

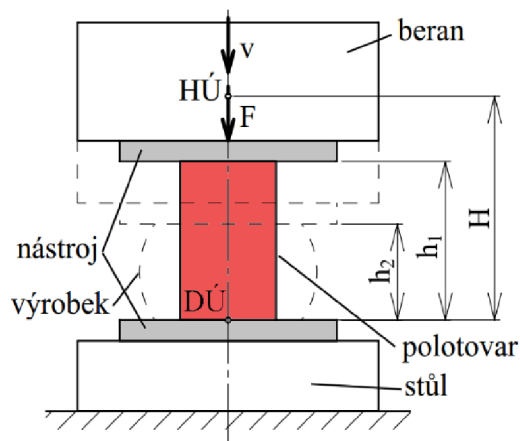
Pro plošné tváření se využívají stroje s přímočarým pohybem (obr. 39), které jsou nejrozšířenější díky svému univerzálnímu použití. Základní pracovní částí lisu je beran pohybující se mezi horní a dolní úvratí (HÚ a DÚ). Působením tvářecí síly F na polotovar a pohybem beranu rychlostí v dochází k přetvoření materiálu pomocí nástroje, nejčastěji dvoudílného, který je připevněn k beranu a ke stolu stroje.

Práci potřebnou pro tvářecí proces je možné získat ze dvou hlavních forem energie, a to kinetické nebo potencionální. Podle její převažující formy se tyto stroje dále dělí na:

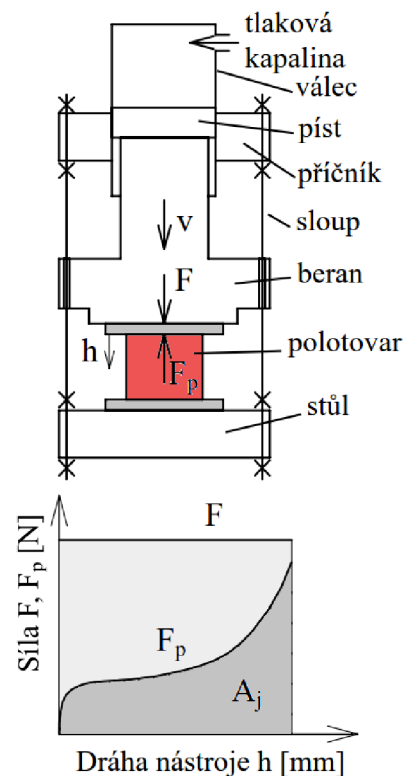
- Silové – nejtypičtějším představitelem je hydraulický lis (obr. 40). Pro práci je využita především potencionální energie a rychlost beranu je konstantní a relativně malá, tj. do $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hydraulické lisy využívají rovnoměrného šíření tlaku v kapalině, tedy Pascalova zákona. Díky tomu je velikost vyvinuté síly stroje F konstantní a není závislá na dráze beranu, jak ukazuje její průběh (obr. 40) spolu s přetvárnou silou F_p . Základním parametrem je právě maximální dosažitelná tvářecí síla F na beranu.

Hydraulické lisy lze rozdělit podle různých kritérií. První možností je podle způsobu uložení hydromotoru na lisy svislé, s pracovním válcem uloženým nahoře nebo dole, vodorovné a kombinované. Druhým rozdělením je podle mechanismu pohonu na lisy s pohonem přímým s maximálními silami až 20 MN, nepřímým, které díky hydraulickým akumulátorům dosahují vyšších rychlostí beranu a poslední možností jsou lisy s pohonem kombinovaným, které jsou určeny pro velké rychlosti nebo velké jmenovité síly.

Výhodou hydraulických lisů představuje možnost vyvinout obrovské tlaky a tím i velké pracovní síly, které lze v průběhu tváření měřit. Z bezpečnostního hlediska je velmi výhodná nemožnost tento lis přetížít a také to, že kromě hydraulických čerpadel pracují tiše a bez otřesů. Další výhodou je nízká rychlost beranu, která snižuje rychlost deformace a zmírňuje tak intenzitu zpevnění materiálu a tvářecí proces lze v průběhu kontrolovat. Nízká pracovní rychlost je ale také nevýhodou, protože snižuje produktivitu. Zdvih beranu je teoreticky neomezený, a spodní úvrať je tak nutné zajistit výškovými dorazy.



Obr. 39 Pohyb stroje [43]

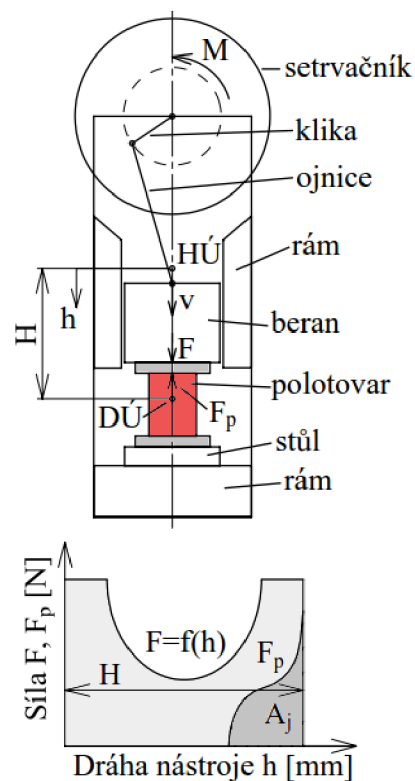


Obr. 40 Hydraulický lis [43]

- Zdvihové – nebo také mechanické lisy – využívající jak potenciální, tak i kinetickou energii, kterou převádí na pohyb beranu pomocí mechanismu s jedním stupněm volnosti. Nejčastějším typem je klikový lis (obr. 41), dále jsou to výstředníkové, tažné a kolenové lisy. Velikost maximální síly na beranu a rychlost jeho posuvu závisí na jeho poloze, resp. na úhlu natočení klikového mechanismu (obr. 41). Hlavním parametrem klikových strojů jsou maximální síla F a zdvih h , podél kterého ji lze využít.

Klikové lisy lze rozdělit podle druhu stojanu na stroje s otevřeným stojanem tvaru C, uzavřeným tvaru O a stojanem sloupovým. Další možnost dělení je podle počtu ojníc a tím i upínacích bodů beranu na jednobodové, dvoubodové a čtyřbodové lisy.

Výhodami těchto strojů oproti hydraulickým lisům je vyšší produktivita, díky rychlejšímu chodu beranu. Také je výhodou možnost nastavit velikost zdvihu a spodní úvratě a nástroj tak nemusí být vybaven výškovými dorazy. Konstrukce klikových lisů je jednodušší a údržba je celkově levnější. Nevýhodou je možnost přetížení nejen silou, ale i krouticím momentem, kvůli čemuž musí být stroj opatřen velkým množstvím pojistek. Také omezená dráha beranu, po kterou lze využít maximální tvářecí sílu, představuje nevýhodu.

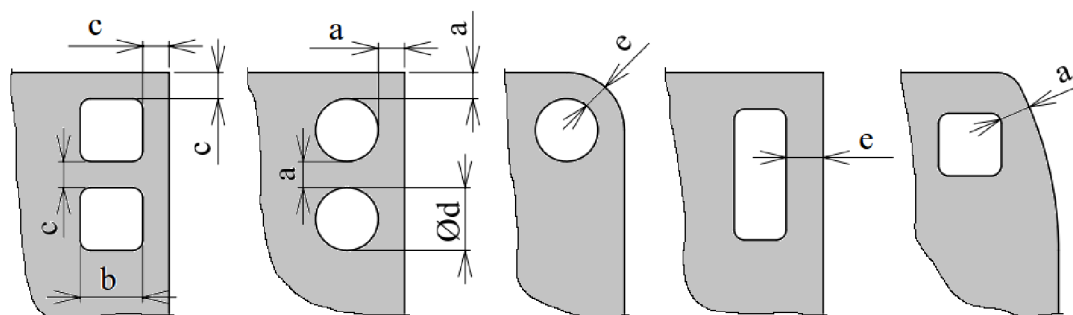


Obr. 41 Klikový lis [43]

2.6 Technologičnost [2], [22], [27], [28], [32], [36], [38], [47]

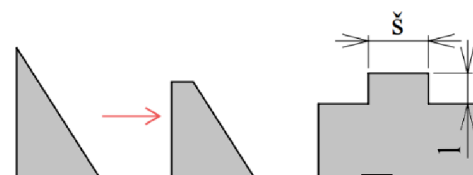
Při návrhu součásti je nutné kontrolovat její technologičnost s ohledem na zvolené technologie výroby. To zaručí vyrobiteľnosť dílu požadované kvality a hospodárnosť celého procesu. Pro stříhání a ohýbání jsou jednotlivé zásady konstrukce:

- Vhodný materiál – pro stříhání může být s maximální mezí pevnosti $1000 \div 1200$ MPa.
- Široké tolerance – jsou výrazně jednodušší dosažitelné. Standardní přesnost stříhání je IT12 až IT14, v případě nástrojů s vedením se zvyšuje na IT9 ÷ IT11. Při velkém zvyšování přesnosti výrazně stoupají náklady na nástroj, který musí být vyroben s přesností asi o tři stupně vyšší. Stejně tak se nedoporučuje předepisovat drsnost střížné plochy, která při stříhání dosahuje hodnot v rozmezí $Ra = 3,2 \div 6,3$ μm .



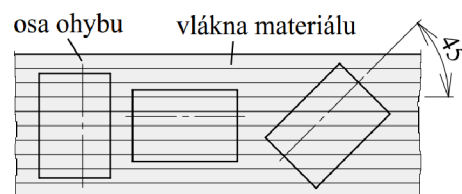
Obr. 42 Technologičnost výstřížku [2]

- Minimální velikost otvoru – pro měkkou a středně měkkou ocel je $\varnothing d = t_0$. Pro hranaté otvory je tato hodnota $b = 0,8 \cdot t_0$ (obr. 42).
- Vzdálenost mezi obrysy – u stříhaných otvorů se liší podle jejich tvaru (obr. 42) a jednotlivé hodnoty pro středně tvrdou ocel jsou $a \geq 0,8 \cdot t_0$; $c \geq t_0$; $e \geq 1,5 \cdot t_0$. Pro měkkou ocel se jejich velikosti zvětšují o 20 ÷ 25 %.
- Ostré rohy výstřížků – by měly být sražené, nebo zaoblené (obr. 43).
- Vyčnívající výstupky – musí splňovat minimální rozměry (obr. 43). Jejich minimální šířka musí být $\check{s} = 1,5 \cdot t_0$ a výška $l = 1,2 \cdot t_0$.



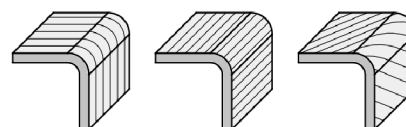
Obr. 43 Úprava tvaru a rozměr výstupků [47]

- Výhodnější tvar – je při děrování kruhový otvor. Ten ale není optimální při vystříhování kvůli špatnému využití materiálu.
- Umístění ohybů – je nejvhodnější kolmo na směr vláken (obr. 44) vzniklých válcováním. Při umístění čáry ohybu podél vláken hrozí vznik trhlin v krajních vláknech, a proto se musí zvětšit hodnota minimálního poloměru. Pokud je na součásti nutné vyrobit dva ohyby jiným směrem, je vhodné vlákna materiálu orientovat k ose ohybu pod úhlem, nejlépe 45° .
- Ztenčení průřezu – ke kterému u ohybu dochází se připouští asi 20 %.

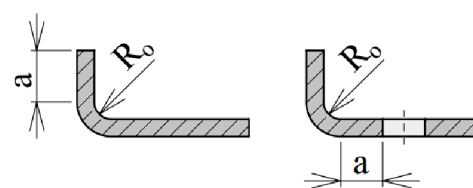


Obr. 44 Umístění ohybku [32]

- Zmenšení odpružení – je možné dosáhnout volbou malého poloměru ohybu, ale ne menšího, než je jeho minimální hodnota. Odpružení lze také zmenšit kalibrováním.



- Minimální délka ohýbaného ramene – musí mít délku alespoň $a \geq 2 \cdot t_0$ (obr. 45). Pokud je požadováno rameno kratší, musí se ohnout podle této podmínky a následně odstříhnout.



Obr. 45 Technologičnost ohybku [28]

- Vzdálenost otvoru od ohybu – je nutné dodržet tak, aby při provedení ohybu nedošlo k deformaci otvoru. Minimální hodnota je $a \geq 2 \cdot t_0$ (obr. 45).

- Úzké tolerance – pro ohýbané tvary není vhodné předepisovat.

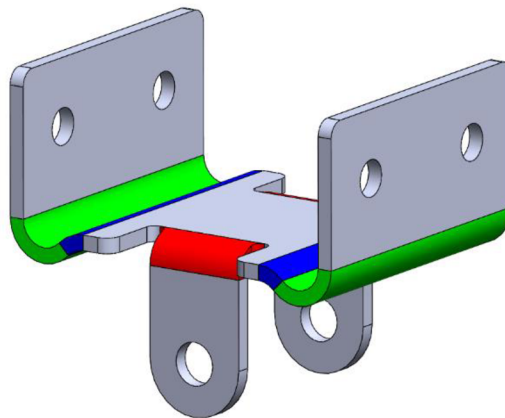
- Okraje polotovaru – v místě ohybu je vhodné mít okraje kolmé na osu ohybu. Pokud tomu tak není, dochází v okrajích k větší deformaci a ty tak nemají správnou geometrii.
- Složité součásti – které jsou tvořeny více ohyby je vhodné navrhovat tak, aby jich na součásti bylo co nejméně a aby je bylo možné daným nástrojem vyrobit.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY [48]

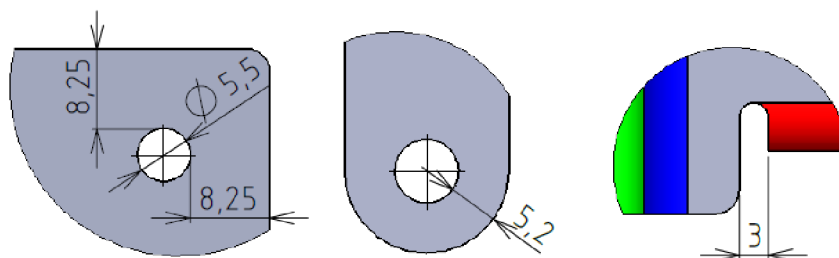
Vyráběnou součástí je plech pro televizní držák (obr. 46). Jako nejvhodnější výrobní postup byl zvolen sružený nástroj kombinující technologii stříhání a ohýbání. Díl se vyrábí v sérii čítající 30 000 kusů ročně a je z konstrukční oceli S235JR o tloušťce 2,5 mm. Číslo výkresu součásti je 2020_DP_182815_1.

Netolerované rozměry součásti mají mezní odchylky předepsány normou ČSN ISO 2768-mK. Při stříhání v nástroji s vedením se dosahuje přesnosti IT9 ÷ IT11, což splňuje požadavky na přesnost dané výkresem.

Dále je nutné zkontrolovat kritéria technologičnosti pro stříhání. Minimální průměr stříhaného otvoru je 5,5 mm (obr. 47), což je více než minimum o velikosti $\phi d = t_0 = 2,5 \text{ mm}$ a podmínka je tak splněna. Pro stříhaný podélný otvor o šířce 3 mm (obr. 47) je minimální hodnota $0,8 \cdot t_0 = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ mm}$ a jeho velikost podmínce vyhovuje. Také se musí zkontrolovat vzdálenosti otvorů od hrany součásti. Při umístění otvorů u rohu je minimální vzdálenost od okraje $0,8 \cdot t_0 = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ mm}$. Mezera mezi otvory průměru 5,5 mm a okrajem je 8,25 mm (obr. 47) a podmínka je tak také splněna. U díry 6,6 mm je minimální vzdálenost od zaoblení $1,5 \cdot t_0 = 1,5 \cdot 2,5 = 3,75 \text{ mm}$ a skutečná hodnota 5,2 mm (obr. 47) kritériu vyhovuje.



Obr. 46 3D model součásti

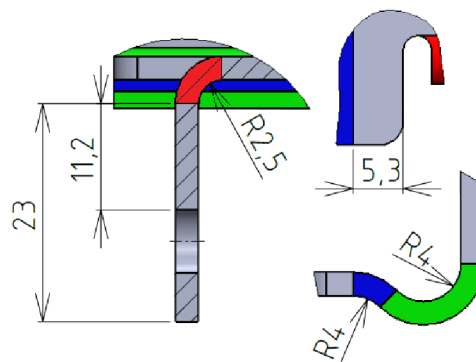


Obr. 47 Kritická místa výstřižku

Nyní je důležité zkontrolovat technologická kritéria pro ohýbání. Minimální velikost ohýbaného ramene je $2 \cdot t_0 = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ mm}$. Na součásti je nejmenší rameno dlouhé 5,3 mm (obr. 48) a kritérium je splněno. Jednotlivé otvory musí být od ohybů dostatečně vzdáleny tak, aby nedošlo k deformaci jejich tvaru. Minimální hodnota je stejná jako pro délku ramene a nejbližší otvor je od ohybu vzdálen 11,2 mm (obr. 48), což podmínku také splňuje. Dále je důležité správně určit minimální poloměr ohybu pro danou tloušťku a druh materiálu podle rovnice (2.6):

$$R_{min} = c_o \cdot t_0 = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ mm},$$

kde: c_o – pro ocel S235JR zvoleno $c_o = 0,8$.
Na součásti je nejmenší poloměr ohybu o velikosti 2,5 mm a podmínce vyhovuje. Ovšem při umístění ohybu rovnoběžně s vlákny materiálu je nutné minimální hodnotu zvětšit na 4 mm. Tuto velikost splňuje poloměr ohybu u širších ramen, který je proto vhodnější



Obr. 48 Technologičnost ohybů

orientovat na polotovaru rovnoběžně se směrem válcování. Pokud je nutné součást orientovat jinak, je vhodné poloměr ohybu, který je rovnoběžný s vlákny materiálu, zvětšit na potřebnou hodnotu. Druhou možností je ponechání původní velikosti, ověření během výroby testovací série a případné upravení nástroje.

Vhodné je také zkontrolovat velikost maximálního poloměru, který lze určit rovnicí (2.7):

$$R_{max} = \frac{t_0}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{2,5}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{306} - 1 \right) = 856,6 \text{ mm},$$

kde: $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa; modul pružnosti v tahu pro ocelové materiály,
 $Re = 306$ MPa; mez kluzu materiálu z tabulky 1.

Z vypočítané hodnoty maximálního poloměru je patrné, že všechny ohyby mají poloměr výrazně menší a podmínku tak splňují.

3.1 Rozvinutý tvar

Aby měl výsledný ohybek správné rozměry, je nutné určit velikost rozvinutého tvaru s ohledem na posunutí ploch nulového prodloužení. U rovných úseků dílu k posunutí nedochází a jejich délky se poté sečtou s délkami jednotlivých oblouků, u kterých už se ale musí se změnou polohy počítat. Vzhledem k tomu, že na součásti jsou ohyby ve dvou směrech, stanoví se výchozí délka pro každý směr zvlášť. Podélné rozměry jsou označeny indexem 'x' a příčné indexem 'y'. Délky rovných úseků jsou podle náčrtu (obr. 49), na kterém jsou znázorněny i délky jednotlivých oblouků, jejichž velikosti jsou spočítány podle rovnice (2.9):

$$l_{xo1} = l_{xo4} = \frac{\pi \cdot \gamma_{x1}}{180} \cdot \rho_{0x} = \frac{\pi \cdot 135}{180} \cdot 5,09 = 11,99 \text{ mm},$$

kde: $\gamma_{x1} = 135^\circ$,

ρ_{0x} – poloměr plochy nulového prodloužení pro ohyb o poloměru 4 mm; dán rovnicí (2.5):

$$\rho_{0x} = R_{ox} + x_x \cdot t_0 = 4 + 0,435 \cdot 2,5 = 5,09 \text{ mm},$$

kde: $R_{ox} = 4$ mm; poloměr ohybu ve směru 'x',

$x_x = 0,435$; stanoveno pomocí lineární aproximace pro relativní poloměr ohybu o velikosti $\frac{R_{ox}}{t_0} = \frac{4}{2,5} = 1,6$ (tab. 2).

Výsledek je vhodné pro další výpočty zaokrouhlit na hodnotu 12,0 mm.

$$l_{xo2} = l_{xo3} = \frac{\pi \cdot \gamma_{x2}}{180} \cdot \rho_{0x} = \frac{\pi \cdot 45}{180} \cdot 5,09 = 4,00 \text{ mm},$$

kde: $\gamma_{x2} = 45^\circ$.

$$l_{yo1} = l_{yo2} = \frac{\pi \cdot \gamma_{y1}}{180} \cdot \rho_{0y} = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 3,55 = 5,58 \text{ mm},$$

kde: $\gamma_{y1} = 90^\circ$,

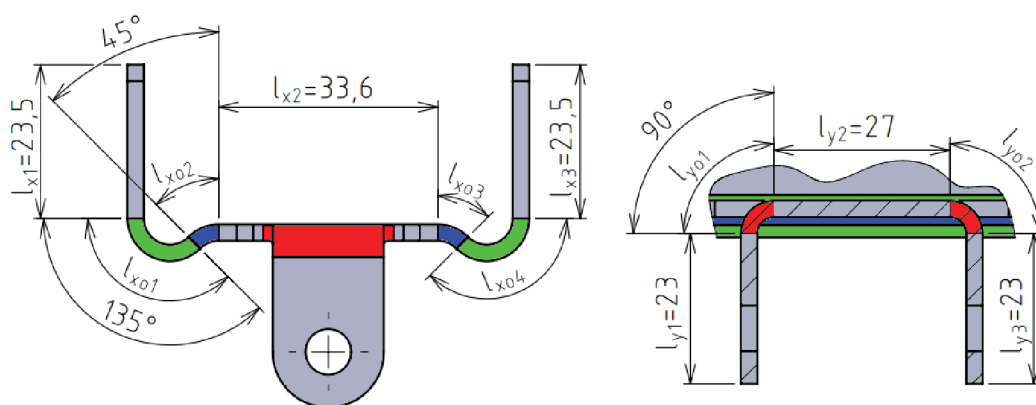
ρ_{0y} – poloměr plochy nulového prodloužení pro ohyb o poloměru 2,5 mm; dán rovnicí (2.5):

$$\rho_{0y} = R_{oy} + x_y \cdot t_0 = 2,5 + 0,42 \cdot 2,5 = 3,55 \text{ mm},$$

kde: $R_{oy} = 2,5$ mm; poloměr ohybu pro směr 'y',

$x_y = 0,42$ pro relativní poloměr ohybu $\frac{R_{oy}}{t_0} = \frac{2,5}{2,5} = 1$ (tab. 2).

Pro další výpočet je hodnota zaokrouhlena na 5,6 mm.



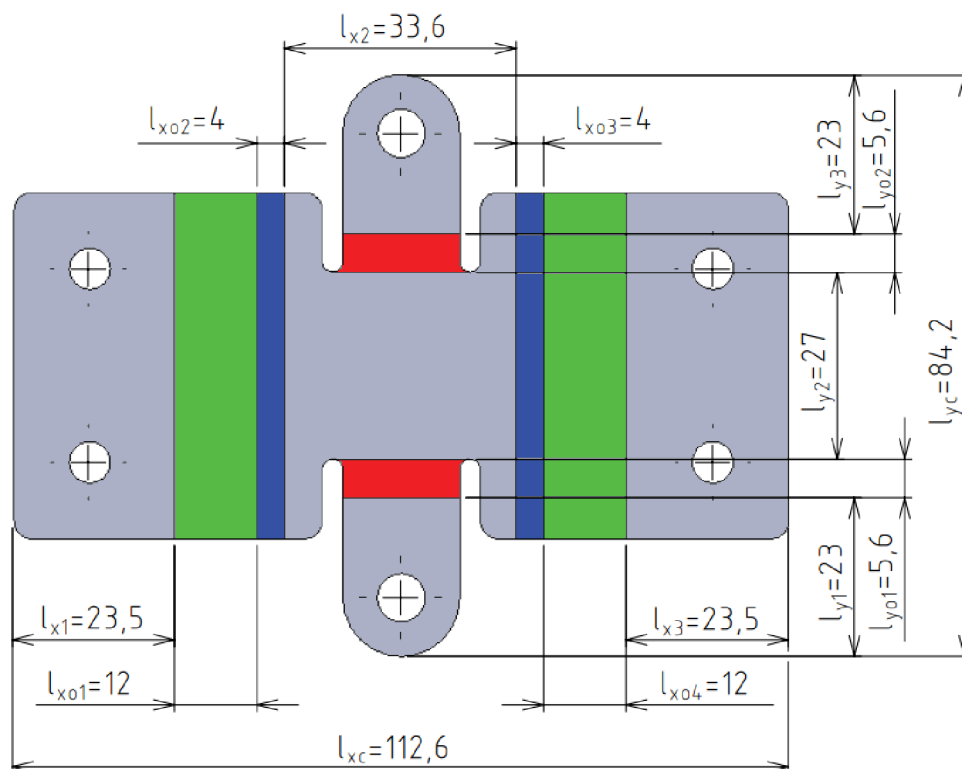
Obr. 49 Rozměry pro výpočet rozměru polotovaru

Konečná délka polotovaru se dostane součtem jednotlivých úseků podle rovnice (2.8):

$$l_{xc} = l_{x1} + l_{x2} + l_{x3} + l_{xo1} + l_{xo2} + l_{xo3} + l_{xo4} = 23,5 + 33,6 + 23,5 + 12 + 4 + 4 + 12 = 112,6 \text{ mm.}$$

$$l_{yc} = l_{y1} + l_{y2} + l_{y3} + l_{yo1} + l_{yo2} = 23 + 27 + 23 + 5,6 + 5,6 = 84,2 \text{ mm.}$$

Celková velikost výstřížku (obr. 50), který se bude následně ohýbat, musí být podle spočítaných hodnot. V podélném směru, ve kterém jsou dva ohyby, je celková délka 112,6 mm a ve směru příčném je tato hodnota 84,2mm.



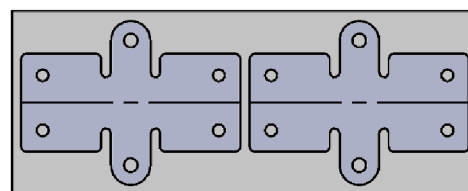
Obr. 50 Rozvinutý tvar součásti

3.2 Umístění výstřížků

Jednotlivé výstřížky se umístí na polotovar tak, aby bylo dosaženo co nejvyššího využití materiálu, ale zároveň aby bylo možné součást vyrobit zvolenou technologií v požadované kvalitě. Ohled je třeba brát na směr válcování plechu a orientaci jednotlivých ohybů vzhledem k jejich směru. Umístění výstřížků lze rozdělit na dvě hlavní skupiny, jednořadé a dvouřadé:

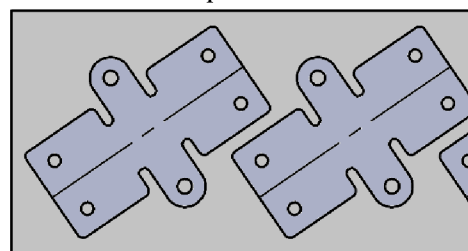
- Jednořadé uspořádání – znamená, že jsou výstřížky umístěny v jedné řadě za sebou. Možnosti, jak orientovat jednotlivé díly jsou:

- Podélně – umísťuje jednotlivé výstřížky do jedné řady za sebe, kdy je delší strana výstřížku orientována po směru posuvu pásu (obr. 51). Výhodou je malá šířka polotovaru a v případě středového spojení výstřížků relativně široký můstek. Nevýhodou je obtížnější poskládání ohybových operací za sebe tak, aby byl zhotovovaný díl celou dobu držen s polotovarem. Směr vláken je zde rovnoběžný s ohyby o poloměru 2,5 mm, a jejich velikosti by bylo třeba upravit.



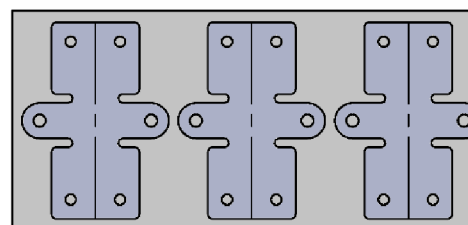
Obr. 51 Jednořadé podélné uspořádání

- Šikmo – znamená, že je podélná osa výstřížku umístěna ke směru vláken pod určitým úhlem (obr. 52). Výhodná je poloha os ohybu vůči směru válcování. Ovšem velkou nevýhodou představuje složitější konstrukce nástroje a obtížné spojení výstřížků mezi jednotlivými operacemi.



Obr. 52 Jednořadé šikmé uspořádání

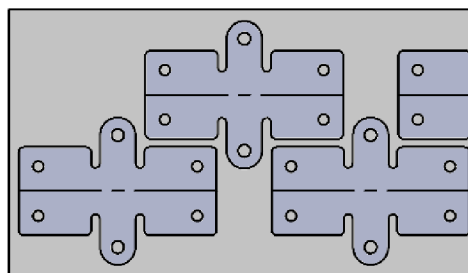
- Příčně – je velmi podobné první možnosti, jen jsou výstřížky umístěny delší stranou kolmo ke směru posuvu (obr. 53). Pro středové držení je zde menší prostor, ale výhodou jsou volná široká ramena, na kterých lze vyrobit ohyby na více kroků a také směr vláken materiálu, který je kolmý k ohybům s menším poloměrem.



Obr. 53 Jednořadé příčné uspořádání

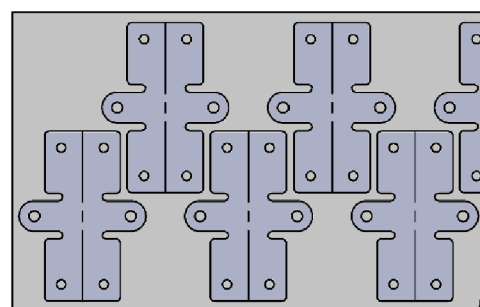
- Dvouřadé uspořádání – umístěním výstřížků do dvou řad zpravidla dochází ke zvýšení využití materiálu a také ke zvýšení produktivity, ovšem za cenu složitější konstrukce nástroje. Možnosti umístění dílů jsou:

- > Podélně – představuje umístění výstřížků do dvou řad podélně se směrem posuvu (obr. 54) a vstřícně, což znamená, že je využito tvaru součásti a jednotlivé výstupky jsou do sebe poskládány a zvyšují tak využití materiálu. Výhodou je vyšší produktivita díky výrobě dvou dílů na jeden zdvih. Nevýhodou je složitost a náklady na výrobu nástroje, který musí v každém kroku pracovat na dvou dílech a mít tak více pracovních částí. Také je v tomto případě složitější udržet díly spojeny až do posledního kroku.



Obr. 54 Dvouřadé podélné uspořádání

- > Příčně – se liší od předchozího stejně jako v případě jednořadého, tedy otočením dílů napříč směru posuvu (obr. 55). Výhodou je vhodnější orientace ohybů vůči vláknům materiálu. Nevýhody tohoto řešení jsou stejně jako u předcházející varianty, tedy složitost a náklady na výroby nástroje.



Obr. 55 Dvouřadé příčné uspořádání

Z možných variant umístění výstřížků není dále uvažováno o dvouřadém uspořádání, u kterého je složitější konstrukce nástroje a výrazně vyšší náklady na jeho výrobu, stejně jako u jednořadého šikmého umístění. Z posledních dvou možných variant bylo jako výhodnější zvoleno příčné uspořádání, kde je jednodušší řešení ohybových operací, které mohou být na více kroků a vhodnější vzájemná poloha ohybů a vláken materiálu.

3.3 Výchozí polotovár [49], [50]

Pro výrobu dílu lze využít dvou základních polotovarů, a to tabulí plechu nebo svitků. Nejprve je nutné určit rozměry, resp. šířku polotovaru 'Š' a délku kroku 'K' s ohledem na velikost nutných přepážek a okrajů. Ty jsou stanoveny z diagramu v příloze 2 a pro největší rozměr součásti 112,6 mm a tloušťku materiálu 2,5 mm je velikost přepážky $e = 4,8$ mm. Hodnota okraje je $f = 10,5$ mm. Nyní je možné určit šířku polotovaru:

$$\begin{aligned} \check{S} &= l_{xc} + f = \\ &= 112,6 + 10,5 = 123,1 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Výsledek je výhodné zaokrouhlit na hodnotu 123 mm.

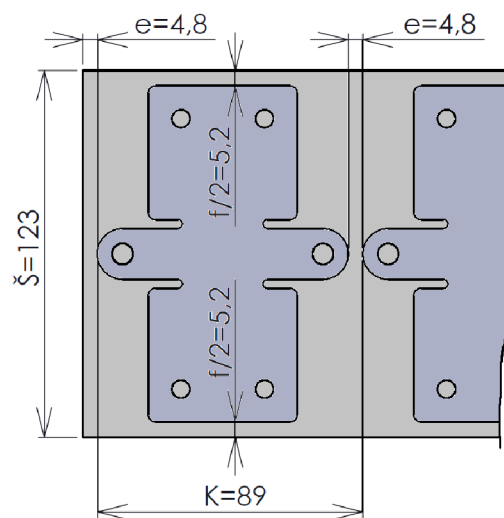
Výsledná šířka polotovaru je tedy $\check{S} = 123$ mm a skutečná velikost okraje po zaokrouhlení má hodnotu $f = 10,4$ mm (obr. 56). Délka kroku je:

$$\begin{aligned} K &= l_{yc} + e = \\ &= 84,2 + 4,8 = 89 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (3.2)$$

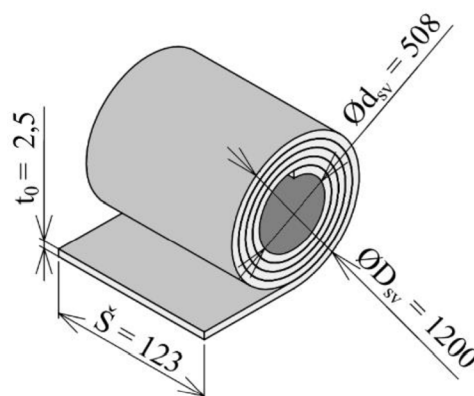
Výsledná velikost potřebné délky kroku je $K = 89$ mm.

Jednotlivé možnosti polotovaru jsou:

- Svitek – je dodáván v potřebné šířce, jeho vnitřní průměr je $d_{sv} = 508$ mm (obr. 57) a maximální vnější průměr byl omezen kvůli snazší manipulaci na $D_{sv} = 1200$ mm. Pro stanovení využití materiálu a celkového množství polotovarů, potřebných pro výrobu celé série, je zapotřebí provést tyto výpočty:
 - Hmotnost materiálu v jednom svitku ' m_{sv} ' – vychází z geometrických rozměrů svitku (obr. 57) a spočítá se:



Obr. 56 Velikost polotovaru, můstku a okraje



Obr. 57 Rozměry svitku

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot \check{S} \cdot \rho = \quad (3.3)$$

$$= \pi \cdot \frac{1200^2 - 508^2}{4} \cdot 123 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 896,31 \text{ kg},$$

kde: ρ – hustota oceli [kg.mm⁻³]; pro ocel S235JR je její hodnota $\rho = 7,85 \cdot 10^{-6}$ kg.mm⁻³.

Zaokrouhleno na hodnotu 896 kg.

- Počet výstřížků z jednoho svitku ' n_{vsv} ':

$$n_{vsv} = \frac{l_{sv} - e}{K} = \frac{371\,180 - 4,8}{89} = 4170,51 \text{ ks}, \quad (3.4)$$

kde: l_{sv} – délka pásu ve svitku [mm], stanoví se:

$$l_{sv} = \frac{m_{sv}}{t_0 \cdot \check{S} \cdot \rho} = \quad (3.5)$$

$$= \frac{896}{2,5 \cdot 123 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 371\,187,41 \text{ mm}.$$

Pro další výpočet zaokrouhleno na 371 180 mm, protože při tak velké délce nelze zajistit vysokou přesnost.

Počet výstřížků z jednoho kusu polotovaru je zaokrouhlen na hodnotu 4170 ks, jelikož lze brát v úvahu pouze celý díl.

- Potřebný počet svitků ' N_{sv} ' – který je nutný pro výrobu celé série:

$$N_{sv} = \frac{30\,000}{n_{vsv}} = \frac{30\,000}{4170} = 7,19 \text{ ks}. \quad (3.6)$$

Počet svitků je zaokrouhlen na hodnotu 8 ks, protože lze dodat pouze celé svitky.

- Využití materiálu pro svitek ' η_{sv} ' – se spočítá rovnicí (2.3):

$$\eta_{sv} = \frac{S_{vsv}}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{23\,937\,369}{45\,655\,140} \cdot 100 = 52,43 \%,$$

kde: S_{vsv} – plocha všech výstřížků ze svitku [mm²]; její velikost je:

$$S_{vsv} = n_{vsv} \cdot S_{1vys} = \quad (3.7)$$

$$= 4171 \cdot 5739 = 23\,937\,369 \text{ mm}^2,$$

kde: S_{1vys} – plocha jednoho výstřížku [mm²]; stanovena pomocí softwaru Solidworks 2017 je $S_{1vys} = 5739 \text{ mm}^2$,

S_{sv} – plocha materiálu ve svitku [mm²], podle rovnice:

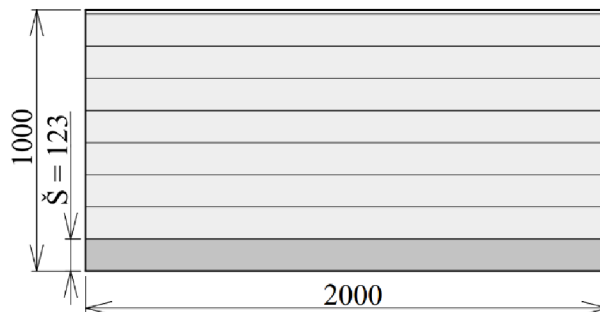
$$S_{sv} = l_{sv} \cdot \check{S} = \quad (3.8)$$

$$= 371\,180 \cdot 123 = 45\,655\,140 \text{ mm}^2.$$

Pro další porovnání je hodnota zaokrouhlena na 52,4 %.

Pro výrobu požadované série je zapotřebí osmi svitků materiálu, u kterých se dosáhne využití materiálu 52,4 %.

- Tabule – představuje druhou možnost. Standardně se dodávají ve třech formátech, a to 1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm a 1500 x 3000 mm, přičemž se bude dále uvažovat pouze nejmenší rozměr, tedy 1000 x 2000 mm, protože se jedná o nejběžnější velikost tabule plechu a manipulace s ní je snazší. Standardně vlákna materiálu, která vznikla při výrobě během válcování, směřují podélně, a proto je uvažováno nastříhání jednotlivých pruhů z tabule plechu pouze v tomto směru (obr. 58) tak, aby byly kolmo na podélnou osu výstřížku. Potřebné výpočty pro určení počtu tabulí a využití materiálu jsou:



Obr. 58 Tabule plechu

- > Počet výstřížků z jedné tabule plechu ' n_{vtab} ':

$$n_{vtab} = n_{pruh} \cdot n_{vpruh} = 8 \cdot 22 = 176 \text{ ks}, \quad (3.9)$$

kde: n_{pruh} – počet pruhů z jedné tabule [ks]:

$$n_{pruh} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{123} = 8,13 \text{ ks}. \quad (3.10)$$

Pro další výpočet je hodnota zaokrouhlena na hodnotu 8 ks, protože se počítá pouze s celými pruhy.

n_{vpruh} – počet výstřížků z jednoho pruhu [ks]:

$$n_{vpruh} = \frac{2000 - e}{K} = \frac{2000 - 4,8}{89} = 22,42 \text{ ks}. \quad (3.11)$$

Zaokrouhleno na hodnotu 22 ks, protože lze počítat pouze s celými výstřížky.

- > Počet tabulí ' N_{tab} ' – které jsou nutné pro zhotovení celé série 30 000 výrobků:

$$N_{tab} = \frac{30\,000}{n_{vtab}} = \frac{30\,000}{176} = 170,45 \text{ ks}. \quad (3.12)$$

Počet polotovarů je zaokrouhlen na hodnotu 171 ks, protože lze dodat pouze celé tabule plechu.

- > Využití materiálu pro tabule plechu ' η_{tab} ' – se určí opět rovnicí (2.3):

$$\eta_{tab} = \frac{S_{vtab}}{S_{tab}} \cdot 100 = \frac{1\,010\,064}{2\,000\,000} \cdot 100 = 50,5 \%,$$

kde: S_{vtab} – plocha všech výstřížků z jedné tabule [mm^2]:

$$S_{vtab} = n_{vtab} \cdot S_{1vys} = 176 \cdot 5739 = 1\,010\,064 \text{ mm}^2, \quad (3.13)$$

S_{tab} – plocha jedné tabule [mm^2], podle rovnice:

$$S_{tab} = 1000 \cdot 2000 = 2\,000\,000 \text{ mm}^2. \quad (3.14)$$

Pro výrobu celé série je třeba 171 tabulí plechu o rozměru 1000 x 2000 mm a celkové využití materiálu je 50,5 %.

Z porovnání obou řešení (tab. 4) plyne, že využitelnost materiálu se liší pouze o 1,9 % a ani jedna možnost tak nenabízí výrazně vyšší využití. V případě použití svitku je nutné brát v potaz, že manipulace s nimi je náročnější, ovšem je jich výrazně méně a z jednoho svitku se vyrobí 4170 dílů. Také je třeba mít ke stroji přídatelné vybavení tvořené odvíjecím, rovinacím a podávacím zařízením. To zvyšuje nutné náklady na strojní vybavení provozu, které

je ale univerzální a lze jej použít i při výrobě jiné součásti. Při volbě polotovaru v podobě tabulí je manipulace s jednotlivými plechy snazší, ale s ohledem na jejich velký počet dochází k velkým časovým prodlevám. Tvářecí stroj v tomto případě nemusí mít přídavné zařízení a podávání pruhů plechu probíhá ručně. Tabule je ale nutné nadělit, a proto je nutné vlastnit tabulové nůžky.

Tab. 4 Porovnání výchozích polotovarů.

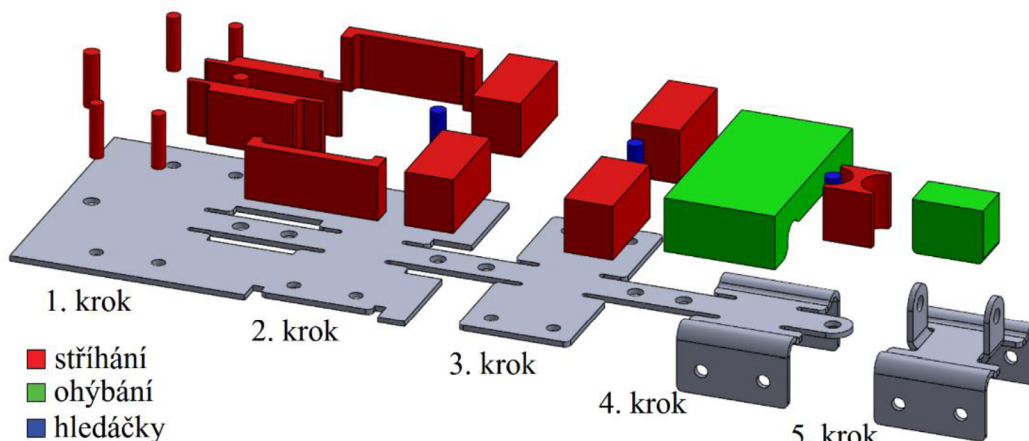
Polotovar	Počet výstřížků z 1 ks polotovaru [ks]	Počet polotovarů [ks]	Využití [%]
Svitek	4170	8	52,4
Tabule	176	171	50,5

Jako výhodnější se proto jeví svitky, které byly zvoleny a umožňují efektivnější výrobu bez velkých časových prodlev během manipulace s materiálem. Stroj musí být vybaven podávacím zařízením, které zajišťuje posun polotovaru o potřebný krok a zároveň díky němu může pracovat poloautomaticky a obsluhou být pouze kontrolován.

3.4 Postup výroby

Pro zvolené rozložení výstřížků na polotovaru je nutné zvolit optimální postup výroby. Jednotlivé střížné a ohybové operace musí být seřazeny tak, aby byla zajištěna vyrobitelnost a potřebná přesnost. Také je důležité brát ohled na spojení výstřížků s pásem plechu v celém nástroji, aby bylo možné posouvat polotovar mezi jednotlivými operacemi a hotová součást byla oddělena až v posledním kroku. Pro jednořadé příčné uspořádání bylo zvažováno několik možností:

- Varianta 1 – spočívá ve výrobě dílu na pět operací (obr. 59). V jednotlivých krocích se provádějí tyto operace:
 - První krok – jsou prostříženy všechny otvory o průměru 5,5 a 6,6 mm.
 - První až druhý krok – dochází k vystřížení odlehčení u užších ramen.
 - Druhý krok – vzniká zde okraj širokých ramen společně se zaoblením rohu.
 - Třetí krok – vystřížení zbylého obrysu širších ramen.
 - Čtvrtý krok – vytvoření kompletního ohybu na širokých ramenech.
 - Čtvrtý až pátý krok – představuje oddělení výstřížku od polotovaru.
 - Pátý krok – dokončení součásti ohnutím úzkých ramen.

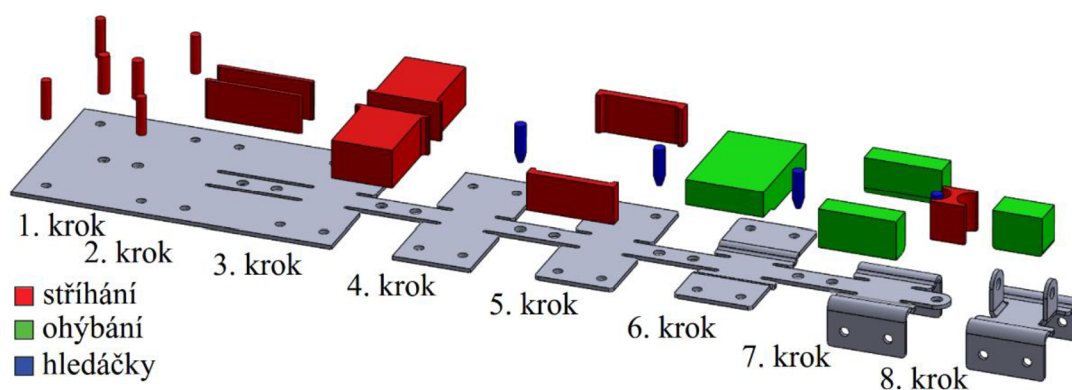


Obr. 59 Výrobní postup – varianta 1

Výhodou tohoto řešení je nízký počet operací, který výrazně zmenšuje nástroj a snižuje náklady na jeho výrobu. Převládají zde ale nevýhody, které představují složité tvary střížníků v prvním a druhém kroku a malé vzdálenosti mezi nimi, které znesnadňují jejich upnutí a umístění střížnic. Největší nevýhoda je ale ve způsobu vytváření ohybu širokých ramen pouze ve čtvrtém kroku. Také je důležité pečlivě odladit zdvihy střížníku a ohybníků v posledních dvou operacích.

➤ Varianta 2 – potřebuje k výrobě součásti 8 operací (obr. 60). Došlo zde ke zjednodušení tvaru střížníků a zlepšení postupu při ohybu širokých ramen. V jednotlivých krocích jsou provedeny tyto operace:

- > První krok – je pouze poloviční a dochází v něm k vystřížení dvou otvorů o průměru 5,5 mm a jednoho o průměru 6,6 mm.
- > Druhý krok – dochází k vytvoření zbylých kruhových otvorů.
- > Druhý až třetí krok – oválným střížníkem je prostříženo odlehčení úzkých ramen.
- > Třetí až čtvrtý krok – dochází k vytvoření bočních obrysů širokých ramen a zaoblení rohu.
- > Pátý krok – představuje prostřížení zbylého obvodu širších ramen spolu se zaoblením rohu.
- > Šestý krok – vytvoření Z-ohybu na širokých ramenech.
- > Sedmý krok – dokončení geometrie širokých ramen ohybem o 90°.
- > Sedmý až osmý krok – oddělení výstřížku a dokončení kompletního obrysu součásti.
- > Osmý krok – ohnutí ohybů na úzkých ramenech a dokončení součásti.



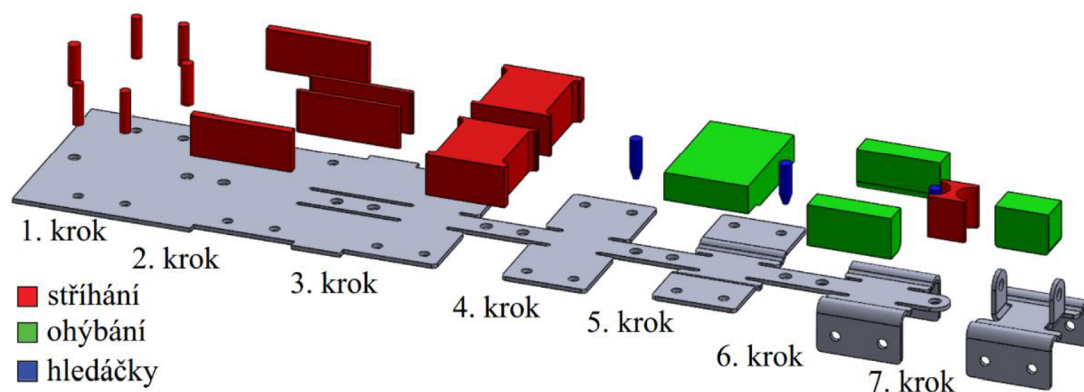
Obr. 60 Výrobní postup – varianta 2

V této variantě došlo ke zjednodušení střížníku zejména mezi druhou a třetí operací a ke zlepšení postupu výroby ohybu na širokých ramenech, které jsou nyní zhotoveny na dvě operace. Dále jsou mezi střížnými operacemi výrazně zvětšeny mezery. Výhodná je i možnost dlouhého bočního vedení polotovaru. Nevýhodou je vysoký počet kroků, které prodlužují nástroj a zvyšují jeho cenu. Stejně jako v předcházející variantě je nutné přesně stanovit zdvihy nástrojů v posledních operacích.

➤ Varianta 3 – se od varianty 2 liší jiným uspořádáním střížných operací a upraveným tvarem střížníků, čímž byl počet kroků snížen na 7 (obr. 61). Postup výroby spočívá v těchto krocích:

- První krok – vystřížení veškerých otvorů s průměrem 5,5 a 6,6 mm.
- Druhý krok – ostřížení okraje pásu a zhotovení vnějšího obrysu širších ramen.
- Druhý až třetí krok – prostřížení odlehčení u užších ramen.

- Třetí až čtvrtý krok – vytvoření bočního obrysu širších ramen spolu se zaoblením rohů.
- Pátý krok – ohnutí širších ramen do tvaru Z.
- Šestý krok – dokončení ohybu na širokých ramenech.
- Šestý až sedmý krok – oddělení dílu a dokončení jeho obrysu.
- Sedmý krok – ohnutí užších ramen o 90° a dokončení součásti.



Obr. 61 Výrobní postup – varianta 3

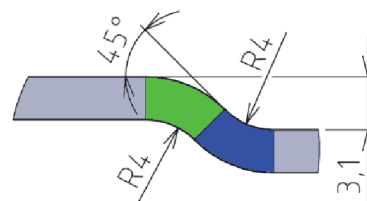
Výhody této možnosti spočívají v jiném seřazení střížných operací, čímž došlo ke snížení počtu kroků na 7, přičemž je mezi nimi dostatečný prostor. Ohybové operace jsou v této variantě shodné s předchozí možností. Menší nevýhodou oproti předešlé možnosti představuje menší prostor pro boční vedení při vstupu pásu do nástroje.

Jako nejvýhodnější varianta výrobního postupu se jeví třetí možnost, která byla také zvolena. Součást je v ní vyrobena na sedm kroků, přičemž první čtyři představují střížné operace. Následují dvě ohybové a poté odstřížení výrobku od polotovaru a dohnutí zbylých ohybů v sedmém kroku. Výhodnější je v tomto případě způsob vytváření ohybů na širších ramenech a rozložení střížných operací.

3.5 Odpružení [48]

Při výrobě ohýbaných součástí se nelze vyhnout odpružení, které je způsobeno elastickou deformací části ohýbaného průřezu. Je nutné jej určit pro každý ohyb a jeho velikost poté porovnat s tolerancí danou výkresem součásti. Pro jednotlivé typy ohybů je velikost odpružení:

- Z-ohyby – při jejich vytváření dochází ke kalibraci ohybů velkou silou. Během tváření vznikají dva totožné ohyby o poloměru 4 mm každý na druhou stranu (obr. 62) a výsledné úhlové odpružení, které je minimální, se tak kompenzuje. Dochází zde pouze ke změně poloměru ohybu, která je v tomto případě velmi malá a pro další výpočty ji lze zanedbat.



Obr. 62 Geometrie Z-ohybu

- Ohyby o 90° o poloměru 4 mm – jsou na součásti na širokých ramenech (obr. 63), tedy v podélném směru, a proto jsou jednotlivé veličiny indexovány písmenem 'x'. Hodnota odpružení se pro ně stanoví rovnicí (2.11):

$$tg\beta_x = 0,75 \cdot \frac{l_{ux}}{k_x \cdot t_0} \cdot \frac{Re}{E}$$

$$\beta_x = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_{ux}}{k_x \cdot t_0} \cdot \frac{Re}{E} \right) =$$

$$= \arctg \left(0,75 \cdot \frac{11,88}{0,565 \cdot 2,5} \cdot \frac{306}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,53^\circ,$$

kde: l_{ux} – vzdálenost středů zaoblení hran nástroje, dána rovnicí (2.12):

$$l_{ux} = R_{ox} + r_m + 1,15 \cdot t_0 =$$

$$= 4 + 5 + 1,15 \cdot 2,5 = 11,875 \text{ mm},$$

kde: r_m – poloměr zaoblení ohybnice, stanovený rovnicí:

$$r_m = (2 \div 6) \cdot t_0 = 2 \cdot t_0 =$$

$$= 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ mm}. \quad (3.15)$$

Pro další výpočet je výsledek zaokrouhlen na hodnotu 11,88 mm.

k_x – součinitel určující polohu neutrální plochy je určen vztahem (2.13):

$$k_x = 1 - x_x = 1 - 0,435 = 0,565.$$

- Ohyby o 90° o poloměru 2,5 mm – tvoří úzká ramena o šířce 17 mm (obr. 64), která jsou v příčném směru a uvažované veličiny jsou proto indexovány písmenem 'y'. Velikost odpružení se pro ně spočítá podle rovnice (2.11):

$$tg\beta_y = 0,75 \cdot \frac{l_{uy}}{k_y \cdot t_0} \cdot \frac{Re}{E}$$

$$\beta_y = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_{uy}}{k_y \cdot t_0} \cdot \frac{Re}{E} \right) =$$

$$= \arctg \left(0,75 \cdot \frac{10,38}{0,58 \cdot 2,5} \cdot \frac{306}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,45^\circ,$$

kde: l_{uy} – vzdálenost středů zaoblení hran nástroje, dána rovnicí (2.12):

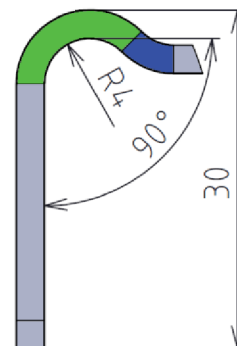
$$l_{uy} = R_{oy} + r_m + 1,15 \cdot t_0 =$$

$$= 2,5 + 5 + 1,15 \cdot 2,5 = 10,375 \text{ mm}.$$

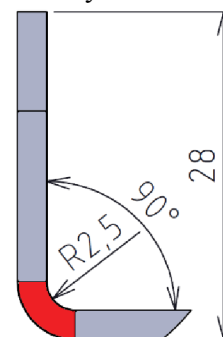
Zaokrouhleno pro další výpočty na hodnotu 10,38 mm.

k_y – součinitel určující polohu neutrální plochy je určen vztahem (2.13):

$$k_y = 1 - x_y = 1 - 0,42 = 0,58.$$



Obr. 63 Ohyb širokých ramen



Obr. 64 Ohyb úzkých ramen

Úhlové tolerance jsou na výkrese součásti předepsány normou ČSN ISO 2768-mK, která udává pro mezní úchylku úhlu pro délku nejkratšího ramene 10 ÷ 50 mm hodnotu ± 0,5°. U ohybů s poloměrem 4 mm je tato hodnota překročena a je tak nutné upravit funkční části nástroje pro snížení velikosti odpružení. U ohybu užších ramen s poloměrem 2,5 mm velikost změny úhlu sice splňuje mezní hodnotu, ale je na samém okraji tolerančního pole a i s mírným opotřebením nástroje by mohlo dojít k jejímu překročení. Proto je vhodné upravit geometrii nástroje i pro tento ohyb.

3.6 Síly a práce [51]

Nyní je nutné určit potřebnou sílu a tvářecí práci pro každou operaci:

➤ Stříhání:

- Střížná síla – postup jejího výpočtu je analogický pro všechny střížníky (tab. 5), přičemž se mění pouze velikost délky stříhu. Vzorový výpočet síly 'F_{S1}' pro střížník o průměru 5,5 mm se spočítá dle rovnice (2.15):

$$F_{S1} = n \cdot t_0 \cdot L_1 \cdot \tau_s = 1,35 \cdot 2,5 \cdot 17,29 \cdot 314 = 18\,323,08\,N = 18,3\,kN,$$

kde: $n = (1,2 \div 1,5)$, zvolena hodnota $n = 1,35$,

L_1 – délka křivky stříhu, pro kruhový střížník je dána obvodem kruhu:

$$L_1 = \pi \cdot d_{s1} = \pi \cdot 5,5 = 17,29\,mm, \quad (3.16)$$

kde: $d_{s1} = 5,5\,mm$; průměr střížníku,

τ_s – střížný odpor stanovený rovnicí (2.17):

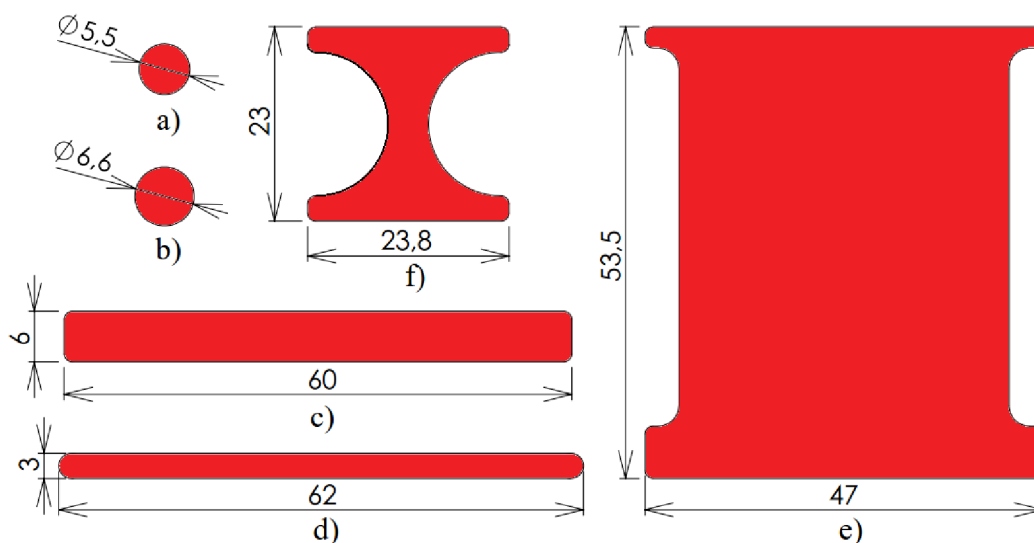
$$\tau_s = 0,8 \cdot Rm = 0,8 \cdot 393 = 314,4\,MPa,$$

kde: $Rm = 393\,MPa$; mez pevnosti v tahu z tabulky 1.

Hodnota je pro další výpočet zaokrouhlena na 314 MPa.

Tab. 5 Střížné síly.

Střížník	Střížná síla F _{Si} [kN]	Počet [ks]	Celková střížná síla F _{SCi} [kN]
1 – Ø5,5 mm (obr. 65a)	18,3	4	73,2
2 – Ø6,6 mm (obr. 65b)	22,0	2	44,0
3 – ostříhovací (obr. 65c)	74,6	2	149,2
4 – oválný (obr. 65d)	135,0	2	270,0
5 – tvarový obrys (obr. 65e)	101,0	2	202,0
6 – tvarový rozstříhovací (obr. 65f)	56,6	1	56,6



Obr. 65 Tvary a základní rozměry střížníků

- Střížná práce – se určí podobně jako síla pro každý střížník (tab. 6). Vzorový výpočet pro střížník o průměru 5,5 mm je proveden podle rovnice (2.19):

$$A_{S1} = \lambda \cdot F_{S1} \cdot h = 0,53 \cdot 18,3 \cdot 2,5 = 24,25 \text{ J},$$

kde: $h = t_0 = 2,5 \text{ mm}$; dráha nástroje.

Velikost je pro další výpočty zaokrouhlena na 24,3 J.

Tab. 6 Střížné práce.

Střížník	Střížná práce A_{Si} [J]	Počet [ks]	Celková práce A_{SCi} [J]
1 – Ø5,5 mm	24,3	4	97,2
2 – Ø6,6 mm	29,2	2	58,4
3 – ostříhovací	98,9	2	197,8
4 – oválný	178,9	2	357,8
5 – tvarový obrys	133,8	2	267,6
6 – tvarový rozstříhovací	75,0	1	75,0

Celková střížná síla ' F_{SC} ' – se stanoví jednoduchým součtem všech dílčích výsledků:

$$F_{SC} = \sum_{i=1}^6 F_{SCi} = \quad (3.17)$$

$$= 73,2 + 44,0 + 149,2 + 270,0 + 202,0 + 56,6 = 795 \text{ kN}.$$

Celková střížná práce je stanovena opět součtem:

$$A_{SC} = \sum_{i=1}^6 A_{SCi} = \quad (3.18)$$

$$= 97,2 + 58,4 + 197,8 + 357,8 + 267,6 + 75,0 = 1053,8 \text{ J}.$$

Pro další výpočet je možné hodnotu zaokrouhlit na 1054 J.

- Ohýbání – tvářecí síly je nutné určit i pro jednotlivé ohyby, které tvoří výsledný tvar součásti:

- Z-ohyb – celková ohybová síla ' F_{oc1} ' pro vytvoření ohybu (obr. 66) se stanoví podle rovnice:

$$F_{oc1} = F_{o1} + F_{p1} + F_{k1} = 26,4 + 6,6 + 66 = 99 \text{ kN}, \quad (3.19)$$

kde: F_{o1} – ohybová síla, spočítaná podle rovnice (2.20):

$$F_{o1} = \frac{0,4 \cdot Rm \cdot b_1 \cdot t_0^2}{l_{u1}} =$$

$$= \frac{0,4 \cdot 393 \cdot 200 \cdot 2,5^2}{7,44} = 26\,411,29 \text{ N} = 26,41 \text{ kN},$$

kde: b_1 – šířka ohýbaného plechu, vznikají čtyři ohyby o šířce 50 mm, proto je $b_1 = 200 \text{ mm}$,

l_{u1} – vzdálenost zaoblení ohybníku a ohybnice, dle geometrie (obr. 66) je $l_{u1} = 7,44 \text{ mm}$.

Pro další výpočet je velikost síly zaokrouhlena na 26,4 kN.

F_{p1} – přidržovací síla, dána rovnicí:

$$F_{p1} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{o1} = 0,25 \cdot F_{o1} = 0,25 \cdot 26,4 = 6,6 \text{ kN},$$

kde: hodnota koeficientu zvolena 0,25,

F_{k1} – kalibrační síla, určena rovnicí:

$$F_{k1} = (2,5 \div 3) \cdot F_{o1} = 2,5 \cdot F_{o1} = 2,5 \cdot 26,4 = 66 \text{ kN},$$

kde: hodnota koeficientu zvolena 2,5.

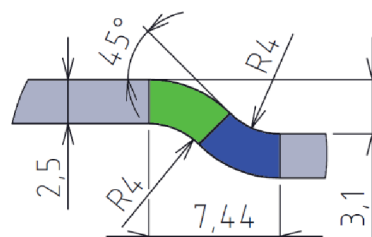
Po stanovení celkové potřebné síly pro vytvoření Z-ohybu je důležité určit velikost přetvárné práce.

Ta se spočítá pomocí rovnice (2.21):

$$A_{o1} = \frac{1}{6} \cdot F_{oc1} \cdot h_1 = \frac{1}{6} \cdot 99 \cdot 3,1 = 51,15 \text{ J},$$

kde: h_1 – dráha nástroje, v tomto případě je dle geometrie (obr. 66) $h_1 = 3,1 \text{ mm}$.

Pro další výpočty je její velikost zaokrouhlena na hodnotu 51,2 J.



Obr. 66 Z-ohyb

- Ohyb širších ramen o 90° – představuje dokončení tvaru ramen (obr. 67) o šířce 50 mm. Potřebná síla ' F_{oc2} ' pro vytvoření tohoto ohybu je stanovena rovnicí (3.19):

$$F_{oc2} = F_{o2} + F_{p2} = 8,3 + 2,1 = 10,4 \text{ kN},$$

kde: F_{o2} – ohybová síla, spočítaná podle rovnice (2.20):

$$F_{o2} = \frac{0,4 \cdot Rm \cdot b_2 \cdot t_0^2}{l_{u2}} = \frac{0,4 \cdot 393 \cdot 100 \cdot 2,5^2}{11,88} = 8270,2 \text{ N} = 8,27 \text{ kN},$$

kde: b_2 – šířka ohýbaného plechu, vznikají dva ohyby o šířce 50 mm, proto je $b_2 = 100 \text{ mm}$,

$l_{u2} = l_{ux} = 11,88 \text{ mm}$ (obr. 67).

Pro další postup je výsledek zaokrouhlen na 8,3 kN.

F_{p2} – přidržovací síla, daná rovnicí (3.20):

$$F_{p2} = 0,25 \cdot F_{o2} = 0,25 \cdot 8,3 = 2,08 \text{ kN}.$$

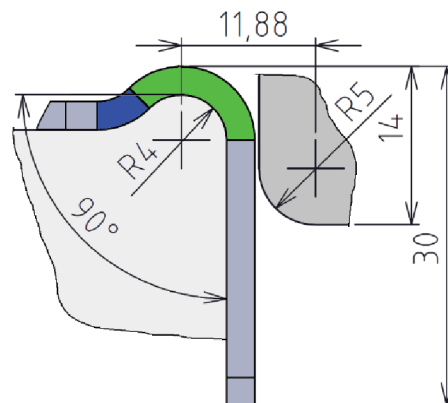
Hodnota je zaokrouhlena na 2,1 kN.

Velikost tvářecí práce pro výrobu tohoto ohybu se spočítá podle rovnice (2.21):

$$A_{o2} = \frac{1}{6} \cdot F_{oc2} \cdot h_2 = \frac{1}{6} \cdot 10,4 \cdot 14 = 24,27 \text{ J},$$

kde: h_2 – dráha nástroje, v tomto případě (obr. 67) je $h_2 = 14 \text{ mm}$.

Pro další výpočet je výsledná hodnota zaokrouhlena na 24,3 J.



Obr. 67 Ohyb s poloměrem 4 mm

- Ohyb úzkých ramen o 90° – s poloměrem ohybu 2,5 mm, pro který je celková síla určena dle rovnice (3.19):

$$F_{oc3} = F_{o3} + F_{p3} = 3,2 + 0,8 = 4 \text{ kN},$$

kde: F_{o3} – ohybová síla, stanovená dle rovnice (2.20):

$$F_{o3} = \frac{0,4 \cdot Rm \cdot b_3 \cdot t_0^2}{l_{u3}} = \frac{0,4 \cdot 393 \cdot 34 \cdot 2,5^2}{10,38} = 3218,21 \text{ N} = 3,22 \text{ kN},$$

kde: b_3 – šířka ohýbaného plechu, vznikají dva ohyby o šířce 17 mm, proto je $b_3 = 34$ mm, $l_{u3} = l_{uy} = 10,38$ mm (obr. 68).

Pro další použití je výsledek zaokrouhlen na 3,2 kN.

F_{p3} – přidržovací síla, spočítaná podle rovnice (3.20):

$$F_{p3} = 0,25 \cdot F_{o3} = 0,25 \cdot 3,2 = 0,8 \text{ kN}.$$

Pro tento ohyb je velikost práce:

$$A_{o3} = \frac{1}{6} \cdot F_{oc3} \cdot h_3 = \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 14 = 9,33 \text{ J},$$

kde: h_3 – dráha nástroje je $h_3 = 14$ mm (obr. 68).

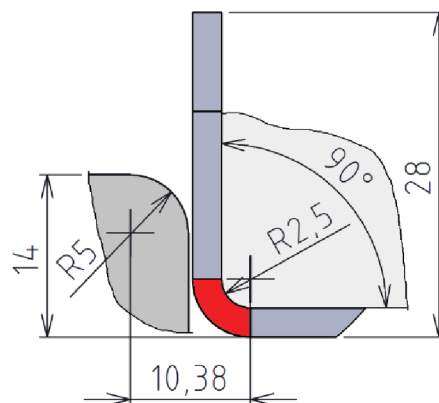
Pro další výpočet je její velikost zaokrouhlena na 9,3 J.

Celková síla pro vytvoření všech ohybů je daná součtem jednotlivých výsledků dle rovnice (3.17):

$$F_{oc} = \sum_{i=1}^3 F_{oci} = 99 + 10,4 + 4 = 113,4 \text{ kN}.$$

Celková ohybová práce je daná rovnicí (3.18):

$$A_{oc} = \sum_{i=1}^3 A_{oci} = 51,2 + 24,3 + 9,3 = 84,8 \text{ J}.$$

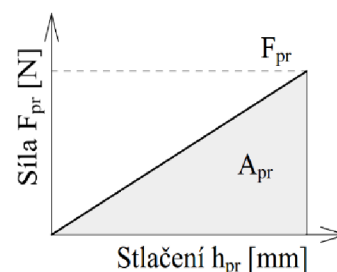


Obr. 68 Ohyb s poloměrem 2,5 mm

- Pružné elementy – do výpočtu velikosti celkové síly a práce je nutné započítat i pružné elementy, resp. pružiny, které budou použity při konstrukci nástroje. Jedná se především o odpružení vodící desky. Podle zvoleného výrobního postupu (obr. 61) musí vodící deska přenést sílu pro vytvoření ohybu v pátém kroku. Proto byla velikost síly od pružných částí nástroje stanovena na $F_{pr} = 105$ kN, přičemž je zde započítána rezerva pro další použité pružiny. Průběh síly (obr. 69) je lineární a velikost práce pro stlačení pružin h_{pr} se stanoví podle rovnice:

$$A_{pr} = \frac{1}{2} \cdot F_{pr} \cdot h_{pr} = \frac{1}{2} \cdot 105 \cdot 20 = 1050 \text{ J}, \quad (3.22)$$

kde: $h_{pr} = 20$ mm; stanoveno odhadem z výrobního postupu (obr. 61).



Obr. 69 Průběh síly pružiny [51]

Z dílčích výsledků pro jednotlivé technologie a operace je nyní nutné určit celkovou tvářecí sílu, která je potřebná pro výrobu zadané součásti:

$$F_C = F_{SC} + F_{oc} + F_{pr} = 795 + 113,4 + 105 = 1013,4 \text{ kN.} \quad (3.23)$$

Pro další výpočty je tato hodnota zaokrouhlena na 1013 kN.

Celková přetvárná práce pro výrobu kompletní součásti je:

$$A_C = A_{SC} + A_{oc} + A_{pr} = 1054 + 84,8 + 1050 = 2188,8 \text{ J} = 2,19 \text{ kJ.} \quad (3.24)$$

Tato hodnota je pro další použití zaokrouhlena na hodnotu 2,2 kJ.

Pro zhotovení kompletní součásti sdruženým postupovým nástrojem je třeba celková tvářecí síla o velikosti 1013 kN a celková tvářecí práce 2,2 kJ. Pro tyto hodnoty musí být zvolen vhodný tvářecí stroj. Spočítaná velikost síly je maximální absolutní hodnotou a ve skutečnosti bude celková síla menší, s ohledem na rozdílnou délku některých nástrojů, u nichž budou jednotlivé síly dosahovat maxima v jiném čase. Tento fakt je ale zanedbán a pouze poskytuje dostatečnou rezervu pro výkon stroje.

3.6.1 Těžiště sil

Po stanovení celkové tvářecí síly je nutné určit místo jejího působení neboli její těžiště, do kterého se umístí upínací stopka tak, aby při výrobě nedocházelo k přičení horní poloviny nástroje vůči spodní. Rozměrnější nástroje jsou často do stroje připevněny upínkami a i v tomto případě je vhodné nástroj umístit tak, aby těžiště sil bylo v ose stroje.

Pro určení jeho polohy je v tomto případě použita metoda výpočetní, která je pro větší počet sil výhodnější a výsledky jsou přesnější. Nejprve se určí dílčí těžiště pro jednotlivé kroky, resp. stejné nástroje. Vzhledem k tomu, že všechny operace jsou rozloženy symetricky k podélné ose, leží poloha těžiště v příčném směru právě na této ose. Výpočtem se poté určí poloha v podélném směru pomocí dílčích těžišť (obr. 70) rovnicí (2.22):

$$X = \frac{F_{SC} \cdot X_S + F_{oc} \cdot X_o + F_{pr} \cdot x_{pr}}{F_{SC} + F_{oc} + F_{pr}} =$$

$$= \frac{795 \cdot 200,3 + 113,4 \cdot 417,3 + 105 \cdot 313,9}{795 + 113,4 + 105} = 236,35 \text{ mm,}$$

kde: X_S – poloha těžiště střižných sil, dána rovnicí (2.22):

$$X_S = \frac{\sum_{i=1}^6 F_{SCi} \cdot x_{Si}}{\sum_{i=1}^6 F_{SCi}} =$$

$$= \frac{73,2 \cdot 46,9 + 44,0 \cdot 46,9 + 149,2 \cdot 135,9}{73,2 + 44,0 + 149,2} +$$

$$+ \frac{270,0 \cdot 180,4 + 202,0 \cdot 269,4 + 56,6 \cdot 536,4}{270,0 + 202,0 + 56,6} = 200,33 \text{ mm.}$$

Pro další použití je hodnota zaokrouhlena na 200,3 mm.

X_o – poloha těžiště ohybových sil, stanovená dle rovnice (2.22):

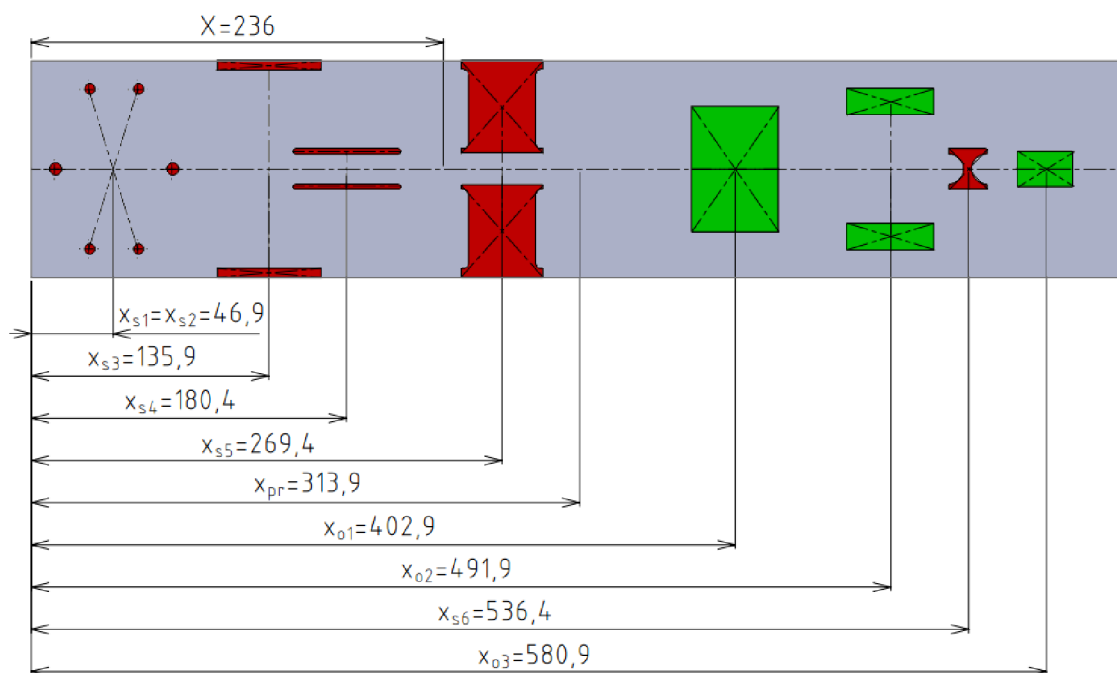
$$X_o = \frac{F_{oc1} \cdot x_{o1} + F_{oc2} \cdot x_{o2} + F_{oc3} \cdot x_{o3}}{F_{oc1} + F_{oc2} + F_{oc3}} =$$

$$= \frac{99 \cdot 402,9 + 10,4 \cdot 491,9 + 4 \cdot 580,9}{99 + 10,4 + 4} = 417,34 \text{ mm.}$$

Pro další výpočty zaokrouhleno na 417,3 mm.

x_{pr} – vzdálenost těžiště pružících elementů (obr. 70) je $x_{pr} = 313,9$ mm.

Výsledná velikost je pro další použití zaokrouhlena na hodnotu 236 mm.

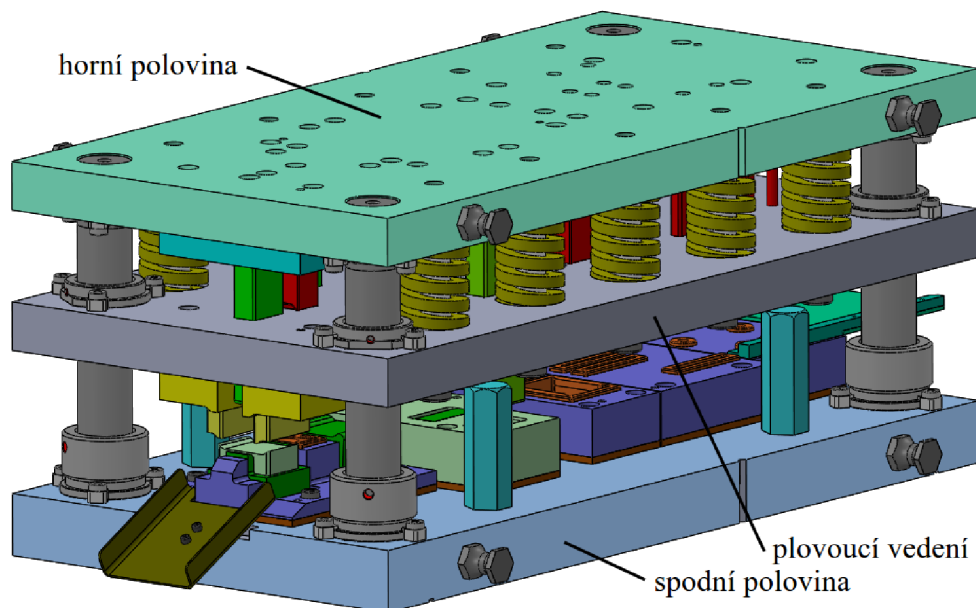


Obr. 70 Těžiště sil

Z vypočítaného řešení je patrné, že poloha těžiště v podélném směru leží ve vzdálenosti 236 mm od okraje plechu v první operaci (obr. 70). V příčném směru je díky symetrii jednotlivých operací uprostřed. Do tohoto místa je nutné umístit stopku nástroje, za kterou bude upnut do beranu stroje. V případě držení pomocí upínek je vhodné nástroj umístit tak, aby těžiště sil leželo co nejbližší k ose stroje.

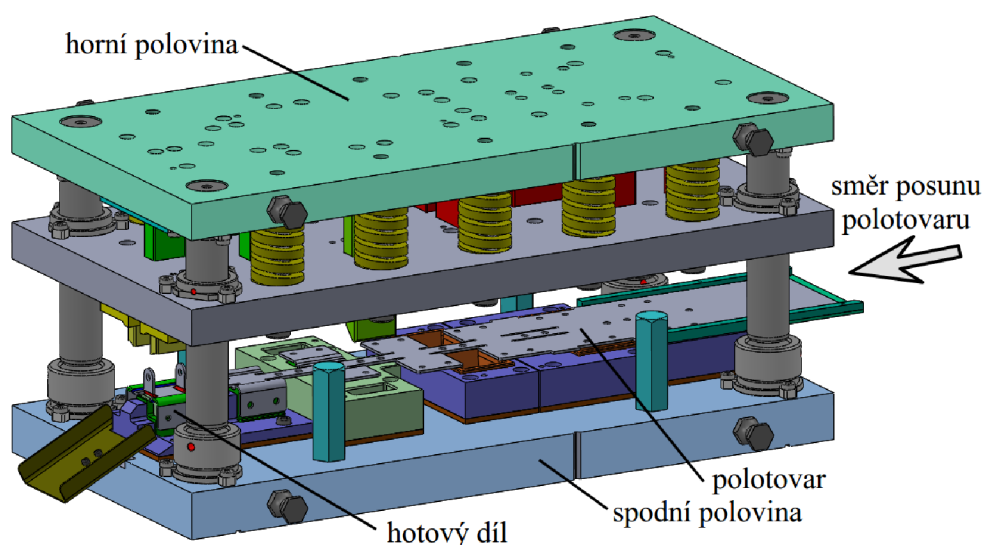
3.7 Konstrukční řešení nástroje

Při konstrukci nástroje je třeba vycházet ze zvoleného výrobního postupu, kterým se řídí tvary a rozmístění základních funkčních částí. Nástroj byl navržen pomocí programu Solidworks 2017 a lze jej rozdělit na dvě hlavní části, spodní polovinu a horní polovinu s plovoucím vedením, jak ukazuje 3D model (obr. 71).



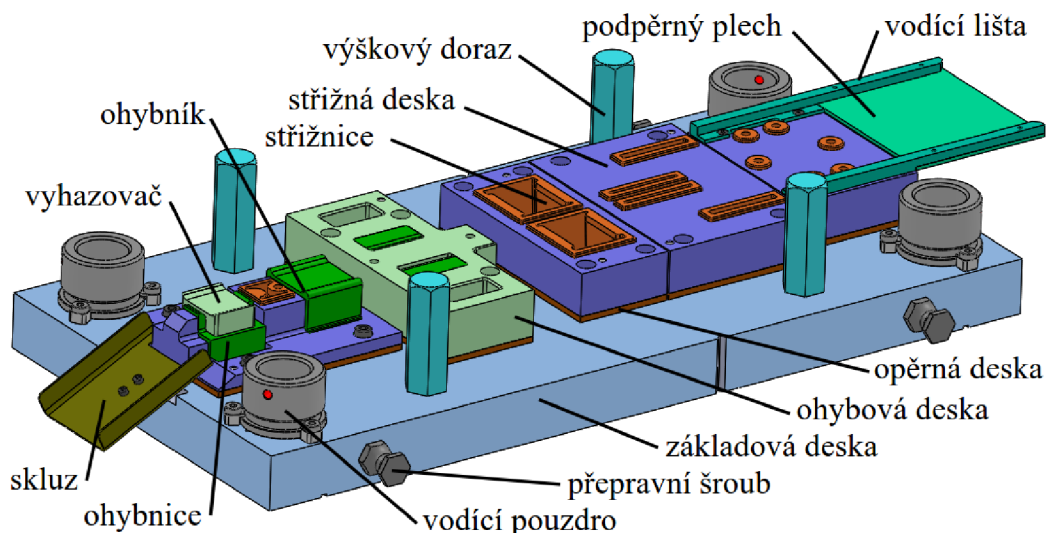
Obr. 71 3D model sduženého nástroje

Plechový polotovár ve formě svitku je do nástroje vkládán a posouván o potřebnou délku jednoho kroku pomocí podávacího zařízení. Plech leží na spodní polovině nástroje a jednotlivé tvářecí operace zajišťuje pohyb horní poloviny. Ta nejdříve klesá spolu s odpruženým plovoucím vedením až do okamžiku, kdy se dotkne polotovaru. Dále se pohybuje už jen horní část a dochází ke stlačování pružného uložení vedení, které se nepohybuje a přidržuje polotovár. Současně se jím vysouvají funkční části nástroje, jako jsou střížníky a ohybníky, a dochází k provedení jednotlivých tvářecích operací. Odpad vzniklý při stříhání propadá střížnicemi, otvory v základové desce a propadovým otvorem ve stole lisu. Po dosažení spodní úvratě se horní polovina nástroje vrací zpět. Nejprve je polotovár setřen ze střížníků pomocí stíracích desek umístěných na vedení a následně se zvedá celá horní polovina včetně vedení. Po každém zdvihu je polotovár posunut v daném směru o velikost kroku, jak je zobrazeno ve schématu pohybu materiálu (obr. 72), kde lze vidět i zhotovené prvky součásti v jednotlivých krocích.



Obr. 72 Posun materiálu v nástroji

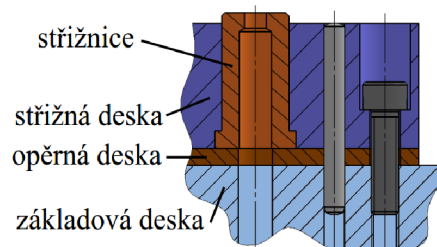
Spodní polovina nástroje (obr. 73) je tvořena základovou deskou, ve které jsou upevněna vodící pouzdra, která slouží k zajištění přesného pohybu horní poloviny oproti spodní části nástroje. Pro tyto součásti bylo využito normalizovaných dílů firmy Meusburger. Dále jsou na ní umístěny další části, jako jsou výškové dorazy, které zamezují poškození pracovních částí nástroje při uskladnění a během manipulace. Na straně nástroje, ze které je vkládán polotovár



Obr. 73 Spodní část nástroje

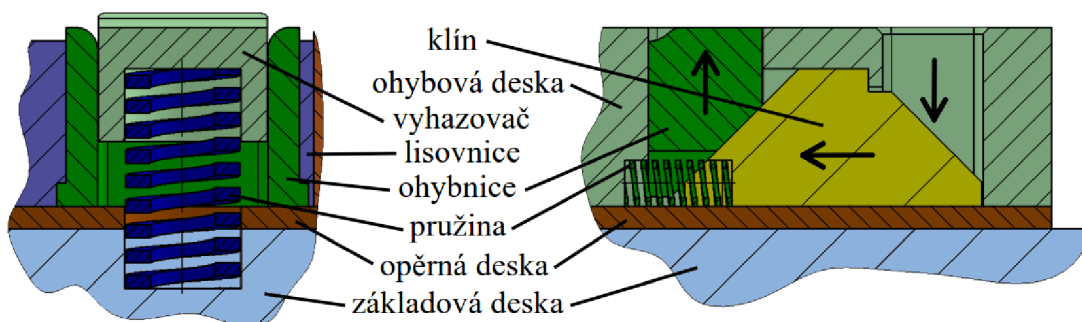
se nachází vodící lišty spolu s podpěrným plechem, které zajišťují přesné boční vedení materiálu. Na druhé straně je připevněn skluz, po kterém odcházejí již vyrobené díly. Manipulace s nástrojem je usnadněna díky přepravním šroubům.

Při konstrukci střížnic (obr. 73 hnědě) byla zvolena možnost jejich vložkování, což znamená, že střížnice vyrobená z kvalitní nástrojové oceli je uložena ve střížné desce (obr. 73 modře) z levnějšího materiálu. Případnému pohybu je zamezeno osazením (obr. 74). Střížná deska je spolu s opěrnou upevněna k základové desce pomocí šroubů a její přesná poloha je zajištěna kolíky.



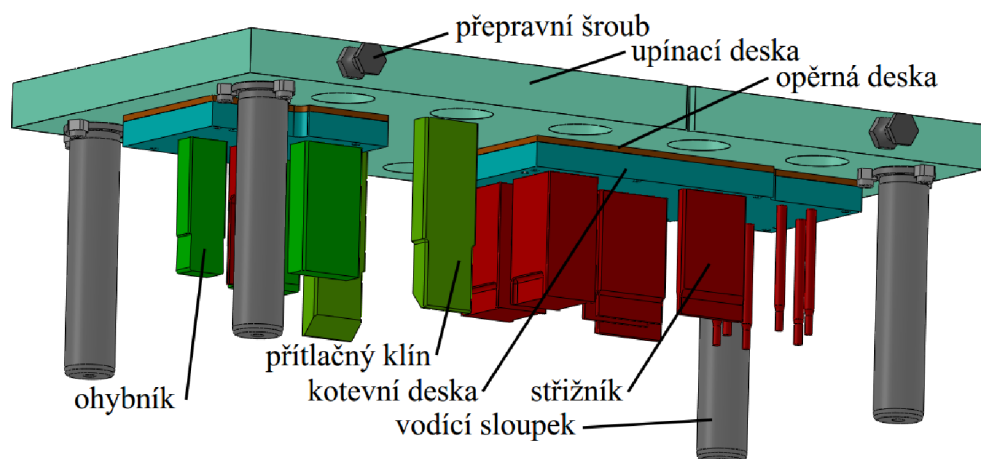
Obr. 74 Uložení střížnic

Další hlavní funkční části jsou ohybníky a ohybnice (obr. 73 zeleně). Pro čtvrtý krok je nutné zajistit přidavný pohyb spodního nástroje, resp. ohybnice, nahoru. Toho je docíleno pomocí kaleného klínu, který se při působení přitlačného klínu posouvá do středu nástroje a tím zvedá ohybnici (obr. 75 vpravo) do potřebné výšky.



Obr. 75 Uložení ohybnic

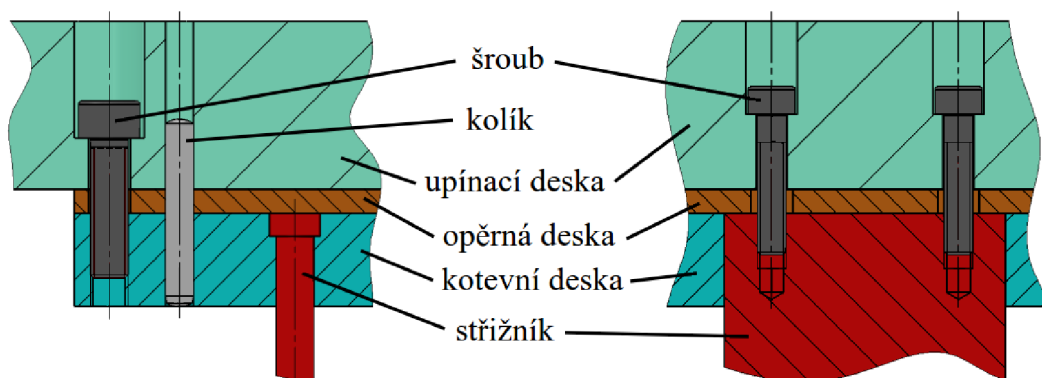
Při zvedání horní poloviny nástroje dojde k uvolnění klínu, tlakem pružiny je posunut do výchozí polohy a ohybnice klesne zpět dolů. Klín i ohybnice jsou uloženy v ohybové desce (obr. 73 světle zeleně), která je spolu s opěrnou připevněna k základové desce opět pomocí šroubů a kolíků. Ohybník (obr. 73 zeleně) pro šestý krok je v lisovnici připevněn pomocí osazení podobně jako střížnice. Pro vytvoření ohybu v sedmém kroku musí být nástroj opatřen kromě ohybnice i vyhazovačem (obr. 75 vlevo), zajišťujícím zvednutí hotového dílu nad rovinu ohybnice. Zároveň plní i funkci přidržovače, který zabraňuje deformaci rovného dna ohybku. Jeho funkce je zajištěna osazením a pružinou, vyvozuující při stlačení dostatečnou sílu, potřebnou pro vyrovnání a zvednutí dílu.



Obr. 76 Horní polovina

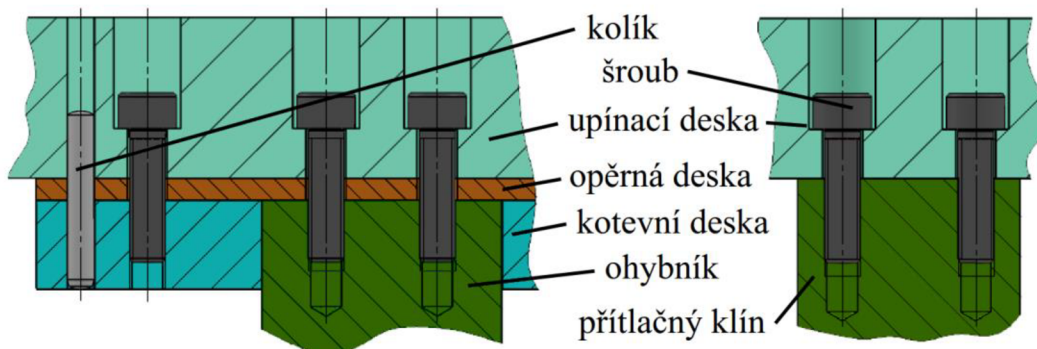
Základem horní poloviny (obr. 76) je upínací deska, která je připevněna k beranu lisu a na ní jsou dále umístěny další součásti nástroje. Jsou v ní uloženy vodící sloupky, na kterých se pohybuje plovoucí vedení, a zajišťují tak přesný pohyb všech částí. Tyto sloupky jsou opět normalizované díly od výrobce Meusburger. Další částí jsou přepravní šrouby usnadňující manipulaci s nástrojem.

Funkčními částmi nástroje jsou střížníky (obr. 76 červeně). Pro jejich upevnění byly použity dva způsoby. Kruhové střížníky jsou upnuty válcovou hlavou v kotevní desce (obr. 77 vlevo), zatímco větší tvarové střížníky jsou drženy šrouby (obr. 77 vpravo) a jejich přesnou polohu zajišťuje kotevní deska. Ta je spolu s opěrnou uchycena k upínací desce opět pomocí šroubů a kolíků.



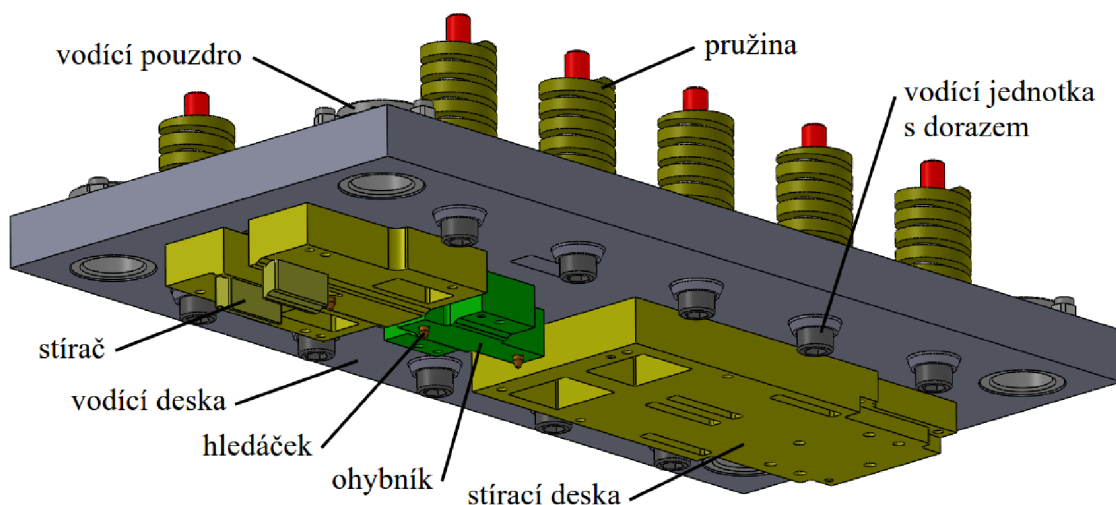
Obr. 77 Uložení střížníků

Druhou funkční částí na horní polovině nástroje jsou ohybník pro poslední krok a ohybnice pro šestý krok. Tyto díly jsou upevněny podobně jako střížníky, a to pomocí šroubů. Jejich poloha je zajištěna kotevní deskou (obr. 78 vlevo). Dále je zde přítlačný klín, který je přichycen opět šrouby (obr. 78 vpravo) a při pohybu horní poloviny směrem dolů zajišťuje pohyb ohybnice v pátém kroku ve spodní části nástroje.



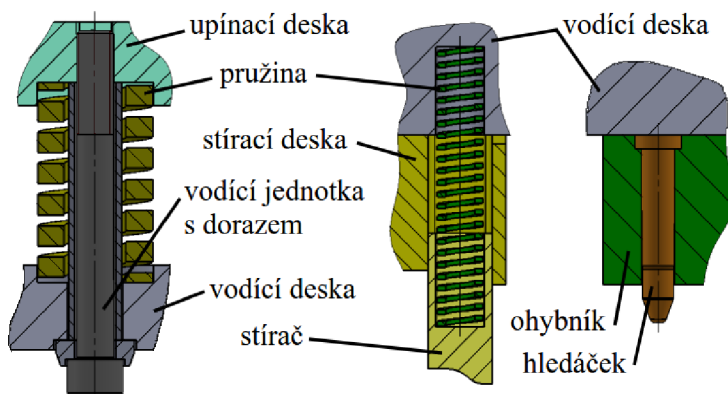
Obr. 78 Uložení ohybníků a přítlačného klínu

Poslední částí sruženého nástroje je plovoucí vedení (obr. 79). Tvoří jej vodící deska, ve které jsou umístěna normalizovaná vodící pouzdra zajišťující jeho přesný pohyb. Správná vertikální poloha je dosažena pomocí pružin, které při stlačení vyvozují dostatečnou sílu, a vodících jednotek s dorazem (obr. 80 vlevo), které zabraňují vybočení pružin, zajišťují maximální zdvih vodící desky a spojují ji s horní polovinou nástroje. Také zabezpečují předpětí pružin tak, aby při provozu nedocházelo k rázovému zatěžování.



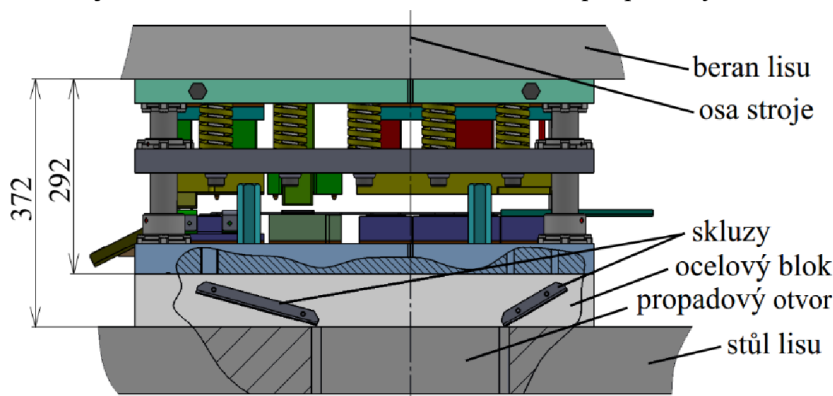
Obr. 79 Plovoucí vedení

Stírací desky (obr. 79 žlutě), které zajišťují setření materiálu ze zvedajících se střížníků, jsou k vedení připevněny šrouby a kolíky. Dále je zde ohybník pro pátý krok, který je připevněn stejným způsobem. V něm jsou uloženy dva hledáčky pomocí osazení (obr. 80 vpravo), které zpřesňují výrobu součásti tím, že zajišťují přesnou polohu polotovaru pomocí vystřiženého otvoru o průměru 6,6 mm. Třetí hledáček je umístěn těsně před odstřížením součásti v šestém kroku a je držen stírací deskou. V posledním kroku je zamezeno pohybu odstříženého dílu během vytváření ohybu sevřením součásti mezi dvěma stírači (obr. 79 žlutě) a vyhazovačem ve spodní části nástroje. Zároveň tyto díly stírají již hotový díl z ohybníku, který při zvedání horní části nástroje zajíždí do vedení. Stírače jsou osazené a vloženy do stírací desky (obr. 80 uprostřed) a jejich funkce je zajištěna pomocí pružiny.



Obr. 80 Připevnění vedení, uložení hledáček a stírače

Celý nástroj je do stroje upnut pomocí upínek. Kvůli odvádění odpadu zpod nástroje je nutné jej podložit ocelovými bloky (obr. 81), mezi které je nutné umístit skluzy. Ty přivádí odpad z krajních částí nástroje do středu stolu lisu, kde se nachází propadový otvor.



Obr. 81 Umístění nástroje ve tvářecím stroji

3.7.1 Návrh funkčních částí [39], [52], [53], [54]

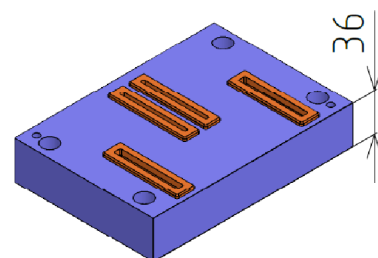
Hlavní funkční části nástroje představují střížnice, střížníky, ohybnice a ohybníky. Při používání nástroje dochází k největšímu namáhání právě těchto součástí. Proto je nutné jejich namáhání početně kontrolovat a zvolit pro jejich výrobu odpovídající materiál. Pro jednotlivé technologie se kontrolují:

- Střížné části – resp. střížníky a střížnice, jsou nejvíce namáhané a je nutné pro jejich výrobu zvolit kvalitní materiál. Jako nejvýhodnější byla zvolena ocel 19 436, která představuje vysokolegovanou chromovou ledeburitickou ocel s obsahem 12 % chromu. Tento materiál se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení a je vhodný pro tvarově složitější díly. Aby bylo v nástroji možné stříhat, je nutné materiál tepelně zpracovat kalením a popouštěním a zvýšit tak tvrdost na 58 ± 2 HRC.

Nejdříve je nutné provést kontrolu namáhání jednotlivých částí. Určení minimální tloušťky střížnice se provede pro druhou střížnou desku, kde je největší střížná síla daná součtem sil pro ostříhovací a oválný střížník. Výpočet se provede podle rovnice (2.25):

$$H = \sqrt[3]{F_S} = \sqrt[3]{F_{SC3} + F_{SC4}} = \\ = \sqrt[3]{149\,200 + 270\,000} = 74,8 \text{ mm.}$$

Podle výpočtu by měla mít střížná deska tloušťku 74,8 mm, ovšem s ohledem na skutečnost, že celou plochou leží na opěrné a základové desce a po porovnání s podobnými nástroji, byla její tloušťka zvolena 36 mm (obr. 82).



Obr. 82 Tloušťka střížné desky

Dále je třeba zkontrolovat otláčení dosedací části střížníků na upínací desku. Tento výpočet se provede pro dva různé střížníky:

- Střížník s největší silou – představuje oválný střížník. Výpočet se provede dle rovnice (2.30):

$$\sigma_{d1} = \frac{F_{S4}}{S_{d4}} = \frac{135\,000}{593} = 227,66 \text{ MPa,}$$

kde: S_{d4} – dosedací plocha oválného střížníku, stanovena pomocí programu Solidworks 2017, $S_{d4} = 593 \text{ mm}^2$.

Výsledná hodnota dosedacího napětí je zaokrouhlena na 228 MPa.

- Nejmenší střížník – je pro děrování otvoru o průměru 5,5 mm, ale vzhledem k tomu, že jeho dosedací plocha je stejná jako u střížníku pro otvor 6,6 mm, na který působí větší síla, provede se výpočet právě pro tento střížník. Výpočet je opět podle rovnice (2.30):

$$\sigma_{d2} = \frac{F_{S2}}{S_{d2}} = \frac{22\,000}{79} = 278,48 \text{ MPa,}$$

kde: S_{d2} – dosedací plocha střížníku o průměru 6,6 mm, stanovena pomocí programu Solidworks 2017, $S_{d2} = 79 \text{ mm}^2$.

Výsledná hodnota je zaokrouhlena na 278 MPa.

U obou kontrolovaných střížníků překračuje velikost napětí hodnotu 180 MPa, a proto je nutné použít kalenou opěrnou desku, která zabrání opotřebení upínací desky otláčením. Opěrné desky byly použity i na spodní části nástroje.

U střížníků je nutné kontrolovat také vzpěrnou stabilitu při tlakovém zatížení. Nejvíce náchylný je střížník s nejmenším průřezem. Výpočet je ale proveden pro střížník o průměru 6,6 mm, protože kruhové střížníky jsou osazené a jejich těla jsou shodná, přičemž na ten s větším průměrem pracovní části působí větší síla.

Určení kritické volné délky se provede podle rovnice (2.31):

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_2}{k_k \cdot F_{S2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 201,1}{1,5 \cdot 22\,000}} = 224,8 \text{ mm},$$

kde: I_2 – kvadratický moment průřezu, dán rovnicí (2.32):

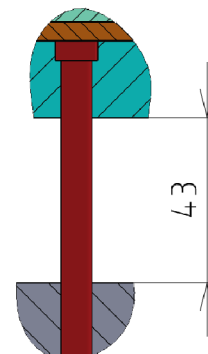
$$I_2 = \frac{\pi \cdot d_{ts2}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 8^4}{64} = 201,06 \text{ mm}^4,$$

kde: $d_{ts2} = 8$ mm, průměr těla střížníku.

Hodnota je pro další použití zaokrouhlena na 201,1 mm⁴.

k_k – koeficient bezpečnosti, zvoleno $k_k = 1,5$.

Podle výpočtu je kritická volná délka pro nejmenší střížník 224,8 mm. Skutečná délka střížníku mezi vodící a kotevní deskou je ale jen 43 mm (obr. 83) a ke ztrátě vzpěrné stability tak nedojde.



Obr. 83 Volná délka střížníku

Nyní je možné pro střížné části určit funkční rozměry. Výpočet je proveden pro střížnici a střížník vytvářející nejmenší otvor o průměru 5,5 mm, jehož mezní úchytky jsou dané všeobecnými tolerancemi, které jsou pro daný rozměr $\pm 0,1$ mm. Jelikož se jedná o děrování, je určující rozměr střížníku stanovený rovnicí (2.28), která byla mírně upravena pro symetrickou toleranci:

$$A_{kd1} = \left(A_{j1} + \frac{0,8 \cdot \Delta_1}{2} \right)_{-\delta_{k1}} = \left(5,5 + \frac{0,8 \cdot 0,2}{2} \right)_{-0,035} = 5,58_{-0,035} \text{ mm},$$

kde: $A_{j1} = 5,5$ mm, jmenovitý průměr otvoru,

$\Delta_1 = 0,2$ mm, tolerance otvoru,

$\delta_{k1} = 0,035$ mm; výrobní tolerance střížníku podle přílohy 3.

Podobně se určí i rozměr střížnice, který se spočítá podle upravené rovnice (2.29):

$$A_{ed1} = \left(A_{j1} + \frac{0,8 \cdot \Delta_1}{2} + v \right)^{+\delta_{e1}} = \left(5,5 + \frac{0,8 \cdot 0,2}{2} + 0,56 \right)^{+0,054} = 6,14^{+0,054} \text{ mm},$$

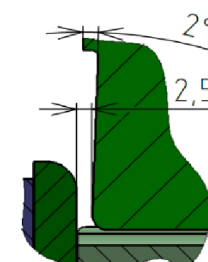
kde: $\delta_{e1} = 0,054$ mm; výrobní tolerance střížnice podle přílohy 3,

v – střížná vůle, spočítaná podle rovnice (2.1):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot t_0 \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} = 2 \cdot 0,02 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{314}{10}} = 0,56 \text{ mm},$$

kde: c – součinitel vlivu na kvalitu plochy, zvoleno $c = 0,02$.

- Ohýbací části – představují ohybníky a ohybnice. Pro jejich výrobu byla zvolena ocel 19 312. Jedná se o nízkolegovanou manganovou ocel s vysokou houževnatostí a dobrou obrobiteľností. Při jejich konstrukci je nutné je upravit tak, aby došlo k eliminaci odpružení, které je větší, než je dovoleno tolerancemi. Jako řešení bylo použito zkosení ohybníků (obr. 84) a zúžení ohybové vůle na hodnotu tloušťky materiálu, který je tak donucen se více nabalit na ohybník. Dojde tedy k jeho přehnutí a po uvolnění velikost odpružení splňuje předepsanou toleranci.



Obr. 84 Úprava ohybníku

3.8 Volba tvářecího stroje [55], [56], [57], [58], [59]

Pro volbu stroje je nejdůležitější znát velikost celkové tvářecí síly. Její hodnota pro výrobu plechového dílu je 1013 kN. Dále jsou důležité parametry jako maximální rozměry nástroje a velikost zdvihu. Jako výhodnější typ stroje se jeví mechanický lis, který má menší provozní náklady a vyšší produktivitu. Zvolený stroj je mechanický lis PCK12 (obr. 85) od výrobce Bliss-Bret a.s. Jedná se o výstředníkový jednobodový lis s rámem ve tvaru C. Stroje této řady jsou určeny pro veškeré tvářecí operace při zpracování plechových polotovarů.



Obr. 85 Mechanický lis řady PCK výrobce Bliss-Bret [56]

Maximální síla vyvinutá zvoleným strojem je 1250 kN a jeho další parametry postačují k výrobě součástí s dostatečnou rezervou (tab. 7). Velikost zdvihu je možné nastavit od 20 do 180 mm a poloha beranu lze ve vertikálním směru měnit v rozsahu 100 mm. Tento nastavovací mechanismus je integrovaný v hydraulické pojistce proti přetížení a změny jsou prováděny automaticky z ovládacího panelu. Upnutý nástroj může mít maximální výšku 400 mm a délku 780 mm.

Tab. 7 Parametry mechanického lisu Bliss-Bret PCK12 [56].

Maximální síla [kN]	1250	Hloubka stolu [mm]	660
Max. síla před DÚ [mm]	5	Výška stolu nad podlahou [mm]	915
Velikost zdvihu [mm]	20 ÷ 180	Šířka beranu [mm]	610
Rychlost lisu [zdvih.min ⁻¹]	50 ÷ 100	Hloubka beranu [mm]	560
Nastavení výšky beranu [mm]	100	Výkon hlavního motoru [kW]	11
Zástavbová výška nástroje [mm]	400	Výška lisu [mm]	3650
Max. šířka nástroje [mm]	780	Šířka lisu [mm]	1800
Hloubka výřezu [mm]	335	Hloubka lisu [mm]	1750
Šířka stolu [mm]	1070	Hmotnost lisu [t]	12

Zejména při využívání svitku jako polotovaru je nutné mít stroj vybavený podávací linkou, která dopraví pás plechu ze svitku do nástroje, a která zajistí posun polotovaru o požadovaný krok. Výrobce tvářecího stroje dodává také podávací linky značky Normatic (obr. 86), kterou lze nakonfigurovat podle požadované velikosti polotovaru. Jednotlivé součásti této linky jsou:

- Odvíjecí zařízení Normatic DY500-3000 – představuje jednovřetenové provedení. Jeho parametry (tab. 8), zejména maximální šířka pásu, byly zvoleny výrazně větší, než jsou třeba pro výchozí svitek, kvůli možnosti jej využít i pro výrobu jiných součástí s co největší šířkou polotovaru.

Tab. 8 Parametry odvíjecího zařízení Normatic DY500-3000 [57].

Max. zatížení [t]	Max. vnější průměr svitku [mm]	Vnitřní průměr svitku [mm]	Max. šířka svitku [mm]
3	1600	406 ÷ 508	500

- Rovnačící zařízení Normatic RY80-500 – se využívá k vyrovnání materiálu navinutého ve svitku, případně k odstranění zpevnění materiálu. Jeho parametry jsou shrnuty v tabulce 9.

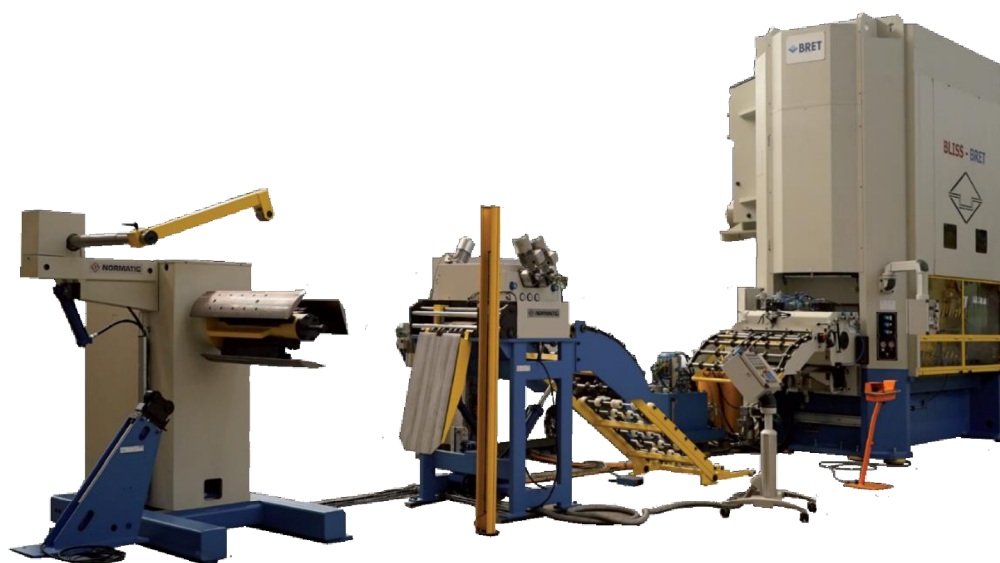
Tab. 9 Parametry rovnačícího zařízení Normatic RY80-500 [57].

Max. průřez [mm]	Tloušťka materiálu [mm]	Počet rovnačících válců
500 x 5	1 ÷ 7	7 x Ø80 mm

- Oddělovací zařízení a přemostění smyčkové jamky – se využívá k automatickému zavádění pásu plechu do nástroje.
- Podávací zařízení Normatic ARE500 – zajišťuje podávání polotovaru do nástroje pomocí válců o potřebný krok. Jeho parametry ukazuje tabulka 10.

Tab. 10 Parametry podávacího zařízení Normatic ARE500 [57].

Šířka materiálu [mm]	Tloušťka materiálu [mm]	Max. průřez materiálu [mm ²]
50 ÷ 500	0,5 ÷ 6	3000
Rychlost při kroku 150 mm [zdvih.min ⁻¹]		Rychlost při kroku 300 mm [zdvih.min ⁻¹]
108		84



Obr. 86 Podávací linka Normatic [57]

Výrobce dále ke strojům dodává další přídavné vybavení, především bezpečnostní prvky jako jsou světelné závory, bezpečnostní zábrany a oplocení. Dále se jedná o různé dopravníky hotových součástí nebo odpadu. Doplnky, které výrazně usnadňují manipulaci s nástroji při jejich výměně jsou například nakládací ramena a různé druhy mechanických upínek. V případě potřeby je možné stroj vybavit i mazacím zařízením, které jej aplikuje průběžně pomocí válečků nebo sprejového systému.

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro stanovení ceny, za kterou bude díl vyroben, slouží technicko-ekonomické zhodnocení. Do výpočtu nejsou zahrnuty další operace týkající se součástí, jako jsou náklady na povrchovou úpravu, transport a manipulaci s materiálem. Celkové náklady lze rozdělit do několika skupin:

➤ Náklady na materiál:

- Hmotnost všech svitků:

$$m_{svc} = N_{sv} \cdot m_{sv} = 8 \cdot 896 = 7168 \text{ kg.} \quad (4.1)$$

- Cena všech svitků:

$$C_{svc} = C_m \cdot m_{svc} = 19 \cdot 7168 = 136\,192 \text{ Kč,} \quad (4.2)$$

kde: C_m – cena materiálu; pro ocel S235JR se cena vyhledaná na internetu pohybovala v rozsahu $18 \div 21$ Kč, proto byla zvolena $C_m = 19 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{od} = \left(1 - \frac{\eta_{sv}}{100}\right) \cdot m_{svc} = \left(1 - \frac{52,4}{100}\right) \cdot 7168 = 3411,97 \text{ kg.} \quad (4.3)$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 3412 kg.

- Cena celkového odpadu:

$$C_{odc} = C_{od} \cdot m_{od} = 4 \cdot 3412 = 13\,648 \text{ Kč,} \quad (4.4)$$

kde: C_{od} – cena odpadu; zvolena $C_{od} = 4 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Celkové náklady na materiál:

$$N_m = C_{svc} - C_{odc} = 136\,192 - 13\,648 = 122\,544 \text{ Kč.} \quad (4.5)$$

➤ Náklady na nástroj – zahrnují celkové výrobní náklady nástroje, včetně nakupovaných součástí a náhradních dílů funkčních částí nástroje, jako jsou střížníky, střížnice, ohybníky a ohybnice. Po porovnání s podobnými nástroji byla jeho cena stanovena na $N_{nás} = 550\,000$ Kč.

➤ Náklady na mzdy:

- > Počet vyrobených dílů za hodinu:

$$P_{dh} = \frac{3600}{t_d} = \frac{3600}{1,2} = 3000 \text{ ks,} \quad (4.6)$$

kde: t_d – doba výroby jednoho dílu; do výpočtu se neuvažuje zakládání pásu do nástroje a výměna svitků, pro nejpomalejší chod lisu 50 zdvihů za minutu (tab. 7) je tato hodnota:

$$t_d = \frac{60}{50} = 1,2 \text{ s.} \quad (4.7)$$

- > Počet vyrobených dílů za jednu směnu:

$$P_{ds} = P_{dh} \cdot t_v = 3000 \cdot 6,5 = 19\,500 \text{ ks,} \quad (4.8)$$

kde: t_v – výrobní doba v jedné směně:

$$t_v = t_s - t_{seř} - t_{oběd} = 8 - 1 - 0,5 = 6,5 \text{ hod,} \quad (4.9)$$

kde: $t_s = 8$ hod; doba jedné směny,

$t_{seř} = 1$ hod; doba na seřízení a kontrolu nástroje,

$t_{oběd} = 0,5$ hod; pauza na oběd.

> Potřebný počet směn:

$$P_{směn} = \frac{30\,000}{P_{ds}} = \frac{30\,000}{19\,500} = 1,54 \text{ směn.} \quad (4.10)$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 2 směny.

> Celkový počet hodin:

$$P_{hod} = (t_s - t_{oběd}) \cdot P_{směn} = (8 - 0,5) \cdot 2 = 15 \text{ hod.} \quad (4.11)$$

> Celkové mzdy:

$$N_{mzdy} = M_{hod} \cdot P_{hod} = 250 \cdot 15 = 3750 \text{ Kč,} \quad (4.12)$$

kde: M_{hod} – hodinová mzda; včetně odvodů zaměstnavatele a zaměstnance, stanovena na $M_{hod} = 250 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$.

➤ Náklady na energii:

$$N_{energ} = P_{stroje} \cdot C_{el} \cdot P_{hod} = 11 \cdot 4,5 \cdot 15 = 742,5 \text{ Kč,} \quad (4.13)$$

kde: P_{stroje} – příkon stroje; dle parametrů lisu (tab. 7) je $P_{stroje} = 11 \text{ kW}$,
 C_{el} – cena za 1 kWh elektrické energie; stanovena podle vyhledávání na internetu na $C_{el} = 4,5 \text{ Kč}$.

Pro další výpočty je výsledek zaokrouhlen na 743 Kč.

➤ Náklady na režie – představují náklady na provoz a řízení firmy. Jejich velikost je stanovena jako násobek mzdy zaměstnance:

$$N_{režie} = N_{mzdy} \cdot 5 = 3750 \cdot 5 = 18\,750 \text{ Kč.} \quad (4.14)$$

➤ Náklady na výrobu série 30 000 ks:

$$N_c = N_m + N_{nás} + N_{mzdy} + N_{energ} + N_{režie} = \\ = 122\,544 + 550\,000 + 3750 + 743 + 18\,750 = 695\,787 \text{ Kč.} \quad (4.15)$$

➤ Náklady na výrobu jednoho dílu:

$$N_{vd} = \frac{N_c}{30\,000} = \frac{695\,787}{30\,000} = 23,19 \text{ Kč.} \quad (4.16)$$

Hodnota je pro další použití zaokrouhlena na 23,2 Kč.

➤ Cena dílu a zisk – pro jejich výpočet je započítána marže 70%. Cena dílu a celkový zisk firmy je dán rovnicemi:

○ Cena jednoho výrobku:

$$C_v = 1,7 \cdot N_{vd} = 1,7 \cdot 23,2 = 39,4 \text{ Kč.} \quad (4.17)$$

○ Celková tržba:

$$C_T = 1,7 \cdot N_c = 1,7 \cdot 695\,787 = 1\,182\,837,9 \text{ Kč.} \quad (4.18)$$

Celková tržba je zaokrouhlena na 1 182 838 Kč.

○ Celkový zisk:

$$C_Z = C_T - N_c = 1\,182\,838 - 695\,787 = 487\,051 \text{ Kč.} \quad (4.19)$$

Pro výrobu celé série 30 000 dílů jsou celkové náklady 695 787 Kč. Skutečné náklady jsou ale o něco větší, protože do výpočtu nebyly uvažovány všechny faktory. Po připočítání 70% marže firmy dosahuje jeden díl ceny 39,4 Kč a celkový zisk firmy je 487 051 Kč.

5 ZÁVĚRY

V práci je řešen postup výroby plechového dílu pro držák televizoru. Součást se bude vyrábět v sérii 30 000 ks ročně z ocelového plechu o tloušťce 2,5 mm. Celý držák bude spolu s televizorem umístěn ve vnitřních prostorech budov a s ohledem na povrchovou úpravu v podobě práškového lakování není nutné zajistit korozní odolnost výchozího materiálu. Jako nejvhodnější tak byla zvolena konstrukční ocel S235JR.

Z možných způsobů výroby byla zvolena nejvýhodnější varianta spočívající ve výrobě dílu v postupovém sdruženém nástroji. Ten umožňuje zhotovit celou součást pouze v jednom nástroji, ve kterém jsou kombinovány různé technologie, v tomto případě stříhání a ohýbání.

Po zhodnocení technologičnosti součásti byl stanoven rozvinutý tvar. S ohledem na tvarovou složitost, velikost série a rozměr rozvinutého tvaru byla vybrána nejvhodnější varianta umístění dílů na pás, a to jednořadé příčné uspořádání. Jako výchozí polotovar byl zvolen svitek, který má vyšší využitelnost materiálu než tabule plechu, a to 52,4 %. Pro výrobu celé série je zapotřebí 8 kusů.

Následně byl ze tří variant vybrán nejvhodnější výrobní postup, ve kterém je součást zhotovena na sedm kroků. Pro zhotovení výrobku byla vypočítána maximální tvářecí síla o velikosti 1013 kN a také bylo určeno místo jejího působení. Podle výsledků byl zvolen optimální tvářecí stroj, a to mechanický výstředníkový lis PCK12 od firmy Bliss-Bret. Ten dosahuje jmenovité síly 1250 kN, což plně dostačuje pro výrobu zadané součásti.

Při konstrukci sdruženého nástroje, skládajícího se ze spodní a horní poloviny s plovoucím vedením, bylo využito normalizovaných dílů od firmy Meusburger a do tvářecího stroje bude upnut pomocí upínek. Další postup by spočíval ve výrobě nástroje a kontrole jeho funkčnosti během ověřovací série.

Celková cena nástroje byla stanovena na 550 000 Kč a celkové náklady na výrobu kompletní série 30 000 dílů činí 695 787 Kč. Při započítání marže firmy dosahuje cena jednoho dílu 39,4 Kč a celková tržba hodnoty 1 182 838 Kč, což představuje čistý zisk 487 051 Kč. Skutečné hodnoty se ale budou mírně lišit, protože při výpočtu nebyly uvažovány všechny faktory. Zvolená technologie je ekonomicky vyhovující, ovšem nižší ceny výrobku, případně většího zisku, by mohlo být dosaženo při výrobě větší série.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [60]

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 245 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
3. Technologie tváření kovů. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
4. Hydraulic deep drawing die. *Shy industry* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.stamping-mould.com/hydraulic-deep-drawing-die.html>
5. Sheet Metal Bending Service. *Facfox* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <http://m.facfox3d.com/sheet-fabrication/sheet-metal-bending-service.html>
6. Fine Blanking Parts. *New Swan* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.newswan.in/fine%20blanking%20parts.htm>
7. Sheet metal blanking. *Putaker Inc.: Custom Metalworking* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.putaker.com/sheet-metal-blanking.html>
8. Sheet metal bending. *Putaker Inc.: Custom Metalworking* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.putaker.com/sheet-metal-bending.html>
9. Ocelové plechy a pásy válcované za tepla. *Alfun metal service center* [online]. Bruntál: Alfun [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/plechy-a-pasy-valcovane-za-tepla>
10. Materiálové normy. *Ferona online* [online]. Praha [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
11. Nelegovaná jakostní ocel S235JR. *TECHportal.cz* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, 2008 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/33/nelegovana-jakostni-ocel-s235jr-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EppFhJYVc3tsBOY8Gjy_8VgCD-vMUnwPlw/?query=s235jr&serp=1
12. Co je to práškové lakování? *FEHAS group, s.r.o.* [online]. Most [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <http://www.feha.cz/praskova-lakovna/co-je-to-praskove-lakovani/>
13. Polohovatelný držák TV Gogen M, pro 23-42, černý. In: *Hyperinzerce* [online]. Praha: HyperMedia, 2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://img2.hyperinzerce.cz/x-cz/inz/14643/14643039-polohovatelny-drzak-tv-gogen-m-pro-23-42-cerny-5.jpg>
14. HEJNA, Jaroslav. *FWD: Atesty* [e-mail]. 5. února 2020 13:03 [cit. 2020-03-20]. Materiálový list S235JR, Technologické centrum, a.s.
15. HAMPL, Jiří. *Technologičnost konstrukce a příprava výroby odlitků* [online]. In: . Ostrava: Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství VŠB - TU Ostrava, 2016 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI/618/618-Technologičnost%20konstrukce.pdf
16. ZÁDĚRA, Antonín. *Technologie II (5TEE - Záděra)*. In: *Studijní opory* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, ÚST odbor slévárenství [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-ii-5tee-zadera/prezentace5teprednasky3.zip>

17. Sand Casting. *Custompartnet.com* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/SandCasting>
18. ŘEŘUCHA, Jan. Laserové řezání: zavedený standard v průmyslu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2018, (1), 50 [cit. 2020-01-29]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-rezani-zavedeny-standard-v-prumyslu.html>
19. MRŇA, Libor. Dělení materiálů laserem. *Strojárstvo/Strojirenství* [online]. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., publishing house [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/1308-dleni-material-laserem>
20. Laserové řezání. *JonTech* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://jontech.cz/cs/technologie-a-sluzby/laserove-rezani/>
21. Ohýbací přípravek do tvaru V. In: *Technologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/08-v%20ohyb.jpg
22. FINDA, Luděk, Roman HALTUF a Trumpf Zákaznické a aplikační centrum. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, (6), 72 [cit. 2020-01-29]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
23. BAREŠ, Karel. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
24. Postupové sdružené nástroje. *FaM Tools Konstrukční kancelář* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
25. Stříhadla. *Brenas s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://brenas.estranky.cz/fotoalbum/lisovaci-nastroje/strihadla/>
26. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.
27. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992, 171 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0404-3.
28. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
29. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993, 349 s. ISBN 80-010-01003-1.
30. HATTALLI, Vinod Laxman a Shivashankar R. SRIVATSA. Sheet Metal Forming Processes – Recent Technological Advances. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2018, 5(1, Part 3), 2564-2574 [cit. 2020-02-28]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.040>. ISSN 2214-7853. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317322721>
31. Technologie plošného tváření - stříhání. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm

32. Technologie plošného tváření – ohýbání. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
33. OHÝBÁNÍ. *Moodle Třebešín* [online]. Praha [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9815/mod_resource/content/0/3.200hC3BDbC3A1nC3AD.pdf
34. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York: Cambridge University Press, 2007, 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
35. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1991.
36. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
37. LIPKA, Ondřej. *Výroba držáku antény sdruženým nástrojem*. Brno, 2015. 60s, 7 výkresů, 8 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
38. LIDMILA Zdeněk. *Přednášky k předmětu HTN-Tvářecí nástroje*. Brno. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
39. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 230 s.
40. JIA, Zhi-Xin, Hong-Lin LI, Xue-Chang ZHANG, Hong-Bing WU a Ming-Cai FANG. Study on the correlated design method of plate holes for progressive dies based on functional feature. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2010, 49(1-4), 1-12 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.1007/s00170-009-2371-6. ISSN 02683768. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=619794df-0c8d-454c-8edd-e0be6cd1baf8%40sessionmgr102>
41. JIA, Zhi-Xin, Hong-Lin LI, Xue-Chang ZHANG, Ji-Qiang LI a Bo-Jie CHEN. Computer-aided structural design of punches and dies for progressive die based on functional component. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2011, 54(9-12), 837-852 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.1007/s00170-010-3006-7. ISSN 02683768. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=abb3c0b2-f532-4975-bb21-f697b700f9ed%40pdc-v-sessmgr01>
42. LEETRAKUL, Pongsakorn a Komgrit LAWANWONG. Increasing the Dimensional Accuracy of U-Bend Product of High Strength Steel Sheets by Pressure Pad. *Materials Science Forum* [online]. Pfaffikon: Trans Tech Publications, 2019, (962), 159-166 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.962.159. ISSN 1662-9752. Dostupné z: <https://www-scientific-net.ezproxy.lib.vutbr.cz/MSF.962.159.pdf>
43. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. Praha: SNTL, ALFA, 1979, 408 s.
44. MAŇAŠ, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: tvářecí stroje* [online]. In: . Praha: ČVUT, 2007 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobnni-stroje-a-zarizeni.html>

45. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů: Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. In: *Západočeská univerzita v Plzni* [online]. Plzeň: ZČU, 2014 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
46. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Část tvářecí stroje. In: *Studijní opory* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, 2002 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
47. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2011, 19.12.2011, (12), 66 [cit. 2020-02-11]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technolognost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
48. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 80-864-9074-2.
49. GAJDOŠ, František. Technologie tváření kovů. In: *Studijní opory* [online]. [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
50. Ocel. *Alfun metal service center* [online]. Bruntál: Alfun [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/o-oceli>
51. Nástrojové pružiny: Technické parametry. In: *Hennlich* [online]. Litoměřice: Hennlich, ©2020 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/cz_N_C3_A1strojov_C3_A9_pru_C5_BEiny_-_technick_C3_A9_parametry.pdf
52. Böhler K100: Cold work tool steel. In: *Böhler* [online]. Böhler, ©2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.boehler.cz/app/uploads/sites/92/2020/02/productdb/api/k100de.pdf>
53. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřtle: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.
54. 1.2842. *Toolsteel* [online]. Kladno: Toolsteel, ©2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/1-2842-90mncrv8-19-312-19-313/>
55. Mechanické lisy. *Bliss-Bret* [online]. Liptovský Mikuláš: Bliss-Bret, ©2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.bliss-bret.com/sk/produkty/mechanicke-lisy>
56. Mechanické lisy radu PCK. In: *Bliss-Bret* [online]. Liptovský Mikuláš: Bliss-Bret, ©2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.bliss-bret.com/upload/attach-image/katalog-na-stiahnutie-mechanicke-lisy-radu-pck.pdf>
57. Príslušenstvo Podávacia linka. In: *Bliss-Bret* [online]. Liptovský Mikuláš: Bliss-Bret, ©2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.bliss-bret.com/upload/attach-image/katalog-na-stiahnutie-podavacie-linky-s-prislusenstvom.pdf>
58. Ostatné príslušenstvo. In: *Bliss-Bret* [online]. Liptovský Mikuláš: Bliss-Bret, ©2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.bliss-bret.com/upload/attach-image/katalog-na-stiahnutie-prislusenstvo.pdf>
59. KOSTUCH, Ondřej. *Parametry lisu PCK12* [e-mail]. 25.5.2020 18:06 [cit. 2020-05-29]. Bliss-Bret a.s.
60. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_C	Celková práce	[kJ]
A_{edi}	Rozměr střížnice při děrování	[mm]
A_{ev}	Rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
A_{ji}	Jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
A_{kdi}	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
A_{kv}	Rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
A_{oc}	Celková ohybová práce	[J]
A_{oi}	Ohybová práce	[J]
A_{pr}	Práce pro stlačení pružných prvků nástroje	[J]
A_{SC}	Celková střížná práce	[J]
A_{SCi}	Celková střížná práce pro jednotlivé střížníky	[J]
A_{Si}	Střížná práce	[J]
a	Vzdálenost podpěr střížnice	[mm]
B	Jmenovitý rozměr ohýbané součásti	[mm]
B_e	Rozměr ohybnice	[mm]
B_k	Rozměr ohybníku	[mm]
b	Šířka ohýbaného pásu	[mm]
b_s	Šířka střížnice	[mm]
C_{el}	Cena za 1 kWh elektrické energie	[Kč]
C_{od}	Cena odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
C_{ode}	Cena celkového odpadu	[Kč]
C_m	Cena materiálu	[Kč.kg ⁻¹]
C_{svc}	Cena všech svitků	[Kč]
C_T	Celková tržba	[Kč]
C_v	Cena jednoho dílu	[Kč]
C_Z	Celkový zisk	[Kč]
c	Součinitel vlivu na kvalitu plochy	[-]
c_o	Koeficient určující minimální poloměr	[-]
D_{sv}	Vnější průměr svitku	[mm]
d_{tsi}	Průměr těla střížníku	[mm]
d_{si}	Průměr střížníku	[mm]
d_{sv}	Vnitřní průměr svitku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Velikost přepážky	[mm]
F_C	Celková síla	[kN]
F_{ki}	Kalibrační síla	[N]
F_{oc}	Celková ohybová síla	[kN]

Označení	Legenda	Jednotka
F_{oci}	Celková ohybová síla pro jednotlivé ohyby	[kN]
F_{oi}	Ohybová síla	[N]
F_{pi}	Přidržovací síla	[N]
F_{pr}	Síla od pružných částí nástroje	[kN]
F_{SC}	Celková střížná síla	[kN]
F_{SCi}	Celková síla pro jednotlivé střížníky	[kN]
F_{Si}	Střížná síla	[N]
F_{xi}	Síla působící ve směru 'x'	[N]
F_{yi}	Síla působící ve směru 'y'	[N]
f	Velikost okraje	[mm]
H	Tloušťka střížnice	[mm]
h_i	Dráha nástroje	[mm]
h_{pr}	Stlačení pružných prvků nástroje	[mm]
I_i	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
L_i	Délka křivky stříhu	[mm]
K	Délka kroku	[mm]
k	Součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
k_k	Součinitel bezpečnosti	[-]
l_i	Délka rovného úseku	[mm]
l_c	Celková výchozí délka polotovaru	[mm]
l_k	Kritická volná délka střížníku	[mm]
l_{oi}	Délka ohnuté části	[mm]
l_u	Vzdálenost mezi středy zaoblení ohybníku a ohybnice	[mm]
l_{sv}	Délka pásu plechu ve svitku	[mm]
l_{xc}	Výchozí délka polotovaru pro směr 'x'	[mm]
l_{xoi}	Délky ohnutých částí ve směru 'x'	[mm]
M_{hod}	Hodinová mzda	[Kč]
m	Součinitel respektující průběh síly	[-]
m_o	Ohybová mezera	[mm]
m_{od}	Hmotnost celkového odpadu	[kg]
m_{sv}	Hmotnost materiálu v jednom svitku	[kg]
m_{svc}	Hmotnost všech svitků	[kg]
N_c	Náklady na výrobu celé série	[Kč]
N_{energ}	Náklady na energie	[Kč]
N_m	Náklady na materiál	[Kč]
N_{mzdy}	Náklady na mzdy	[Kč]
$N_{nás}$	Náklady na nástroj	[Kč]
$N_{režie}$	Náklady na režie	[Kč]
N_{sv}	Počet svitků	[ks]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{tab}	Počet tabulí plechu	[ks]
N_{vd}	Náklady na výrobu jednoho dílu	[Kč]
n	Součinitel zahrnující vliv vnějších podmínek	[-]
n_{pruh}	Počet pruhů z tabule plechu	[ks]
n_{vpruh}	Počet výstřížků z jednoho pruhu	[ks]
n_{vtab}	Počet výstřížků z jedné tabule plechu	[ks]
n_{svs}	Počet výstřížků z jednoho svitku	[ks]
P_{dh}	Počet vyrobených dílů za hodinu	[ks]
P_{ds}	Počet vyrobených dílů za směnu	[ks]
P_{hod}	Počet potřebných hodin	[hod]
$P_{směn}$	Počet potřebných směn	[směn]
P_{stroje}	Příkon stroje	[kW]
R	Vnější poloměr ohybu	[mm]
Re	Mez kluzu v tahu	[MPa]
R_o	Poloměr ohybu	[mm]
R_{ohyb}	Vyrobený poloměr ohybníku	[mm]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
r_m	Poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
r_p	Poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
S	Plocha průřezu střížníku	[mm ²]
S_{lvys}	Plocha jednoho výstřížku	[mm ²]
S_{pol}	Plocha polotovaru	[mm ²]
S_{tab}	Plocha tabule plechu	[mm ²]
S_S	Střížná plocha	[mm ²]
S_{vtab}	Plocha výstřížků z tabule plechu	[mm ²]
S_{sv}	Plocha materiálu ve svitku	[mm ²]
S_{svs}	Plocha výstřížků z jednoho svitku	[mm ²]
S_{vys}	Plocha výstřížků	[mm ²]
\check{S}	Šířka polotovaru	[mm]
t_0	Tloušťka materiálu	[mm]
t_d	Doba výroby jednoho dílu	[s]
$t_{obéd}$	Délka pauzy na oběd	[hod]
t_s	Délka směny	[hod]
$t_{seř}$	Doba na seřízení a kontrolu nástroje	[hod]
v	Střížná vůle	[mm]
v_o	Ohybová vůle	[mm]
X	Vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému ve směru 'x'	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
X_o	Poloha těžiště ohybových sil	[mm]
X_s	Poloha těžiště střižných sil	[mm]
x	Součinitel určující posunutí plochy nulového prodloužení	[-]
x_i	Vzdálenost působiště síly od počátku ve směru 'x'	[mm]
x_{pr}	Poloha těžiště síly od pružných prvků	[mm]
Y	Vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému ve směru 'y'	[mm]
y_i	Vzdálenost působiště síly od počátku ve směru 'y'	[mm]
z	Střižná mezera	[mm]
z_o	Ohybová mezera	[mm]
z_z	Součinitel ztenčení průřezu	[-]
α	Úhel ohybu	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
γ	Úhel ohnuté části	[°]
Δ_i	Tolerance výstřižku	[mm]
δ_{ei}	Výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_{eo}	Výrobní tolerance ohybnice	[mm]
δ_{ki}	Výrobní tolerance střižníku	[mm]
δ_{ko}	Výrobní tolerance ohybníku	[mm]
ε_c	Mezní prodloužení	[-]
η	Využití materiálu	[%]
η_{tab}	Využití tabule plechu	[%]
η_{sv}	Využití svítku	[%]
λ	Součinitel plnosti	[-]
ρ	Hustota materiálu	[kg.mm ⁻³]
ρ_n	Poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_0	Poloměr plochy nulového prodloužení	[mm]
σ_{di}	Tlakové napětí na dosedací části střižníku	[MPa]
σ_{dov}	Maximální dovolené tlakové napětí	[MPa]
σ_{odov}	Maximální dovolené ohybové napětí	[MPa]
τ_s	Střižný odpor materiálu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením [4, 5, 6, 7, 8]	9
Obr. 2 3D model vyráběné součásti	10
Obr. 3 TV držák [13]	10
Obr. 4 Rozměry vyráběné součástky	10
Obr. 5 Princip odlévání [17]	11
Obr. 6 Řezání laserem [20]	11
Obr. 7 Ohýbací nástroj [21]	12
Obr. 8 Vysekávací automat [22]	12
Obr. 9 Postupový střížný nástroj [25]	12
Obr. 10 Postupový sdružený nástroj [24]	12
Obr. 11 Schéma stříhu [26]	13
Obr. 12 Schéma napjatosti a deformace při uzavřeném stříhání [1]	13
Obr. 13 Fáze stříhání [1]	14
Obr. 14 Vliv střížné mezery [27]	15
Obr. 15 Střídavé uspořádání [29]	16
Obr. 16 Využití materiálu u jednořadého a víceřadého uspořádání [31]	16
Obr. 17 Schéma ohýbání [28]	17
Obr. 18 Schéma napjatosti a deformace při ohybu širokých pásů [23]	17
Obr. 19 Výchozí délka polotovaru [33]	19
Obr. 20 Odpružení [27]	19
Obr. 21 Schéma ohybu do U [27]	20
Obr. 22 Průběh střížné síly [1]	20
Obr. 23 Průběh síly u ohybu do U [2]	21
Obr. 24 Grafická metoda určení těžiště [26]	22
Obr. 25 Výpočetní metoda určení těžiště [26]	23
Obr. 26 Postupový sdružený nástroj a jeho hlavní části [37]	23
Obr. 27 Možnosti konstrukce střížnic [36]	25
Obr. 28 Geometrie funkčních částí střížnice [36]	26
Obr. 29 Stanovení rozměru střížnice [36]	26
Obr. 30 Konstrukce střížníků [38]	26
Obr. 31 Úprava čela střížníků [36]	27
Obr. 32 Úprava délky střížníků [36]	27
Obr. 33 Způsoby upínání střížníků [36]	27
Obr. 34 Stanovení funkčních rozměrů střížných nástrojů [38]	28
Obr. 35 Kritická délka střížníku [38]	29
Obr. 36 Konstrukce ohýbadel [36]	29
Obr. 37 Možnosti úprav ohýbadel pro eliminaci odpružení [36]	29
Obr. 38 Rozměry ohýbacích nástrojů [23]	30
Obr. 39 Pohyb stroje [43]	31
Obr. 40 Hydraulický lis [43]	31
Obr. 41 Klikový lis [43]	32
Obr. 42 Technologičnost výstřížku [2]	32
Obr. 43 Úprava tvaru a rozměr výstupků [47]	33
Obr. 44 Umístění ohybku [32]	33
Obr. 45 Technologičnost ohybku [28]	33
Obr. 46 3D model součásti	34
Obr. 47 Kritická místa výstřížku	34

Obr. 48	Technologičnost ohybů.....	34
Obr. 49	Rozměry pro výpočet rozměru polotovaru	36
Obr. 50	Rozvinutý tvar součásti	36
Obr. 51	Jednořadé podélné uspořádání.....	37
Obr. 52	Jednořadé šikmé uspořádání	37
Obr. 53	Jednořadé příčné uspořádání	37
Obr. 54	Dvouřadé podélné uspořádání	37
Obr. 55	Dvouřadé příčné uspořádání	38
Obr. 56	Velikost polotovaru, můsteků a okraje.....	38
Obr. 57	Rozměry svitku.....	38
Obr. 58	Tabule plechu	40
Obr. 59	Výrobní postup – varianta 1	41
Obr. 60	Výrobní postup – varianta 2	42
Obr. 61	Výrobní postup – varianta 3	43
Obr. 62	Geometrie Z-ohybu.....	43
Obr. 63	Ohyb širokých ramen.....	44
Obr. 64	Ohyb úzkých ramen.....	44
Obr. 65	Tvary a základní rozměry střížníků	45
Obr. 66	Z-ohyb	47
Obr. 67	Ohyb s poloměrem 4 mm	47
Obr. 68	Ohyb s poloměrem 2,5 mm	48
Obr. 69	Průběh síly pružiny [51]	48
Obr. 70	Těžiště sil	50
Obr. 71	3D model sdruženého nástroje	50
Obr. 72	Posun materiálu v nástroji	51
Obr. 73	Spodní část nástroje.....	51
Obr. 74	Uložení střížnic.....	52
Obr. 75	Uložení ohybnic.....	52
Obr. 76	Horní polovina.....	52
Obr. 77	Uložení střížníků.....	53
Obr. 78	Uložení ohybníků a přítlačného klínu	53
Obr. 79	Plovoucí vedení	54
Obr. 80	Přípevnění vedení, uložení hledáček a stírače.....	54
Obr. 81	Umístění nástroje ve tvářecím stroji.....	54
Obr. 82	Tloušťka střížné desky.....	55
Obr. 83	Volná délka střížníku.....	56
Obr. 84	Úprava ohybníků	56
Obr. 85	Mechanický lis řady PCK výrobce Bliss-Bret [56].....	57
Obr. 86	Podávací linka Normatic [57].....	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S235JR [14].	11
Tab. 2	Hodnoty posunutí plochy nulového prodloužení a součinitele ztenčení průřezu [27].	18
Tab. 3	Materiály a jejich tepelné zpracování pro tvářecí nástroje [36].	24
Tab. 4	Porovnání výchozích polotovarů.	41
Tab. 5	Střížné síly.	45
Tab. 6	Střížné práce.	46
Tab. 7	Parametry mechanického lisu Bliss-Bret PCK12 [56].	57
Tab. 8	Parametry odvíjecího zařízení Normatic DY500-3000 [57].	57
Tab. 9	Parametry rovnacího zařízení Normatic RY80-500 [57].	58
Tab. 10	Parametry podávacího zařízení Normatic ARE500 [57].	58

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Materiálový list oceli S235JR [14]

Příloha 2 Velikost můstku a okraje [49]

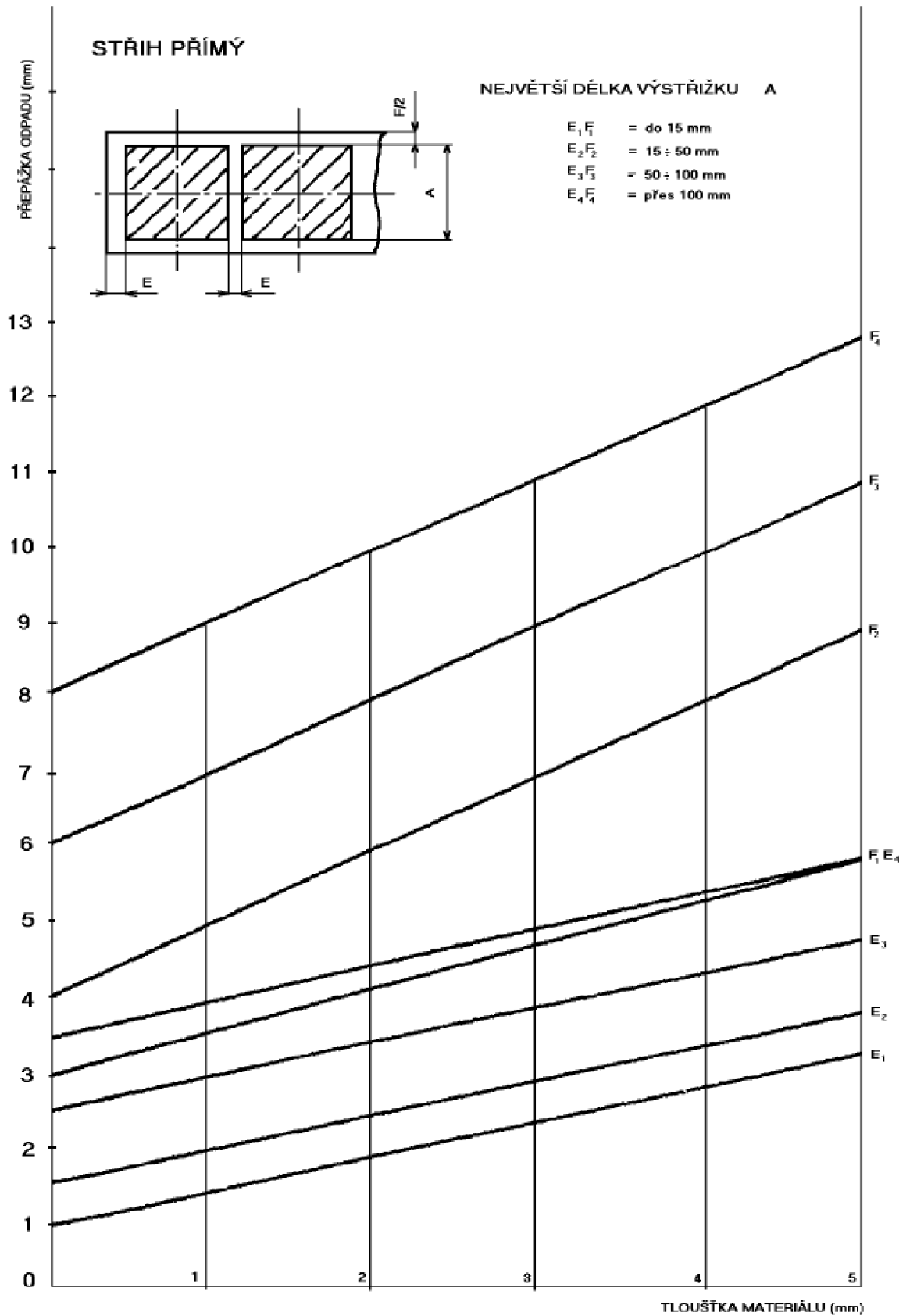
Příloha 3 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [53]

SEZNAM VÝKRESŮ

SDRUŽENÝ NÁSTROJ	2020_DP_182815_SN
HORNÍ ČÁST NÁSTROJE	2020_DP_182815_HP
HORNÍ ČÁST NÁSTROJE K.	2020_DP_182815_HP_K
SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE	2020_DP_182815_SP
SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE K.	2020_DP_182815_SP_K
PLECH TV DRŽÁKU	2020_DP_182815_1
STŘIŽNÍK 5,5mm	2020_DP_182815_HP_11
STŘIŽNICE 5,5mm	2020_DP_182815_SP_21

A01 000012617 ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Krakowie ul. Ujastek 1 30-989 Kraków 202-1 Kraków, 06.08.2019		Nr rejestracyjny BDO : A02 ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1 / INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1 EN 10204		A03 Nr: 1002587064		ArcelorMittal	
A06.1 Zamawiający: Purchaser: Besteller:		A06.1 ARCELOMITTAL FLAT CARBON EUROPE SA 1180 LUXEMBOURG, 24-26, BOULEVARD D'AVRANCHES, Luxemburg / Luxembourg / Luxemburg		A07 Nr zamówienia klienta/No of purchase order/No der Bestellung 106618/V		A08.3 LEVERAGE FH9FFRK003	
A06.3 Odbiorca dokumentu kontroli: Recipient of a certificate: Empfänger eines Zertifikates:		A06.3 FERONA SLOVAKIA a.s. 011 45 ZILINA, BYTICKA 12 Słowacja / Slovakia / Slowakei		A08.1 Nr zlecenia/Manuf. Order No/Auftrag No 10862027		A08.2 Nr kontraktu/Contract No/Vertrag No PL/277839653/19-10862027	
				A10 Dowód dostawy/Delivery Note/Lieferschein Nr 63241523		A11 Nr środka transportu/Number of transport/Transportmittel-Nr 315146450624	
B01, B04, B09-B11, B10 Blacha gorącowalowana w kręgach grub.: 2,50 szer.: 1500,00 gat.stali: S235JRC+ N gładka czarna niewytrawiona zabezp.pow.: bez zabezpieczenia opakowanie: H04 Stan dostawy: walcowanie normalizujące + N Dokładność wykonania grubości - normalna (-0,210/+ 0,210) Hot-rolled coils thickness: 2,50 width: 1500,00 steel grade: S235JRC+ N plain black not pickled surf.prot.: no protection packaging: H04 Delivery condition: normalizing rolling + N Tolerances on thickness - normal (-0,210/+ 0,210)							
B02 Norma przedmiotowa According Nach EN 10025-1:2004		Norma klasyfikacyjna Classification standards Materialnorm EN 10025-2:2004		Norma wymiarowa Tolerance standards Massnorm EN 10051:2010		Gatunek Steel grade Marke S235JRC+ N	
						Kod wyrobu Product code Produkt-Code HRCL	
Specyfikacja Wyrebu - Product Specification - Produktdatenblatt : S235JRC+N-CL1 EN10025-02							
C01 Proces wytwarzania stali Steelmaking process Stahlherstellungsverfahren Stal wytwarzana w procesie konwerterowym ilenowym Steel produced in BOF process Stahl hergestellt im Sauerstoffaufblasverfahren							
B07.1 Nr partii badanej - QM Batch No - WK Los Nr 040008388962		B07.2 Numer partii - Batch No - Los Nr C071968		B0.9 Ilość sztuk - Number of pieces - Stückzahl 1		B13 Tonaż - Weight - Gewicht 23,840 t	
C11-C02 Skład chemiczny - Chemical composition C03 = CEV Zusammensetzung		B07.3 Wytap - Heat - Schmelze 179030					
		C1% 0,08		Mn[%] 0,75		Si[%] 0,008	
		P[%] 0,012		S[%] 0,005		Cu[%] 0,02	
		Ni[%] 0,01		Al[%] 0,008		Al _{tot} [%] 0,035	
		V[%] 0,0020		Mo[%] 0,002		Nb[%] 0,010	
		Co[%] 0,010		Ti[%] 0,0022		C _{eq} [%] 0,21	
Właściwości mechaniczne - Mechanical properties - Mechanische Eigenschaften							
B07.1 Nr partii badanej QM Batch No WK Los Nr		C02.1 Właściwości mechaniczne - kierunek Mechanical properties - direction mechanische Eigenschaften - Richtung		C03 Temperatura badania Test temperature Prüftemperatur		C11.1 Typ Re Re type Re Typ	
						C11.2 Re Re Re [MPa]	
						C12 Re Re Re [MPa]	
						C13.1 A A A	
						C13.2 A[%] A[%] A[%]	
040008388962		T		22.5		ReH	
						306	
						393	
						A80	
						32,9	
1 - Poprzeczny / Transverse-Transversen: L - Wzdłużny / Longitudinal / Längslängend: 1 - Po walcowaniu normalizującym / After normalizing rolling/Nach normalisierendes Walzen: 2 - Po normalizacji / After normalization / Nach Normalisierung: do - dobre / good / gut Wystawili: Inna Moniowska							
Strona 1 / 2							

A01 000012617 ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Krakowie ul. Ujastek 1 30-989 Kraków 202-1 Kraków, 06.08.2019		Nr rejestracyjny BDO : A02 ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1 / INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1 EN 10204		A03 Nr: 1002587064		ArcelorMittal	
Badany materiał nie wykazał radioaktywności. Pomiar został wykonany przy użyciu systemu GENIE 2000, produkcja Canberra-Packard. The tested material did not show any signs of radioactivity. The measurement was performed with the application of GENIE 2000 system, manufactured by Canberra-Packard. In dem untersuchten Material wurde keine Radioaktivität gefunden. Die Messung wurde mit dem GENIE-2000-System gemacht, Hersteller: Canberra-Packard.							
Wyrób budowlany oznakowany znakiem CE zgodnie z rozporządzeniem nr 305/2011 Parlamentu Europejskiego i Rady UE. Construction product CE marked in accordance with Regulation No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of the EU Ein Bauprodukt, das mit dem CE-Zeichen gemäß Verordnung 305/2011 des Europäischen Parlaments und des EU-Rates versehen ist.							
Z01 Powierzchnia i wymiary - Sprawdzono zgodnie z zamówieniem Surface and dimension - tested according to purchase order Oberfläche und Masse - geprüft entsprechend der Bestellung		Z01 Na podstawie przeprowadzonych badań uznano, że wykonany wyrób jest zgodny z warunkami zamówienia. On the basis of the tests it has been recognized that the product conforms with the order requirements. Nach der durchgeführten Prüfungen wurde festgestellt, das des Erzeugnis den Anforderungen der Bestellung entspricht.		A05 Zarządzanie Jakością Wyróbów Platkie Quality Management Flat Products Qualitätsmanagement Flachprodukte Z02.2 Kierownik Zarządzania Jakością - wyróbki platkie <i>Tomasz Gęsiński</i> Przewodzący Typem			
7.94  0035 0035-GPR-A150							
Wystawili: Inna Moniowska							
Strona 2 / 2							



Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice – TE	Střížníku – 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
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250