



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOMPONENTU ZÁMKU AUTOMOBILU

MANUFACTURE OF CAR LOCK COMPONENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Andris

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Tomáš Andris**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2021/22

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

Výroba komponentu zámku automobilu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řešenou součástí je páčka otevíracího mechanismu zámku stranových dveří osobního automobilu. Jedná se o součást prostorového tvaru s několika otvory a ohyby. Páčka je v zámku automobilu umístěna otočně na čepu a její funkce spočívá v odjištění západky při otevírání dveří automobilu. Požadovaná roční produkce je 400 000 kusů, přičemž polovinu z této série tvoří varianta pro levé a polovina pro pravé dveře.

Cíle diplomové práce:

- Analyzovat požadavky na funkci a technologičnost konstrukce součásti a navrhnout postup její výroby.
- Zpracovat literární studii věnovanou technologiím plošného tváření, se zaměřením na využití výrobní technologie.
- Navrhnout optimální výrobní postup, doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci tvářecího nástroje.
- Provést technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 1992. 186 s. ISBN80-214-0401-9.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. Brno: Univerzita obrany. 2008. 105 s. ISBN 978-80-7213-579-6.

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

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhu technologie výroby ovládací páčky zámku automobilu. Součást je vyráběna z oceli S355MC ve formě plechu o tloušťce 2 mm, výrobní série je stanovena na 400 000 ks/rok, z toho 200 000 ks/rok pravé varianty a 200 ks/rok levé varianty. Po vyhodnocení jednotlivých variant výroby byla zvolena výroba pomocí postupového sdruženého nástroje. Díl je zhotoven celkem v deseti krocích, které zahrnují stříhání a ohýbání. Pro zvolenou technologii výroby byly provedeny potřebné technologické, konstrukční a kontrolní výpočty. K výrobě součásti je zvolen lis S160 od firmy Šmeral, povrch součástí bude následně ošetřen povrchovou úpravou pomocí galvanického zinkování. Na závěr proběhlo posouzení ekonomičnosti, kdy cena jedné součásti byla stanovena na 13,3 Kč. Bod zvratu, po kterém se stane výroba ziskovou byl stanoven na 156 339 kusů.

Klíčová slova

ocel S355MC, tváření, stříhání, ohýbání, sdružený postupový nástroj

ABSTRACT

The thesis is focused on the proposal of manufacturing technology of the opening lever for a car latch. The lever is made of S355MC sheet metal with thickness 2 mm, production series is set for 400 000 pieces per year, which includes 200 000 pieces of right and 200 000 pieces of left version. After considering several production methods, combined progressive die was chosen. The part is made in ten steps, which include shearing and bending. Necessary technological, design and safety calculations were also made. For production was chosen eccentric press S160 made by ŠMERAL company. Surface protection of the part will be provided by galvanizing. At the end of the thesis a technical and economical evaluation is provided. The final price of one piece of lever is calculated to 13,3 Kč, economical turning point when production become profitable was calculated to 156 339 pieces.

Key words

steel S355MC, forming, shearing, bending, progressive die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ANDRIS, Tomáš. *Výroba komponentu zámku automobilu* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139685>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba komponentu zámku automobilu vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 19.5.2022

Tomáš Andris

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Zdeňkovi Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možnosti výroby součásti.....	11
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	14
2.1 Stříhání	14
2.1.1 Střížná vůle a plocha.....	16
2.1.2 Střížný odpor materiálu	18
2.1.3 Střížná síla a práce	18
2.1.4 Nástřihový plán.....	21
2.1.5 Těžiště střížných sil	22
2.2 Ohýbání	24
2.2.1 Průběh ohýbání	24
2.2.2 Určení délky polotovaru	26
2.2.3 Minimální a maximální poloměr ohybu	27
2.2.4 Odpružení	28
2.2.5 Ohybová síla a ohybová práce.....	29
2.3 Nástroje	32
2.3.1 Střížné nástroje	33
2.3.2 Ohýbací nástroje	37
2.3.3 Materiály nástrojů.....	39
2.4 Stroje	39
2.5 Technologičnost	40
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	42
3.1 Rozvinutý tvar součásti	43
3.2 Volba polotovaru.....	45
3.3 Postup výroby.....	48
3.4 Tvářecí síly a práce.....	49
3.4.1 Stříhání.....	49
3.4.2 Ohýbání	51
3.4.3 Pružné prvky.....	55
3.4.4 Celková tvářecí síla a práce	56
3.5 Odpružení	56
3.6 Určení těžiště.....	58
3.7 Návrh činných částí	59
3.8 Volba tvářecího stroje	61
3.9 Konstrukce nástroje	63
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	68
ZÁVĚR.....	72
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
SEZNAM PŘÍLOH	82

ÚVOD

Mezi hlavní úkoly oboru strojírenství patří návrh, výroba a následná údržba strojů a zařízení, kdy součástí oboru je také zhotovování nástrojů, měřidel, přípravků a jiných výrobních pomůcek, pomocí kterých je umožněna produkce a kontrola hotové součásti nebo celého zařízení. Jedním z odvětví strojírenství je technologie tváření kovů, tato technologie se vyvíjí již od doby bronzové a jedná se tedy o jednu z nejstarších metod zpracování kovů. Mezi další základní používané technologie zpracování kovů se řadí obrábění, svařování, slévání. [1; 2; 3]

Vzhledem k vysoké produktivitě, hospodárnosti a ekonomické efektivitě celého procesu, má technologie tváření nezastupitelné místo při zpracování kovových materiálů. Procento odpadu materiálu při výrobě technologií tváření je daleko nižší než například u výroby shodné součásti s využitím technologie třískového obrábění. Podstatou tváření je uvedení materiálu do plastického stavu za působení vnějšího zatížení, při kterém dojde ke změně tvaru i vlastností. Materiál je deformován do konečného požadovaného tvaru bez porušení soudržnosti, jedinou výjimku tvoří technologie stříhání, při které je porušení celistvosti materiálu vyžadováno. Příklady součástí vyráběných technologií tváření jsou zobrazeny na obrázku 1. [2; 3; 4; 5]

Využití tvářených součástí se uplatňuje v řadě odvětví, kdy jedno z nejvýznamnějších míst zaujímá automobilový průmysl. Tvářence tvoří jak podvozkovou část, tak také nosnou část automobilu v podobě samonosné karoserie a v neposlední řadě další funkční součásti jež jsou výbavou automobilu. Určité dílce musejí rovněž splňovat vysokou estetickou kvalitu, příkladem mohou být pohledové části karosérie.

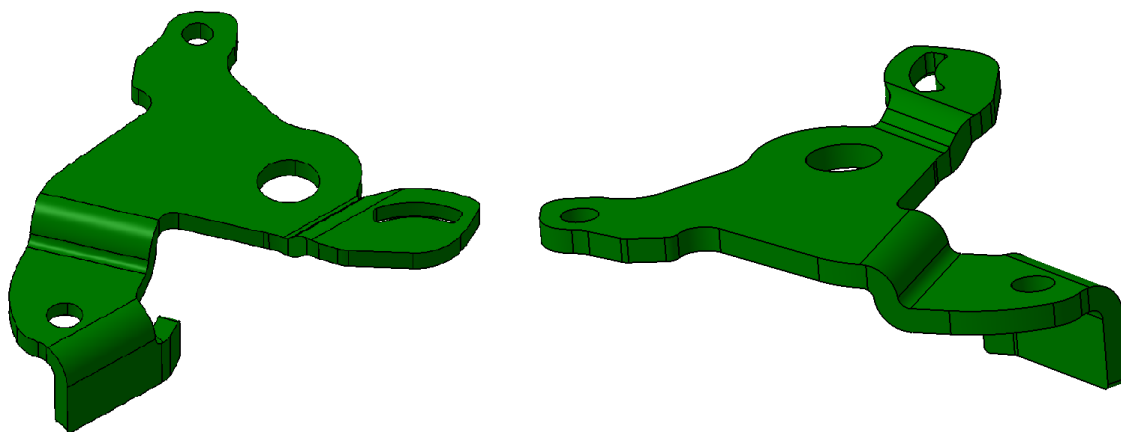
Diplomová práce je zaměřena na výrobu součástí pomocí technologie plošného tváření za studena, a to stříháním a ohýbáním.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených pomocí technologie tváření [6; 7]

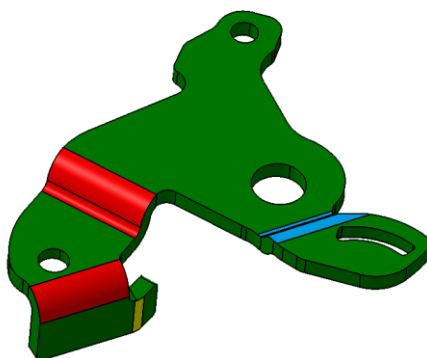
1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je páčka otevíracího mechanismu automobilového zámku stranových dveří (obr. 2). Hlavní funkcí páčky je odjištění západky a následné otevření rohatky pomocí vnitřní kliky dveří. Páčka je umístěna otočně na čepu a výškově podepřena a ustavena součástí nazývanou housing. Požadovaná roční produkce součásti je 400 000 kusů, z toho 200 000 levé varianty a 200 000 pravé. Páčka musí být vyrobena z odolnějších a kvalitnějších materiálů vzhledem k mechanickému namáhání, kterému bude vystavena, dále také páčka musí splňovat protikorozi odolnost.



Obr. 2 Vyráběná otevírací páčka.

Součást je vyrobena z plechu o tloušťce 2 mm. Jedná se o součást prostorového tvaru (obr. 3) skládající se z šesti ohybů a čtyř vystřižených otvorů, modře označené ohyby mají úhel ohybu 45° , červeně označené ohyby mají úhel 90° a žlutě označený ohyb má velikost úhlu ohybu 30° , všechny ohyby mají shodný rádius ohybu 1 mm. Páčka obsahuje tři kruhové otvory a jeden otvor ve tvaru zaoblené drážky, kruhové otvory mají průměry 3,45 mm, 3 mm a 6 mm, drážka má šířku 2 mm.



Obr. 3 Páčka s vyznačenými ohyby.

Při volbě vhodného materiálu pro výrobu součásti je potřeba zohlednit veškeré požadavky kladené na součást a její funkci. Na součást jsou kladené požadavky na odolnost proti korozi, jelikož zámek, ve kterém je díl umístěn se nachází v bočních dveřích automobilu, kde se může vyskytovat jak prach, tak vlhkost z okolního prostředí. Páčka je také vystavena mechanickému namáhání v podobě tahu, tlaku, nárazů a vibrací, jež se přenášejí do zámku z vozidla. Jelikož součást bude vyráběna ve velkých sériích, materiál tvoří rozhodující část koncové ceny výrobku a je nutné brát v potaz jeho pořizovací cenu. Pro otevírací páčku je tedy žádoucí volit materiál co nejlevnější a nejdostupnější, který splní všechny kladené požadavky.

K výrobě součásti je volena ocel S355MC, dle EN 10149-1. Jedná se o legovanou jakostní ocel vhodnou pro tváření za studena (ohýbání, ohraňování, lemování) bez vzniku trhlin. Minimální mez kluzu oceli je $R_{eH} = 355$ MPa, mez pevnosti je v rozsahu $R_m = 430-550$ MPa a tažnost $A = 20$ %, chemické složení oceli je uvedeno v tabulce č. 1. [8]

Tab. 1 Chemické složení oceli S355MC [8]

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al _{celk.}	Nb	V	Ti
Obsah [%]	0,12	1,50	0,50	0,025	0,020	0,015	0,09	0,20	0,15

Ocel S355MC je vhodná pro povrchové úpravy pomocí galvanického zinkování, tento druh povrchové úpravy je využit také u vyráběné otevírací páčky, konkrétně technologií Fe/ZnNi. Galvanické zinkování se řadí do skupiny nejčastěji používaných povrchových úprav kovů. Jedná se o elektrolytický děj, při němž se na součásti (katoda) elektrochemicky vyloučí zinkový povlak (anoda). Tloušťka povlaku se obvykle pohybuje v rozmezí 5-20 μm . Na vyloučený zinkový povlak se dále nanáší pasivační vrstva, která zamezuje korozi povlaku a prodlužuje jeho životnost. Na závěr je možno zařadit tzv. utěsnění lakem, to je proces, při kterém se nanáší lak ve vrstvě 2-4 μm a tvoří průhledný ochranný film která zvyšuje odolnost proti korozi a oděru. [9; 10; 11; 12; 13]

1.1 Možnosti výroby součásti

Páčku lze zhotovit několika různými postupy a technologiemi výroby. Pro volbu správné technologie výroby je potřeba brát v potaz určitá kritéria. Mezi nejzásadnější patří dodržení rozměrových a geometrických požadavků, ekonomičnost a hospodárnost celé výroby. Dále musí být zohledněna doba výrobního cyklu vzhledem k množství vyráběných kusů. Součást může být vyrobena následujícími technologiemi [2]:

- Odlévání – principem technologie je přivedení kovu do tekutého stavu a dopravení této taveniny do vnitřní dutiny formy (obr. 4), která má tvar shodný s vyráběným dílem. Hlavní výhodou této technologie je nízké procento odpadu, odpad je tvořen především vtokovou soustavou, tento odpad ovšem lze znovu zpracovat a použít na odlévání další součásti. Mezi nevýhody patří nutnost úpravy modelu součásti, aby splňovala technologičnost pro proces odlévání a následné tepelné zpracování po odlití. Vzhledem k tvaru součásti, především slabé tloušťky stěny a zvolenému materiálu S355MC, není technologie odlévání vyhovující pro výrobu páčky. [2; 14; 15]
- Řezání plazmou – Plazma je ionizovaný, navenek neutrální plyn tvořený elektricky nabitými částicemi (elektrony a ionty), který dosahuje teplot až 20 000 K. Oblouk plazmy (obr. 5) hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou, která je zapojena jako katoda a řezaným materiálem zapojeným jako anoda. Materiál je díky vysoké teplotě plazmy nataven a následně vyfouknut z řezné spáry dynamickým účinkem plazmy. V dnešní době se jedná o jednu z nejmodernějších metod dělení materiálu, která postupně nahrazuje dříve používaný autogen. Plazmou lze řezat všechny vodivé materiály jako je ocel, hliník, měď a dalších barevných kovů. Jako plazmové plyny jsou používány argon, helium, vodík, dusík, kyslík nebo vzduch, některé z těchto plynů (argon, dusík, argon + vodík) mohou být použity také jako fokusační plyn, který zaostřuje řezný paprsek při výstupu z hořáku. Mezi výhody patří menší vnesené teplo, produktivita, možnost řezání materiálu o tloušťce až 250 mm a snadná automatizace. Pomocí plazmového paprsku by byl vypálen rozvinutý tvar otevírací páčky a ohyby by byly následně vytvořeny v ohybovém nástroji. Tato technologie pro roční sérii 400 000 ks není ekonomicky výhodná. [16; 17; 18; 19; 20]



Obr. 4 Odlévání do formy [21]



Obr. 5 Řezání plazmou [16]

- Řezání laserem – Principem je přivedení vysoce koncentrované energie v podobě laserového paprsku (obr. 6) na řezaný materiál do místa řezu, tím dojde k lokálnímu rychlému ohřevu, jenž vede k postupnému odtavování materiálu. Rozlišujeme tři základní druhy řezání – tavné, pálicí a sublimační. Při tavném řezání je materiál v místě dopadu laserového paprsku roztaven a následně odstraněn z řezné spáry pomocí proudu dusíku. Pálicí řezání je rychlejší než tavné, ale kvalita povrchu je horší a materiál je více tepelně ovlivněn. Do řezné mezery je vháněn kyslík, který slouží jako řezný plyn a roztavený materiál shoří. Principem sublimačního řezání je odpařování materiálu pomocí vysokého výkonu laserového paprsku. Pro vysokou přesnost, rychlost řezu, malé tepelné ovlivnění okolního materiálu a tím pádem k malým deformacím je v dnešní době hojně využívána technologie řezání laserem. Laserem lze řezat konstrukční ocel až do tloušťky 35 mm a korozivzdornou ocel až do tloušťky 18 mm. Volba této technologie je rovněž nevyhovující, ze stejných důvodů jako řezání plazmou. [2; 22; 23]
- Řezání vodním paprskem – Podstatou je obrušování obráběného materiálu vlivem talku vodního paprsku (obr. 7), který vzniká v řezací hlavě zakončené trysekou. Pracovní tlak paprsku se pohybuje v rozmezí 800-6500 Bar, zdrojem tlaku jsou speciální tlaková čerpadla. Čistý vodní paprsek je využíván na řezání nekovových materiálů, vodní paprsek s přidaným abrazivem (např. korund) je využíván na tvrdé materiály, rychlost řezu následně závisí na množství abraziva v paprsku. Výhodou vodního paprsku, je možnost řezat jakýkoliv materiál bez tepelného ovlivnění. Hlavní nevýhodou je možnost vzniku koroze u určitých řezaných materiálů vzhledem k pracovní látce, kterou je voda. Stejně jako ostatní paprskové technologie ani řezání vodním paprskem není vhodné pro velkosériovou výrobu dílů. [23]



Obr. 6 Řezání laserem [24]

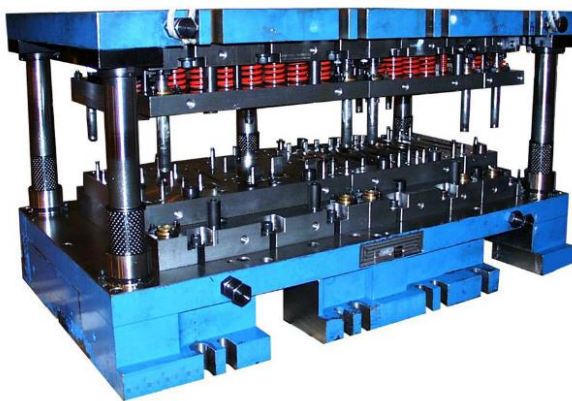


Obr. 7 Řezání vodním paprskem [25]

- Vysekávání – jedná se o beztržkové dělení materiálu, nejčastěji v podobě plechu, kdy jako stroj je využit vysekávací automat (obr. 8), který je řízen pomocí CNC. Plech je upevněn na stole stroje pomocí dvojice programovatelných upínek. Nástroj je tvořen razníkem, maticí a stěračem, vše je umístěno v nástrojové kazetě v zásobníku stroje. Základními nástroji pro vysekávací automaty jsou děrovací a dělicí nástroje, tvářecí nástroje a popisovací a značící nástroje. Vysekáváním můžeme zpracovávat ocel až do tloušťky 8 mm, s rostoucí složitostí tvaru součásti roste čas potřebný k její výrobě. Technologie opět umožňuje vyrobit pouze rozvinutý tvar součásti, který musí být následně ohnut do požadovaného prostorového tvaru. [3; 26; 27]
- Stříhání a ohýbání v nástroji – metoda při které je rozvinutý stav dílce vytvořen pomocí postupového nástroje a ohyby jsou zhotoveny v druhém ohybovém nástroji. Pás plechu je zasouván do nástroje, který vytváří rozvinutý tvar postupně v několika krocích, dochází tedy k více střížným operacím na jeden zdvih, čím složitější tvar je třeba vyrobit tím více kroků nástroj obsahuje. Plech je do nástroje zasouván vždy o vzdálenost jednoho kroku, a to buď ručně pomocí systému dorazů anebo automatizovaně pomocí podavače. Jedná se o vysoce produktivní metodu s velkými počátečními náklady na výrobu nástroje, použití tedy nachází pouze ve velkosériové výrobě. Nevýhodou při požadované roční sérii 400 000 ks by byla nutná manipulace s výstřižky vytvořenými v postupovém střížném nástroji a jejich zakládání do několika pozic v ohybovém nástroji. [2; 26; 27; 28]
- Sdružený postupový nástroj – výhodou sdruženého nástroje (obr. 9) je možnost spojení několika technologií najednou v jediném nástroji, odpadá tedy nutnost manipulace s kusy mezi dvěma nástroji, kdy každý z nich je určen pro jinou technologii. Součást je vyrobena v několika krocích, první kroky zpravidla zastávají střížné operace, dále se součást tváří požadovanou tvarovací technologií (ohýbání, tažení, lemování) aby bylo dosaženo jejího konečného prostorového tvaru, konečnou operací je oddělení součásti z pásu plechu. Hlavní výhodou je vysoká produktivita výroby a použití pouze jediného tvářecího stroje, ten ale musí být vhodně dimenzován, jelikož sdružené nástroje obecně vyžadují větší tvářecí síly. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena nástroje, která musí být rozpočítána mezi dostatečně velikou sérií kusů. [2; 3; 26; 27]



Obr. 8 Vysekávací automat [29]



Obr. 9 Sdružený postupový nástroj [30]

Po posouzení tvaru součásti, výrobní série a všech výše uvedených možností výroby, je volena varianta sdruženého postupového nástroje. Touto volbou bude dosaženo nejvyšší efektivity výroby a odpadá nutnost návrhu a výroby dvou různých nástrojů, každý pro jednu technologii. Součást bude zhotovena na několik kroků v jediném nástroji a stroji. Diplomová práce se dále zaměří na zvolenou technologii, a to jak v teoretické, tak i návrhové části práce.

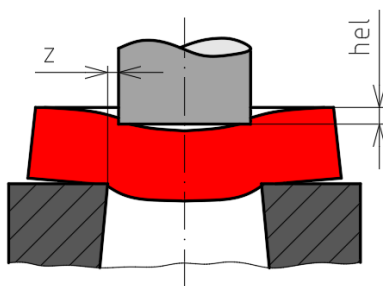
2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Pro výrobu otevírací páčky byla zvolena technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Jedná se o variantu s vysokou produktivitou a efektivitou výroby. Do nástroje je podáván materiál ve formě plechu, který může být dodáván buď jako tabule nebo svitek. Z těchto důvodů literární studie diplomové práce je zaměřena na dvojici tvářecích operací, kterými jsou stříhání a ohýbání.

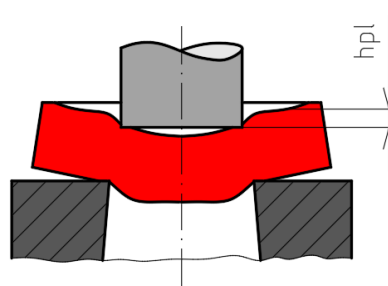
2.1 Stříhání

Stříhání se řadí do základních operací dělení materiálu, které slouží jak k výrobě finálního dílu, tak k výrobě polotovarů určených pro další zpracování, např. rondely pro hluboké tažení. Jedná se o jedinou technologii tváření, při které je cílem způsobit porušení polotovaru. Podstatou střížného procesu je vyvolání porušení-lomu v místě ohniska deformace, pomocí zatlačování dvojice břitů, které vyvolávají tlak a smyková napětí v materiálu. Následkem těchto napětí dojde k postupnému oddělení materiálu podél křivky stříhu. Aby bylo dosaženo vyhovující kvality střížné plochy je nutné správně zvolit parametry procesu, jako jsou například střížná vůle a ostrost břitů. Celý proces stříhání lze rozdělit do čtyř fází a bude popsán pro operaci děrování, kde s využitím střížníku a střížnice jsou vytvářeny otvory do stříhaného materiálu [26; 27; 28; 31; 32]:

- První fáze – dochází k vnikání střížníku do povrchu stříhaného materiálu, viz obr. 10. To vede ke vzniku pružné deformace a nedochází k oddělování materiálu. Hloubka vniknutí střížníku závisí především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a pohybuje se v rozmezí 5-8% tloušťky plechu. Na hranách střížníku a střížnice dochází ke vzniku nežádoucího ohybu. [1; 3; 24]
- Druhá fáze – vzniká trvale plastická deformace, viz obr. 11, to je způsobeno napětím ve směru vnikání, které je vyšší než mez kluzu stříhaného materiálu. Střížník vniká do hloubky 10-25% tloušťky materiálu, hloubka vniknutí střížníku je opět ovlivněna především mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. [1; 3; 24]



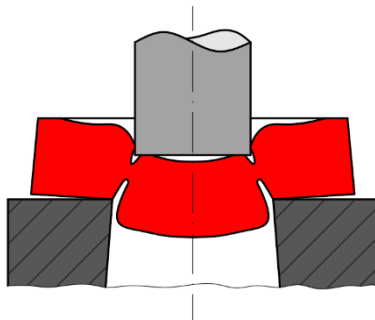
Obr. 10 První fáze stříhu [24]



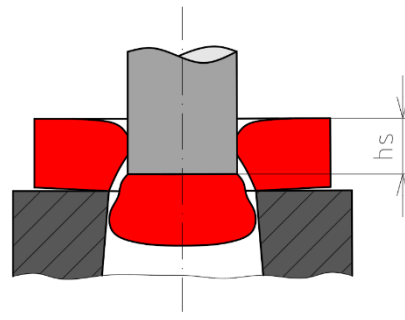
Obr. 11 Druhá fáze stříhu [24]

- Třetí fáze – napětí dosáhne hodnoty meze pevnosti ve stříhu a v místě působení ostří střížníku a střížnice vzniká nástřih (první trhlinky materiálu). Vznik těchto trhlin je podporováno tahovým napětím působícím ve směru tzv. „vláken“ v materiálu. Vlákna jsou tvořena vměstky, u oceli je to především síra a fosfor, které se při zpracování plechu válcováním deformují ve směru toku materiálu. Dochází k rychlému šíření trhlin až do stavu, kdy dojde v oddělení materiálu, viz obr. 12. Rychlost, při které vznikají trhliny je ovlivněna mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu a velikostí střížné vůle. Je-li materiál tvrdý dochází k rychlému oddělení při malé hodnotě vniknutí střížných hran, naopak pokud je materiál houževnatý dochází ke vzniku a šíření trhlin pomalu a hodnota vniknutí dosahuje vyšších hodnot (až 60% tloušťky plechu). [1; 3; 24; 25]

- Čtvrtá fáze – nastává po oddělení stříhaného materiálu a jedná se o protlačení výstřižku z polotovaru, viz obr. 13. Čtvrtá fáze je doprovázena otěrem střižné plochy. [1; 24]

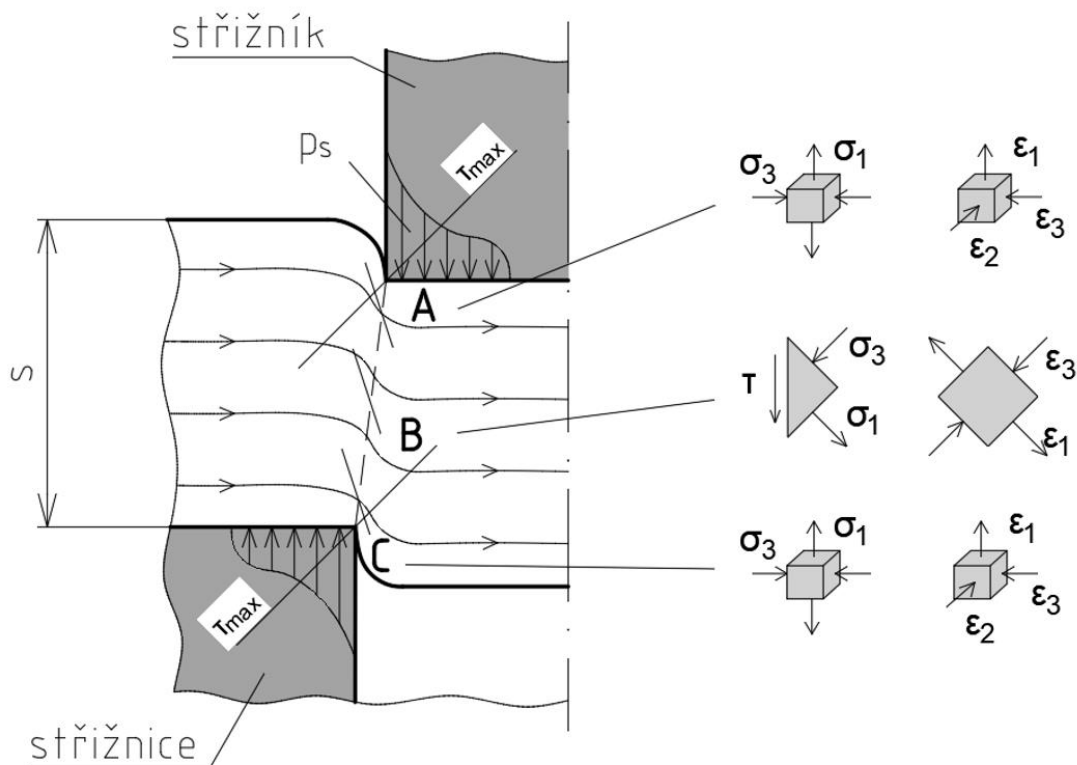


Obr. 12 Třetí fáze stříhu [24]



Obr. 13 Čtvrtá fáze stříhu [24]

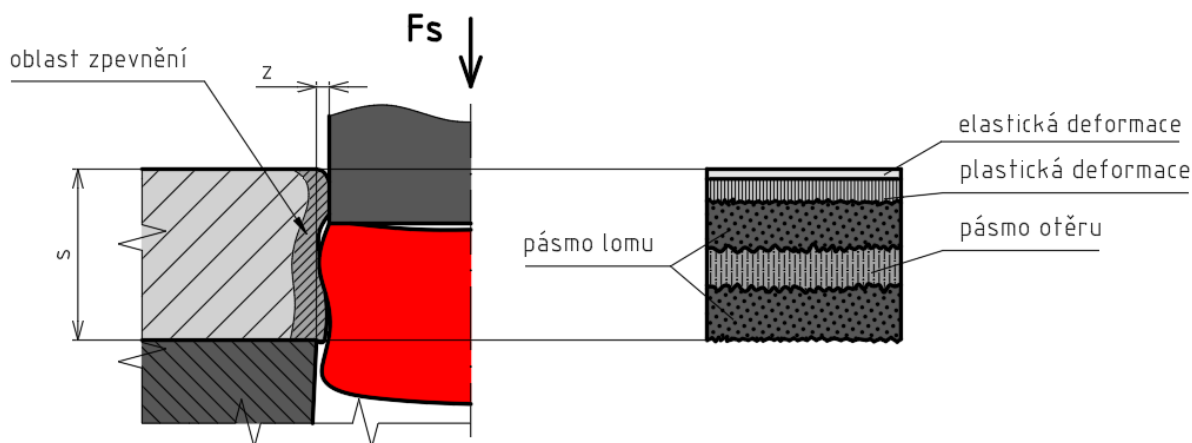
Při uzavřeném stříhání obrys střížníku a střižnice tvoří uzavřenou konturu. Dochází k natahování materiálu mezi střížnými hranami a jeho vytlačování do stran, kdy tento jev má za následek změnu křivosti jednotlivých vláken, jejich prodlužování a zmenšování tloušťky materiálu, viz obr. 14. Jednotlivá vlákna jsou zobrazena podélnými vrstevnicemi. Stav napjatosti a deformace se podél střižné roviny mění. Změna křivosti vláken má také za následek natáčení napětíových a deformačních souřadných systémů. Jak bylo zjištěno praktickými zkouškami, v bodě **A** tahové napětí σ_1 dosahuje nejvyšších hodnot, velikost tlakového napětí σ_3 je rovno přibližně poloviční hodnotě napětí σ_1 . Při stříhání je uvažováno, že třetí hlavní napětí σ_2 je rovno nule, vzniká tedy rovinný stav napjatosti. Protože složka deviátoru napětí D_{σ_2} není rovna nule, je v bodě **A** prostorový stav deformace. Bod **C** má stav napjatosti a deformace shodný s bodem **A**. V bodě **B**, který se nachází v pomyslném středu stříhaného materiálu platí, že absolutní hodnoty napětí σ_1 a σ_3 jsou stejně velké a napětí σ_2 je i nadále uvažováno rovno nule, zde jsou splněny podmínky prostého smyku. [1; 24; 28; 32]



Obr. 14 Schéma napjatosti a deformace při uzavřeném stříhání [1]

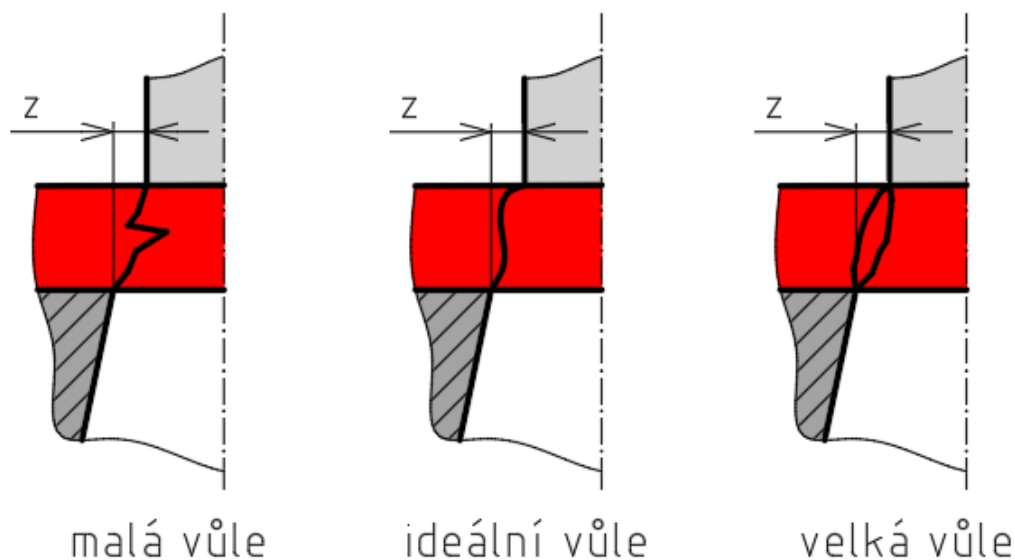
2.1.1 Střížná vůle a plocha

Střížná plocha je tvořena čtyřmi pásmy a její kvalita je zásadně ovlivněna správnou volbou velikosti střížné vůle, viz obr. 15. Střížná plocha má charakteristický tvar S křivky, a obsahuje pásmo zpevnění, které zasahuje do 20-30 % tloušťky plechu. Zpevnění materiálu je vyvoláno plasticou deformací materiálu v průběhu střížného procesu. Jednotlivá pásma střížné plochy jsou znázorněna na obrázku 15, drsnost střížné plochy se pohybuje v rozmezí $R_a = 0,8 - 6,3$. [1; 2; 3; 25]



Obr. 15 Střížná plocha [33]

Střížnou vůlí je rozuměn rozdíl mezi vnějším rozměrem střížníku a vnitřním rozměrem otvoru ve střížnici a jedná se o dvojnásobek hodnoty střížné mezery. Při správné volbě velikosti střížné vůle dojde k setkání trhlin šířících se od hran střížníku a střížnice v okamžiku stříhu. Pokud je vůle příliš velká tak se trhliny šíří ale nesetkají se a vzniká nekvalitní střížná plocha, naopak při malé střížné vůli vzniká na střížné ploše „zub“ a roste střížná síla a práce. [26; 33; 34]



Obr. 16 Vliv střížné vůle [34]

Na velikost střížné vůle má vliv typ stříhaného materiálu, jeho tloušťka, druh střížné operace a požadovaná přesnost výstřížku. V literatuře se často vyjadřuje v závislosti na druhu a tloušťce stříhaného materiálu, uvádí se, že střížná vůle se rovná 3-20% tloušťky plechu. [26; 35]

Druhou možností určení vůle v je její výpočet pomocí vzorců, např. norma ČSN 22 6015 uvádí následující vztah [36]:

$$v = 2 \cdot z, \quad (2.1)$$

kde: z - střižná mezera [mm].

U plechů s tloušťkou do 3 mm [36]:

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

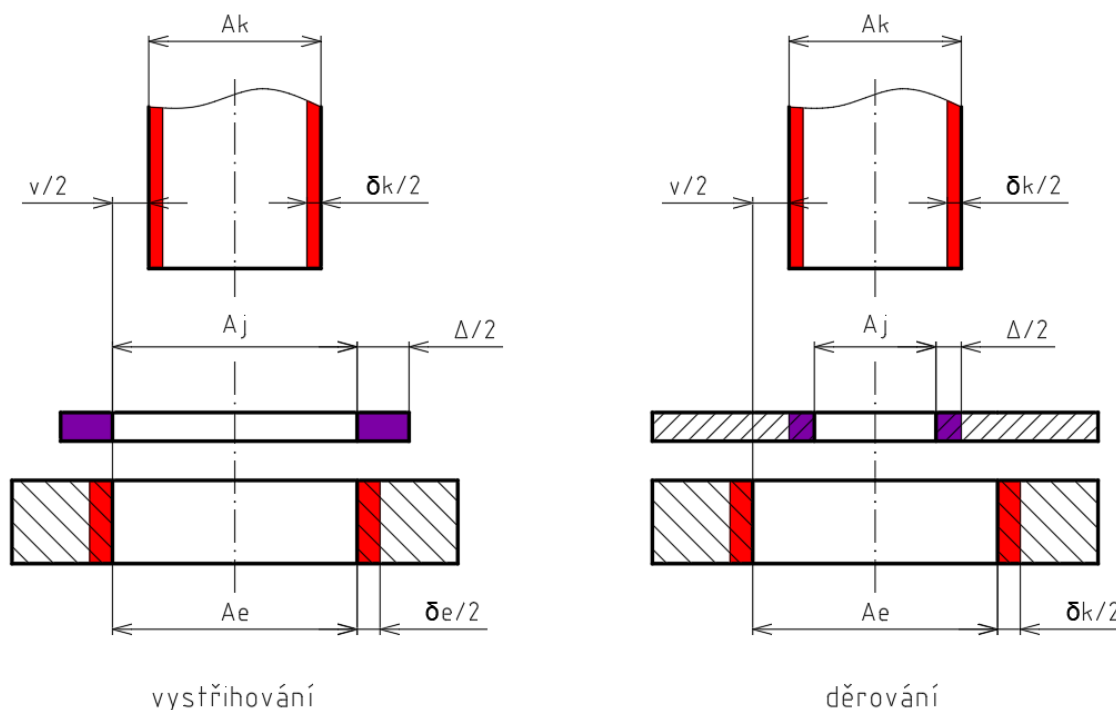
kde: c - součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,035) [-],

s - tloušťka plechu [mm],

τ_s - střižný odpor materiálu [MPa].

Hodnota součinitele c nabývá hodnot od 0,005 až 0,035 podle požadavků na výrobní proces. Pokud je požadována minimální střižná síla je volen součinitel co největší, naopak nejmenší součinitel vede ke kvalitnější střižné ploše. [35]

Jak bylo zmíněno v odstavcích výše, střižná vůle je rozdíl mezi rozměrem střižníku a otvoru ve střižnici. Zda se střižník zmenší o střižnou vůli, nebo otvor ve střižnici zvětší o hodnotu střižné vůle záleží na konkrétní operaci, zda se jedná o děrování nebo vystřihování. V případě děrování, kdy je materiál propadající střižnicí odpad, se otvor ve střižnici zvětšuje o hodnotu střižné vůle. U vystřihování naopak propadá střižnicí výrobek a střižník je zmenšován o střižnou vůli. Do výpočtů se také zahrnuje požadovaná přesnost výstřižků. Schéma objasňující stanovení funkčních rozměrů nástrojů je na obr. 17. [26; 35; 36]



Obr. 17 Funkční rozměry nástrojů [35]

Při vystřihování jsou funkční rozměry nástroje vypočítány pomocí vztahů [36]:

$$A_{eV} = (A_j - \Delta)^{+\delta_e}, \quad (2.3)$$

kde: A_{eV} - rozměr střížnice při vystřihování [mm],
 A_j - jmenovitý rozměr výstřižku [mm],
 Δ - tolerance výstřižku [mm].

$$A_{kV} = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k}, \quad (2.4)$$

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

Při děrování jsou funkční rozměry nástroje vypočítány pomocí vztahů [36]:

$$A_{eD} = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e}, \quad (2.5)$$

kde: A_{eD} - rozměr střížnice při děrování [mm].

$$A_{kD} = (A_j + \Delta)_{-\delta_k}, \quad (2.6)$$

kde: A_{kD} - rozměr střížníku při děrování [mm].

2.1.2 Střížný odpor materiálu

Pod pojmem střížný odpor je rozuměno odpor, který klade materiál proti vníkaní střížného nástroje a svému oddělení. Závisí na několika faktorech, především ale na mechanických vlastnostech materiálu, vliv má také střížná vůle, konstrukce nástroje, tvar a rozměry křivky stříhu a tloušťka stříhaného polotovaru. Střížný odpor klesá se zvětšující se tloušťkou materiálu a roste se zvyšující se rychlostí stříhu a pevností materiálu. Střížný odpor je také ovlivněn třením mezi plechem a nástrojem. Dle různých publikací se hodnota střížného odporu pohybuje okolo 77 % meze pevnosti stříhaného materiálu, tato hodnota je často autory zaokrouhlována na 80% meze pevnosti. Střížný odpor dosahuje hodnot v rozmezí 250 až 400 MPa u měkkých ocelí, u nerezových plechů se pohybuje mezi 500 až 700 MPa. U slitiny hliníku dosahují hodnot střížného odporu 50 až 300 MPa [1; 3; 26; 31; 32]. Střížný odpor je vypočten dle vztahu [33]:

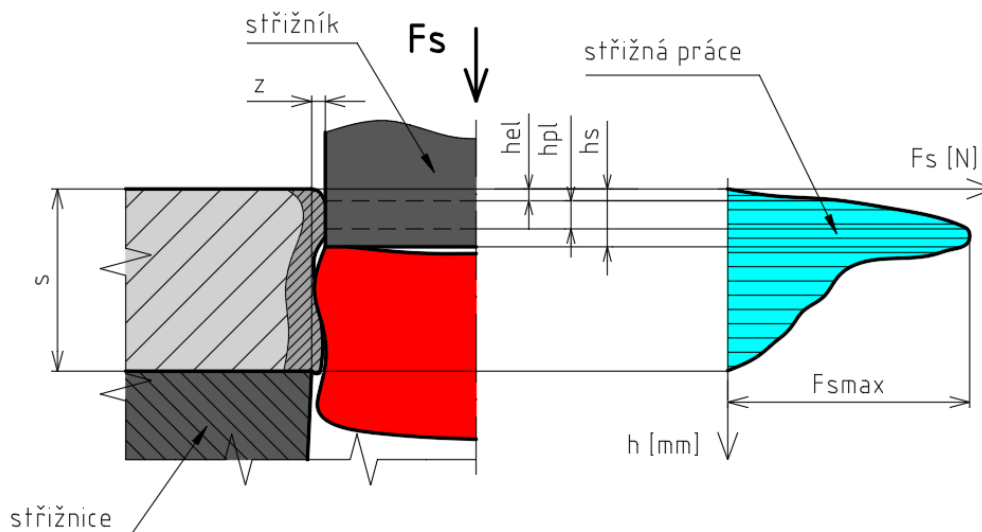
$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} = 0,77 \cdot R_m \approx 0,8 \cdot R_m, \quad (2.7)$$

kde: F_s - střížná síla [N],
 S_s - střížná plocha [mm²].

2.1.3 Střížná síla a práce

Aby mohla být určena vhodná velikost a výkon tvářecího stroje pro lisovací nástroj, je nutné znát střížnou sílu a střížnou práci. Její znalost v jednotlivých krocích je dále zásadní pro konstrukci samotného nástroje, a to pro určení místa těžiště působení střížných sil a umístění stopky nástroje. Střížná síla má charakteristicky průběh zobrazený na obrázku 18, kde je vykreslena závislost střížné síly na hloubce vniknutí střížníku do materiálu. V první fázi dochází k elastické deformaci materiálu a střížná síla strmě roste, síla roste i ve fázi kdy nastává plastická deformace materiálu a materiál zpevňuje, růst je ale již pomalejší než ve fázi první.

V okamžiku vzniku nástřihu neboli prvních trhlinek v materiálu nastává pokles střížné síly až po hloubku vniknutí označovanou jako h_s , následuje porušení materiálu lomem a vznik střížné plochy o charakteristickém tvaru S křivky. Jak je patrné z průběhu střížné síly, tak její hodnota prudce nespadne na nulovou hodnotu ihned po porušení materiálu lomem, to je dáno třením mezi plochami stříhaného materiálu a dále třením při průchodu vystřižnutého materiálu otvorem ve střížnici. [26; 27; 31; 37]



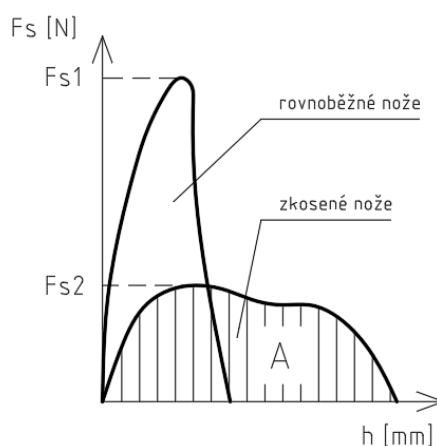
Obr. 18 Průběh střížné síly [27]

Vztah pro výpočet střížné síly [36]:

$$F_s = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot S_s = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l \cdot s, \quad (2.8)$$

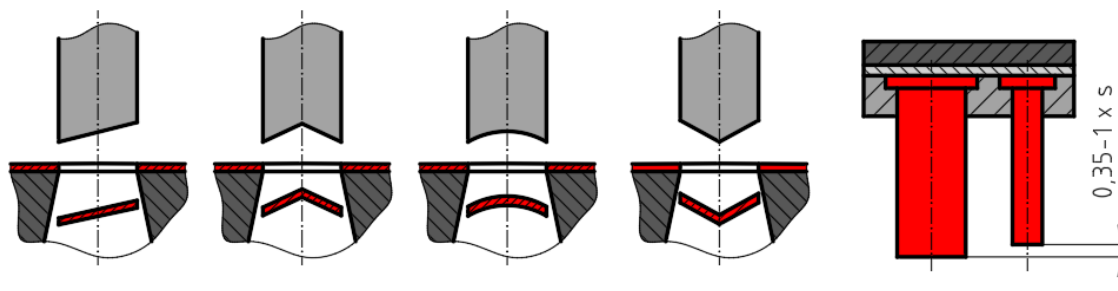
kde: k_{ot} - koeficient otupení nástroje [-],
 l - délka stříhu [mm].

Pokud je stříhán plech o veliké tloušťce, může maximální střížná síla dosahovat velkých hodnot. Existuje několik možností konstrukčních úprav, jak hodnotu maximální střížné síly snížit, hodnota potřebné střížné práce ale vždy zůstává stejná. Jedním ze základních řešení je zkosení střížníku nebo střížnice, tím dojde ke snížení potřebné maximální střížné síly o 30 až 60 %, průběh střížné síly již není strmý jak při použití rovnoběžných nožů, ale je více protáhlý, jak je zřejmé z obrázku 19. [28; 38; 39]



Obr. 19 Průběh střížných sil s různými tvary nožů [28]

Zkosení střížníku se provádí tehdy, pokud se jedná o proces děrování, střížnice zůstává rovná. Odpad, který propadává otvorem ve střížnici je deformován ohybem. Naopak při vystřihování se upravuje střížná hrana střížnice a čelo střížníku je rovné. Další možností snížení střížné síly je stupňovité výškové uspořádání jednotlivých střížníků, viz obr. 20. [28; 38; 40]



Obr. 20 Příklady úprav funkčních částí nástroje pro snížení střížné síly [38]

Při stříhání vznikají další dvě síly, se kterými je nutné počítat v celkové střížné síle. Jedná se o stírací a protlačovací sílu, obě jsou způsobeny pružnou deformací stříhaného materiálu, jejich velikost lze částečně eliminovat vhodným mazáním. Stírací síla je potřeba pro setření materiálu, který ulpí na střížníku, je závislá na různých faktorech, jako je například tloušťka stříhaného materiálu, stříhaný tvar a velikost střížné vůle. [26; 27; 40] Výpočet stírací síly je proveden dle vztahu [40]:

$$F_{st} = k_{st} \cdot F_s, \quad (2.9)$$

kde: k_{st} - koeficient stírání [-].

Síla potřebná na protlačení výstřížku střížnicí se označuje jako síla protlačovací, výpočet je proveden dle vztahu [40]:

$$F_{pr} = k_{pr} \cdot F_s, \quad (2.10)$$

kde: k_{pr} - koeficient protlačování [-].

Velikosti koeficientů stírání a protlačování jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 2 Hodnoty koeficientů stírání a protlačování [43]

Materiál		k_{st}	k_{pr}
Ocel	do 1 mm	0,02-0,12	0,005-0,08
	1 až 5 mm	0,06-0,16	
	nad 5 mm	0,08-0,20	
Mosaz		0,06-0,07	0,04
Slitiny Al		0,09	0,02-0,04

Střížná práce je definována jako plocha pod křivkou střížné síly, je možno jí vypočítat pomocí integrace síly po dráze. Její hodnotu je nutné znát kvůli určení vhodného tvářecího stroje, jak je uvedeno v předchozím odstavci. Hodnota střížné práce se běžně určuje pomocí výpočtu, do kterého je zahrnut tzv. součinitel plnosti λ , který zohledňuje stříhaný materiál a tloušťku materiálu. [1; 35] Střížná práce je určena dle vzorce [36]:

$$A_s = \frac{F_s \cdot s \cdot \lambda}{1000} \quad (2.11)$$

Hodnoty součinitele plnosti jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3 Hodnoty součinitele plnosti [36]

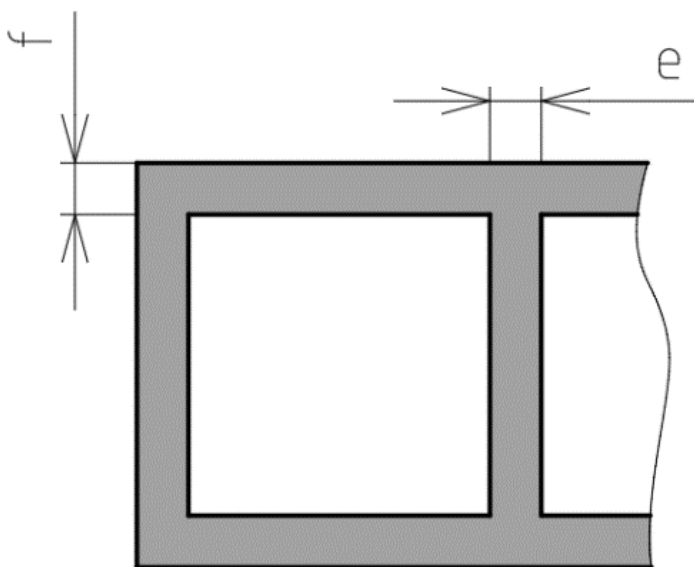
Materiál	Tloušťka materiálu s			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká $\tau_s=250-350 \text{ MPa}$	0,70-0,65	0,65-0,60	0,60-0,50	0,45-0,35
Ocel středně tvrdá $\tau_s=350-500 \text{ MPa}$	0,6-0,55	0,55-0,50	0,50-0,42	0,40-0,30
Ocel tvrdá $\tau_s=500-700 \text{ MPa}$	0,45-0,42	0,42-0,38	0,38-0,33	0,30-0,20
Hliník, měď (žíhané)	0,75-0,70	0,70-0,65	0,65-0,55	0,50-0,40

2.1.4 Nástřihový plán

Aby bylo dosaženo co nejoptimálnějšího využití materiálu, to znamená co nejmenší procento odpadového materiálu, je potřeba zvolit optimální rozmístění dílů na pásu plechu. Odpad může být buď technologický (zbytek pásu plechu) nebo konstrukční (odpad po děrování otvorů). Plech se dodává ve formě svitků nebo tabulí, kdy lepšího využití je dosahováno při použití svitků. Šířka pásu je určena šířkou součásti, ke které je dvakrát přičtena velikost okraje **f** (obr. 21), existují ale i nástřihové plány které s okraji nepočítají. Dalším důležitým faktorem je velikost kroku, jeho velikost je určena délkou součásti a velikostí můstku **e**, krok určuje vzdálenost, o jakou se musí plech při každém zdvihu beranu lisu posunout. Velikosti můstků a okrajů jsou uvedeny v tabulce č. 4. [27; 28; 32; 41] Výpočet využití materiálu je pak:

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100, \quad (2.12)$$

kde: n_v - počet výstřížků [ks],
 S_v - plocha výstřížku [mm^2],
 S_p - plocha polotovaru [mm^2].

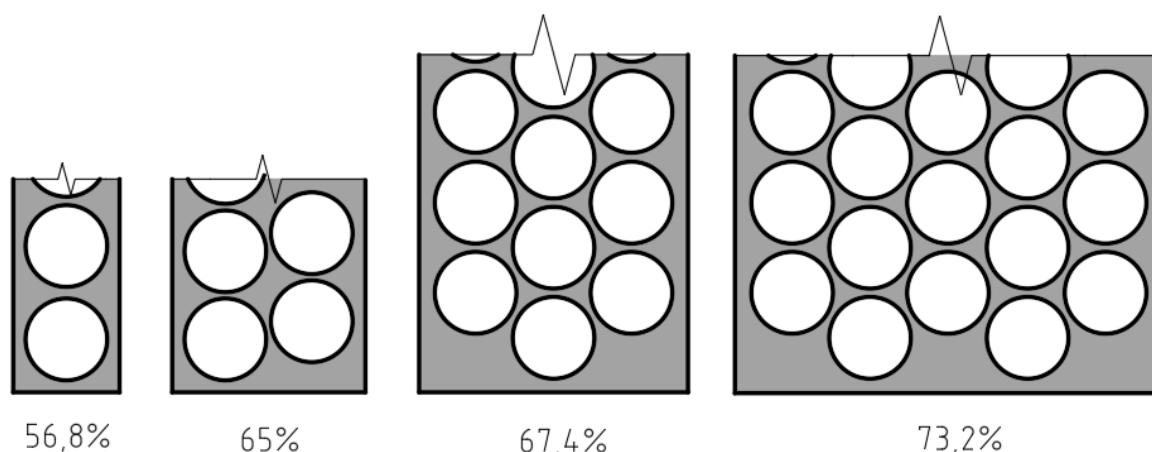


Obr. 21 Můstek a okraj

Tab. 4 Hodnoty šírek odpadu

Tloušťka materiálu [mm]	Šířka pásu [mm]											
	do 15		15 až 50		50 až 100		100 až 200		200 až 300		nad 300	
	Rozměr f, e [mm]											
	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e
0,1 až 0,2	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,3 až 0,4	1	1,2	1,3	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 až 0,6	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2,5	-	-	-	-	-
0,7 až 0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	3	3,2	-	-	-	-
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3,5	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	4	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4,2	5	5	6	6	7

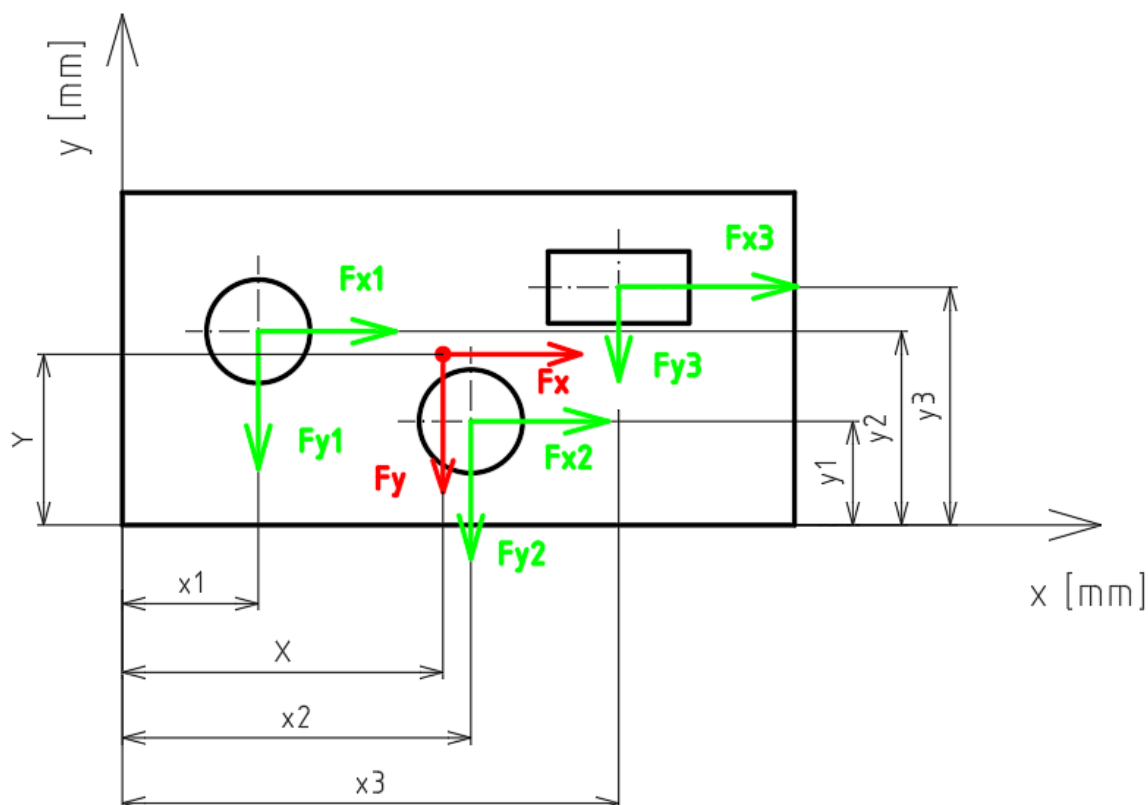
Zvýšit využití materiálu je také možné vhodným uspořádáním součástek na pás plechu, například víceřadým uspořádáním, jak je znázorněno na obrázku 22. Pokud jsou výstřižky složitějších tvarů je výhodné volit střídavé uspořádání, to znamená, že díly jsou poskládány do sebe. [28; 43]



Obr. 22 Využití materiálu při různém uspořádání [28]

2.1.5 Těžiště střižných sil

Znát souřadnice těžiště střižných sil je zásadní pro správnou konstrukci střižného nástroje, pokud v nástroji působí více tvářecích sil, do těžiště je umisťována stopka nástroje. Tím je zajištěno, že osa beranu lisu a osa upínací stopky jsou shodné a leží na sobě, díky tomu nevznikají klopné momenty, ty mají za následek větší opotřebení vodících prvků a také zvýšené namáhání stroje. Existují dva základní přístupy určení těžiště střižných sil, grafické a početní. Grafická metoda je zdoluhavá a náročná, také hrozí nepřesnosti způsobené nepřesným vynášením velikostí sil a odečítáním hodnot. Druhou metodou je metoda početní, která je přesnější a využívána ve všech technologických softwarech, metoda je založena na principu momentové rovnováhy. Aby mohly být souřadnice těžiště vypočteny, je nutné znát velikosti střižných sil a místo jejich působení, viz obr. 23. [3; 38; 39; 43]



Obr. 23 Určení těžiště výpočetní metodou [43]

Rovnice pro výpočet polohy těžiště střížných sil v ose X a Y jsou [43]:

$$X = \frac{F_{x1} \cdot x_1 + F_{x2} \cdot x_2 + F_{x3} \cdot x_3}{F_{x1} + F_{x2} + F_{x3}}, \quad (2.13)$$

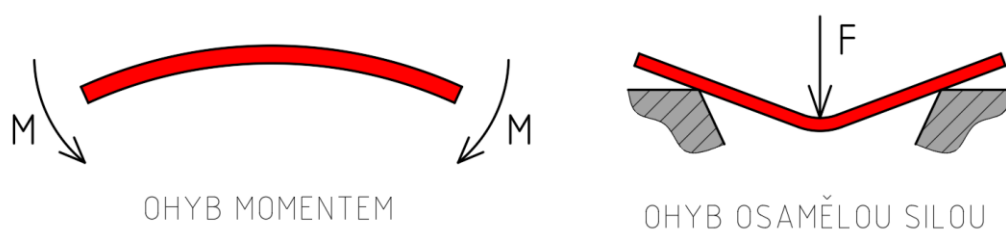
kde: F_{xi} - síla v dané operaci ve směru osy X [N],
 x_i - vzdálenost působíště síly v dané operaci ve směru osy X [mm].

$$Y = \frac{F_{y1} \cdot y_1 + F_{y2} \cdot y_2 + F_{y3} \cdot y_3}{F_{y1} + F_{y2} + F_{y3}}, \quad (2.14)$$

kde: F_{yi} - síla v dané operaci ve směru osy Y [N],
 y_i - vzdálenost působíště síly v dané operaci ve směru osy y [mm].

2.2 Ohýbání

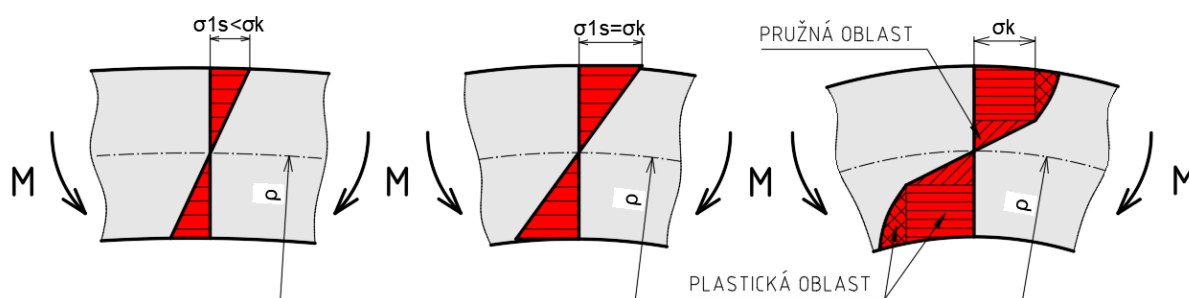
Ohýbání se řadí do technologie plošného tváření, při němž dochází ke vzniku trvalé deformace materiálu (mění se jeho křivost), aniž by docházelo k výrazné změně průřezu polotovaru. Deformace je způsobena působením lokálních sil anebo pomocí vnějších ohybových momentů (obr. 24), při čemž dojde k překročení napětí odpovídající mezi kluzu. Technologii ohýbání lze provádět za studena nebo za tepla, kdy v absolutní většině případů je využíváno ohýbání za studena, proces ohýbání za tepla se používá pouze ve speciálních případech, například při ohýbání křehkých nebo tvrdých materiálů. Nástroje používané k ohýbání materiálu jsou nazývány ohýbadla, funkční části nástrojů se nazývají ohybník a ohybnice. Při procesu ohýbání je plastická deformace doprovázena deformací elastickou, ta má za následek změnu rozměru ohybu po ukončení působení zatížení. Tato změna tvaru vlivem elastické deformace se nazývá odpružení a jedná se o nežádoucí jev a je nutné s ním počítat při konstrukci ohýbadel. Základní tvary ohybu jsou U a V. [1; 27; 34; 44]



Obr. 24 Ohyb momentem a osamělou silou [1]

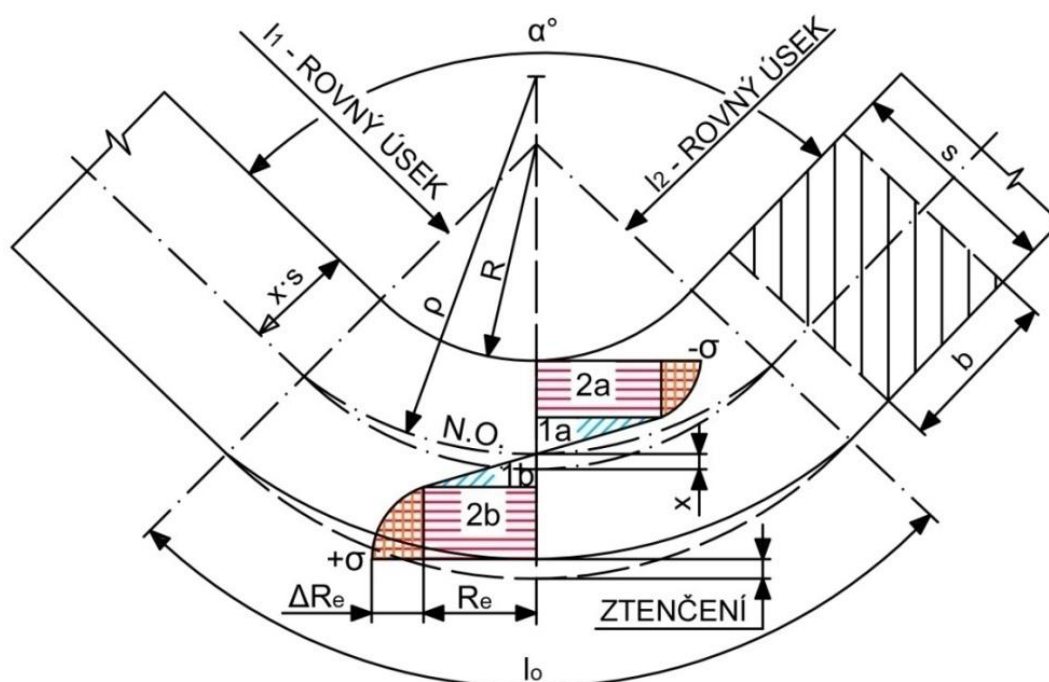
2.2.1 Průběh ohýbání

V průběhu ohýbání se zmenšuje křivost polotovaru, díky tomuto jevu dochází k natahování materiálu na vnější straně a jeho stlačování na straně vnitřní. Polotovar je tedy namáhán jak tahovým, tak tlakovým napětím, tyto dvě oblasti jsou od sebe odděleny tzv. neutrální osou, jedná se o pomyslnou křivku, na které jsou napětí a deformace rovny nule. Poloha neutrální osy q se v průběhu ohýbání mění – posouvá se směrem k vnitřní straně ohybu, její polohu je zásadní znát pro výpočet rozvinuté délky polotovaru. Samotný proces ohýbání lze rozdělit do několika fází, které se od sebe liší napětím a deformací v materiálu, viz obr. 25. [3; 33; 45]



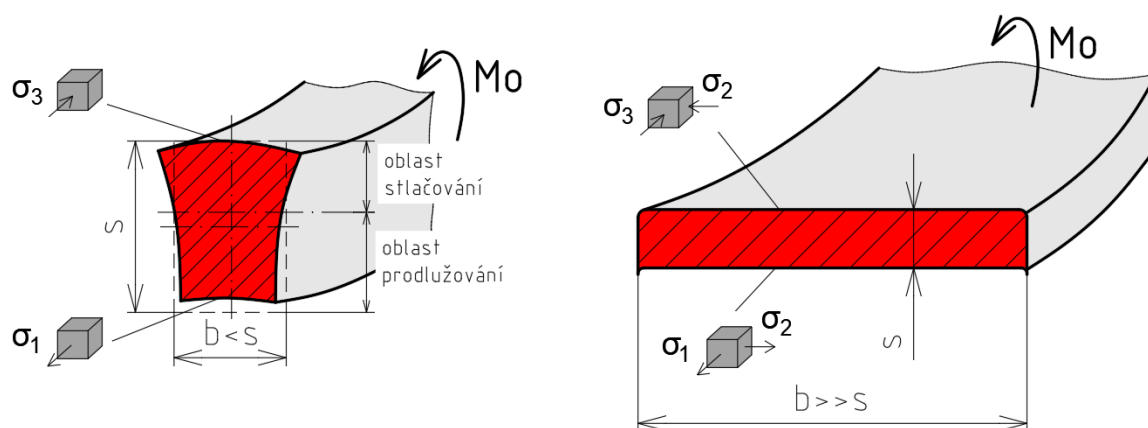
Obr. 25 Rozložení napětí v průřezu v jednotlivých fázích ohybu [33]

První fáze je charakteristická pružnou deformací, po odtížení se materiál vrátí do původního tvaru. Při druhé fázi napětí v krajních oblastech dosáhne velikosti meze kluzu, následuje třetí fáze (obr. 26), při níž vzniká pružně-plastický ohyb se zpevněním a napětí překračuje hodnotu meze kluzu. Pružná deformace se nachází v okolí neutrální osy, plastická deformace vzniká v krajích ohýbaného materiálu. [1; 41; 44]



Obr. 26 Schéma ohybu - 3. fáze [46]

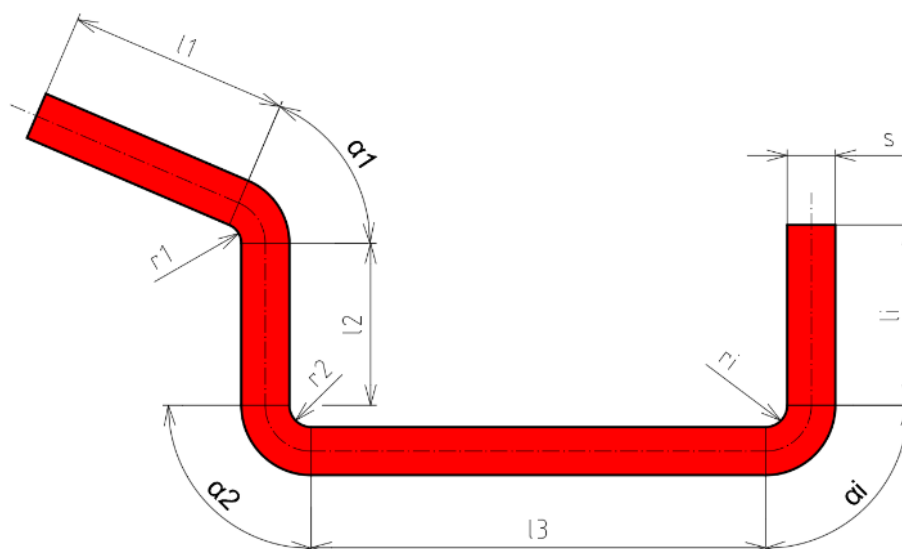
Ohýbání je možno dále rozdělit na základě příčného průřezu ohýbaného materiálu, je rozlišováno ohýbání tyčí a ohýbání širokých pásů, viz obr. 27. Polotovary je označován jako tyč, pokud je šířka materiálu menší než trojnásobek jeho tloušťky, naopak široké pásy jsou polotovary se šířkou větší než trojnásobek tloušťky. Při ohýbání úzkých tyčí lze napětí ve směru šířky zanedbat, neboť je eliminováno deformací výchozího průřezu. Napjatost na vnitřní straně pak odpovídá jednoosému tlaku a na vnější straně jednoosému tahu. Schéma deformace je prostorové – trojosé na vnitřní i vnější straně tyče, při procesu ohýbání dochází k zvětšování šířky materiálu na vnitřní straně, a naopak ke zmenšování na vnější straně ohybu. Při ohýbání širokých pásů není umožněna příčná deformace a díky tomu nedochází k významné změně průřezu polotovaru, může ale dojít k zeslabení tloušťky ohýbaného materiálu. Proces ohýbání širokých pásů je charakterizován plošnou napjatostí, tlakovou na vnitřní a tahovou na vnější straně ohybu, deformace je rovinného charakteru. [1; 3; 33; 44]



Obr. 27 Schéma napjatosti při ohybu tyčí a širokých pásů [1]

2.2.2 Určení délky polotovaru

Pro stanovení vhodné délky polotovaru (obr. 28) je potřeba vypočítat rozvinutou délku součásti, vychází se z délky neutrální osy deformace, která odpovídá délce polotovaru. Její poloha je určena výpočtem, jelikož neutrální osa se v průběhu ohýbání posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Jak již bylo zmíněno v kapitolách výše neutrální osa odděluje oblast tlaku a tahu v polotovaru při ohýbání a jedná se o místo kde nedochází k deformaci a napětí je zde rovno nule. Před samotným výpočtem je součást rozdělena na rovné a ohnuté úseky, u ohnutých úseků je následně určena poloha neutrální osy a délka oblouku. [2; 3; 26; 27]



Obr. 28 Určení délky polotovaru [3]

U výpočtu délky oblouku mohou nastat dva stavy, v prvním se jedná o ohyb s velkým poloměrem ohybu, kdy relativní poloměr $r/s \geq 6$. V tomto případě je posunutí neutrální vrstvy zanedbatelné a lze uvažovat, že prochází středem polotovaru. [2; 35] Poloměr neutrální vrstvy je potom vypočítán dle vztahu [27]:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2}, \quad (2.15)$$

kde: R_o - poloměr ohybu [mm].

V druhém stavu, ke kterému může dojít, se jedná o ohyb s malým poloměrem ohybu, relativní poloměr je poté $r/s < 6$. Zde již dochází k posunu neutrální osy vlivem deformace průřezu a je třeba s ním ve výpočtech uvažovat. [2; 35] Poloměr neutrální vrstvy je vypočítán [26]:

$$\rho = R_o + x \cdot s, \quad (2.16)$$

kde: x - součinitel posunutí neutrální vrstvy, viz schéma na obr. 26 [mm].

Součinitel posunutí je určen pomocí tabulky č. 5. Závisí na pevnosti materiálu a relativním poměru r/s .

Tab. 5 Součinitel posunutí neutrální vrstvy [27]

Mez pevnosti R _m [MPa]	poměr r/s											
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2
do 400 MPa	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400 MPa									0,35	0,36	0,37	0,38
Mez pevnosti R _m [MPa]	poměr r/s											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
do 400 MPa	0,46	0,47	0,48	0,49		0,5						
nad 400 MPa	0,4	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47		0,48		0,49	

Délka oblouku je pak stanovena ze vztahu [47]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \rho, \quad (2.17)$$

kde: α - úhel ohnutého úseku [°].

A celková délka polotovaru [47]:

$$L = \sum l_i + \sum l_{oi}, \quad (2.18)$$

kde: l_i - délka rovných úseků [mm].

2.2.3 Minimální a maximální poloměr ohybu

Součást lze ohýbat až do okamžiku kdy na vnitřní straně je dosaženo minimálního poloměru ohybu $R_{\min}$. Po překročení této kritické hodnoty dojde k porušení materiálu na tahové straně ohýbaného polotovaru. K porušení materiálu lomem dochází po dosažení meze pevnosti v tahu R_m . Hodnota dosažitelného minimálního poloměru ohybu $R_{\min}$ ovlivňuje řada faktorů, jako například plastičnost materiálu, kvalita povrchu, způsob a velikost ohybu a rozměry ohýbaného materiálu. Nezanedbatelný vliv má také anizotropie materiálu, anizotropie způsobuje, že vlastnosti materiálu jsou v různých směrech různé. Z tohoto hlediska je výhodné provádět ohyb ve směru vláken ohýbaného polotovaru, jinak se hodnota minimálního poloměru ohybu může zvětšit až na čtyřnásobek. Při konstrukci ohýbaného dílce je doporučováno využívat hodnotu $R_{\min}$ jen v nutných případech a pokud to konstrukce umožňuje, volit rádius ohybu o 10-20 % větší.[1; 2; 3; 31] Vztah pro výpočet hodnoty $R_{\min}$ [1]:

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_o \cdot s, \quad (2.19)$$

kde: ε_c - mezní prodloužení [-],
 c_o - materiálová konstanta, viz tabulka č. 6 [-].

Hodnota materiálové konstanty c_o je volena dle technologických podkladů, hodnota konstanty se mění se zpevněním ohýbaného materiálu a anizotropií. Pro vybrané materiály je hodnota konstanty uvedena v tabulce č.6. [33]

Tab. 6 Materiálová konstanta c_o [1]

Materiál	Ocel	Mosaz	Hliník	Dural	Měď
konstanta c_o	0,5-0,6	0,3-0,4	0,35	3-6	0,25

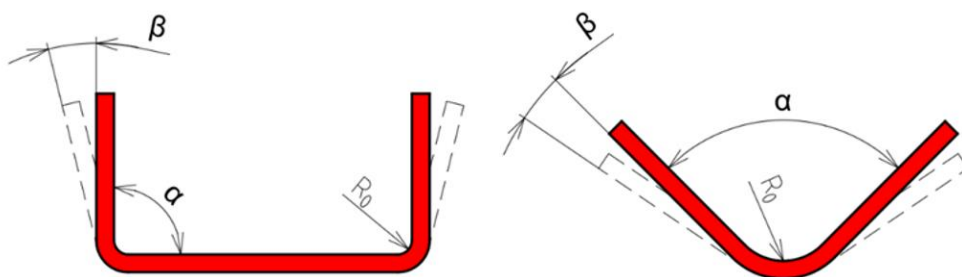
Maximální poloměr ohybu R_{max} je hodnota, při které dojde k první plastické deformaci (napětí překročí mez kluzu) v krajních vláknech ohýbaného materiálu. Jedná se tedy o hodnotu velikosti poloměru ohybu, při které se materiál nevrátí do svého původního stavu vlivem pružné deformace po odlehčení. [1; 2; 3] Rovnice pro výpočet hodnoty R_{max} poté je [33]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (2.20)$$

kde: E - modul pružnosti v tahu [MPa].

2.2.4 Odpružení

Jak je zmíněno v kapitolách výše, ohýbání je proces, při kterém vzniká pružně-plastická deformace. Právě pružná složka deformace způsobuje odpružení materiálu po ohybu v momentě, kdy přestane působit ohybová síla o úhel β , viz obr. 29. S velikostí odpružení je třeba počítat při konstrukci ohybového nástroje, jelikož způsobí změnu výsledného tvaru ohýbané součásti. Velikost odpružení ovlivňuje řada faktorů, například použitý materiál polotovaru a jeho mechanické vlastnosti, tloušťka materiálu, úhel ohybu a jeho poloměr, vliv má také tvar ohybu (U nebo V ohyb). Velikost odpružení lze stanovit buď z tabulky, která obsahuje hodnoty odpružení pro materiály o různých mechanických vlastnostech a různých tloušťkách. Druhou metodou je využití empirických vztahů, ty se liší pro ohyb do tvaru U a V. [33; 44; 45; 48]



Obr. 29 Odpružení při ohybu

Úhel odpružení při ohýbání do tvaru V lze vypočítat ze vztahu [38]:

$$\beta = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{l_v}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.21)$$

kde: l_v - vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm],
 k_o - součinitel určující polohu neutrální osy, viz tabulka č. 7 [-].

Úhel odpružení při ohýbání do tvaru U se vypočítá [38]:

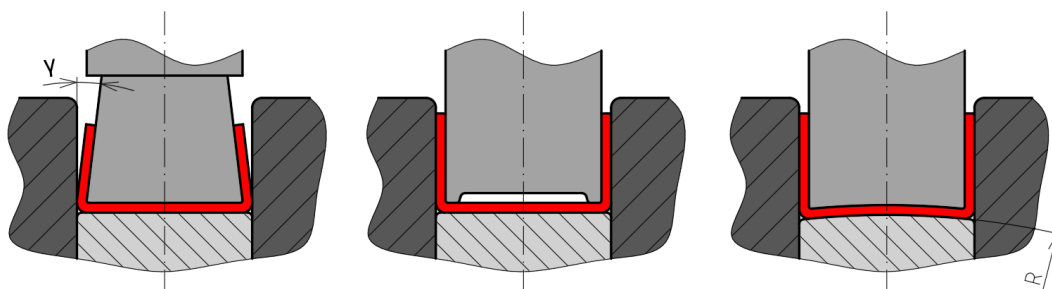
$$\beta = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.22)$$

kde: l_u - rameno ohybu při ohýbání do tvaru U [mm].

Tab. 7 Součinitel polohy neutrální osy k_o [38]

R_o/s	0,1	0,25	0,5	0,8	1	2	3	4	5	6
k_o	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52

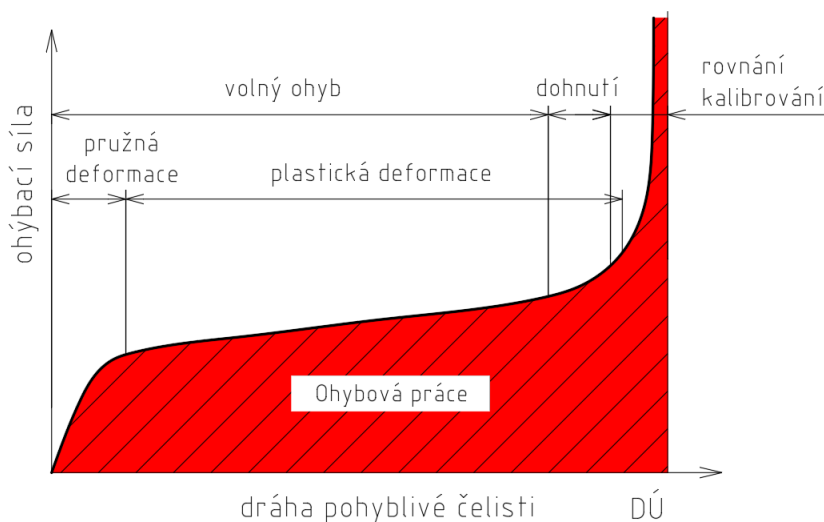
Odpružení nelze nikdy absolutně eliminovat, dochází k němu vždy, dá se pouze zmenšit jeho velikost. Nejjednodušší metodou je ohnout materiál více o úhel odpružení, s tím je potřeba počítat při samotné konstrukci ohýbadla a o hodnotu odpružení upravit úhel ohybníku a ohybnice, tento způsob lze efektivně využít pouze u ohybu do tvaru V. Pokud se jedná o eliminaci odpružení u ohybu do tvaru U, je potřeba použít jiné konstrukční úpravy ohybníku a ohybnice, možné úpravy jsou zobrazeny na obrázku 30. Další metodou zmenšení odpružení je zařazení kalibrace do procesu ohýbání, kdy v poslední fázi ohýbání dojde k navýšení síly. [27; 39; 38; 49]



Obr. 30 Konstrukční úpravy funkčních částí nástroje pro zamezení odpružení [38]

2.2.5 Ohybová síla a ohybová práce

Při výpočtu ohybové síly, je znovu třeba brát v potaz tvar do kterého je materiál ohýbán, výpočet se liší pro ohyb do tvaru V a ohyb do tvaru U. Při výpočtu ohybové síly (obr. 31) je vycházeno z momentové rovnováhy vnějších a vnitřních sil působících v materiálu při procesu ohýbání. [3; 33; 47]

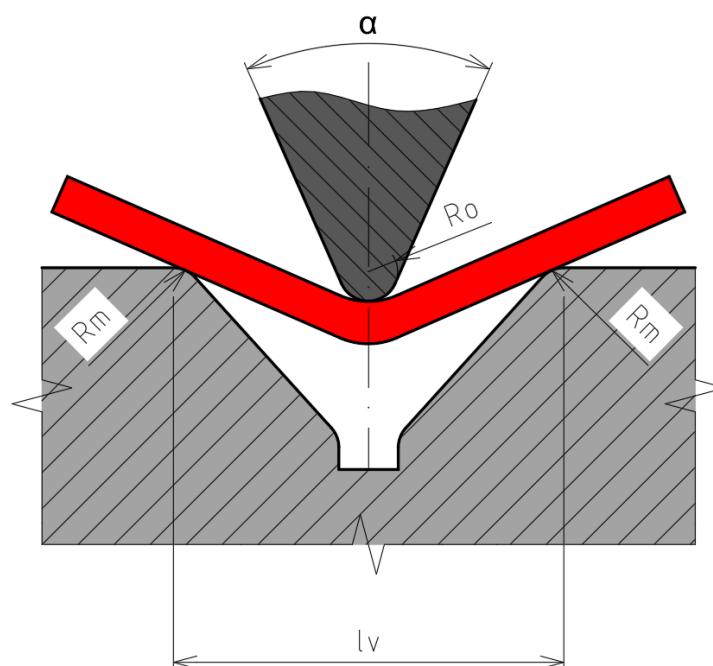


Obr. 31 Průběh ohýbací síly [27]

V průběhu ohybu do tvaru V (obr. 32) je polotovár uvažován jako nosník umístěn na dvou podporách zatěžován ve svém středu ohybovou silou, vztah pro výpočet ohybové síly poté je [1]:

$$F_V = \frac{b_o \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right), \quad (2.23)$$

kde: F_V - ohybová síla do tvaru V [N].

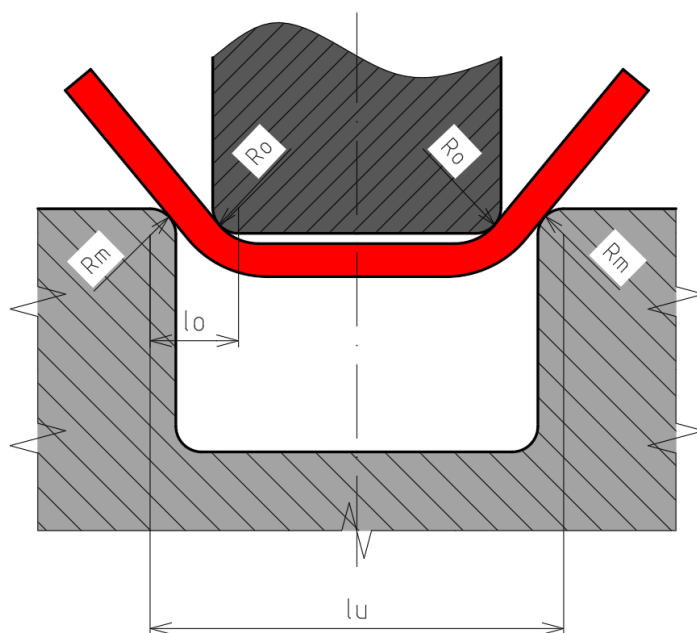


Obr. 32 Schéma ohybu do tvaru V [2]

Výpočet do tvaru U (obr. 33) je obdobný jako při V ohybu, znovu je polotovar uvažován jako nosník na dvou podporách, zatěžován je ale dvojicí sil vlivem rovného čela ohybníku. Vztah pro výpočet ohybové síly do tvaru U [1]:

$$F_U = (1 + 7\mu) \cdot \frac{b_o \cdot s^2 \cdot R_e}{R_o + s}, \quad (2.24)$$

kde: μ - součinitel tření [-],
 b_o - šířka ohýbané součásti [mm].



Obr. 33 Schéma ohybu do tvaru U [2]

Celková potřebná ohybová síla, která musí být tvářecím strojem vyvozena obsahuje kromě samotné ohybové síly další dvě položky, přidržovací a kalibrovací síla. Přidrřovací síla slouží k zamezení vtahování materiálu do nástroje, to by mělo za následek vytvoření ohybu na jiném místě, než je předepsán na výkrese. [26; 27] Přidrřovací síla je vypočítána dle vztahu [35]:

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o , \quad (2.25)$$

kde: F_o - ohybová síla [N].

Druhou silou je síla kalibrační, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, jedná se o sílu, jež má za účel snížit velikost odpružení. Vztah pro výpočet kalibrační síly [35]:

$$F_{kal} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o , \quad (2.26)$$

kde: F_o - ohybová síla [N].

Ohybová práce, stejně jako v případě střižné práce, představuje plochu pod křivkou ohybové síly, při ohýbání materiálu do tvaru V je vzorec pro výpočet ohybové práce [2]:

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

kde: h_v - výška pracovního zdvihu při ohybu do tvaru V [mm],
 ψ - součinitel plnosti při ohýbání ($\psi=0,5-0,65$) [-].

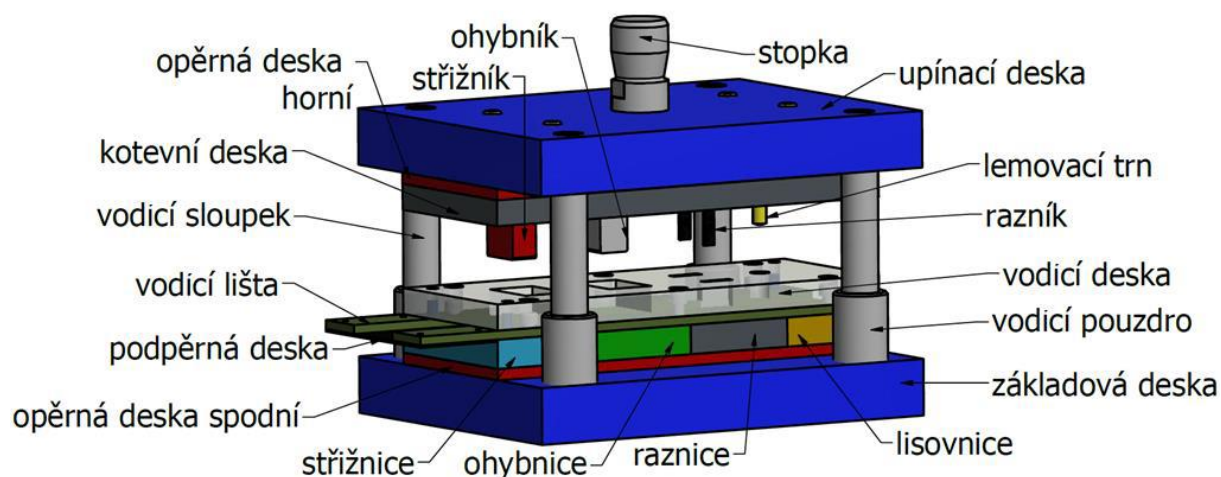
Ohybová práce potřebná k ohnutí materiálu do tvaru U [2]:

$$A_U = \frac{F_U \cdot h_U \cdot \psi}{1000} , \quad (2.28)$$

kde: h_u - výška pracovního zdvihu při ohybu do tvaru U [mm].

2.3 Nástroje

Pro výrobu řešené součásti byl v rozvaze zvolen postupový sdružený nástroj (obr. 34), ten umožňuje kombinovat technologii stříhání a ohýbání v jednom nástroji. Tím odpadá nutnost návrhu a výroby dvou separátních nástrojů, každý pro jednu technologii. Tvářecí nástroj je sestava dílů, jež má za úkol přetvořit materiál do požadovaného geometrického tvaru a předepsaných rozměrů. Pro samotný konstrukční návrh tvářecího nástroje, je velmi často využíváno normovaných dílců, tím dochází ke snížení času potřebného pro výrobu a sestavení nástroje a zároveň k šetření výrobních nákladů. Při konstrukci nástroje je třeba dodržet několik zásad. Návrh a konstrukce nástroje musejí být provedeny tak, aby nástroj byl vyrobitelný a sestavitelný, důležité je také zvážit ekonomické hledisko a snažit se dosáhnout nízkých nákladů. Toho může být docíleno tak, že již při konstrukci je uvažováno s využitím normovaných dílců od specializovaných dodavatelů. Ekonomické hledisko také zahrnuje využití materiálu, nástroj musí být navržen tak, aby jeho využití bylo co nejvyšší, náklady na materiál budou pak nejnižší. Nezbytné je také zajistit bezpečnost obsluhy při práci s tvářecím nástrojem. [2; 27; 34; 49]



Obr. 34 Postupový sdružený nástroj [50]

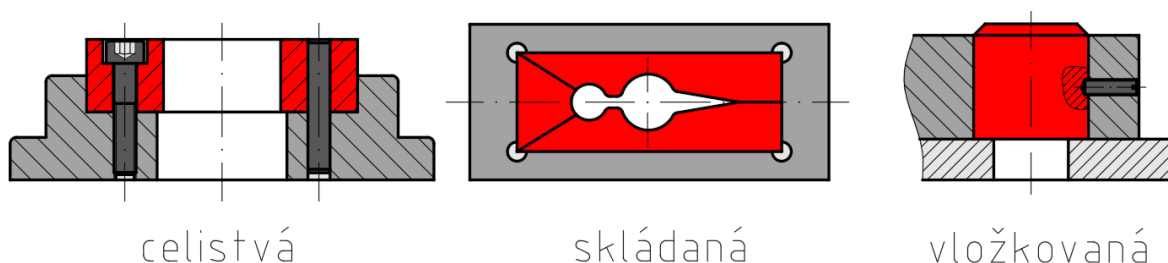
Samotný nástroj se skládá z horní a spodní části. Horní část nástroje obsahuje upínací desku a upínací stopku, tyto dvě části slouží k upnutí nástroje k beranu lisu. Kotevní deska slouží k uchycení funkčních částí nástroje (střížníky a ohybníky), ta je doplněna o opěrnou desku, jež má za úkol zabránit opotřebení upínací desky vlivem otláčení z tohoto důvodu je vyrobena z kalené oceli. Horní část nástroje dále obsahuje vedení, to je zajištěno pomocí vodících pouzder a vodících sloupků. Spodní část nástroje je tvořena základovou deskou, pomocí které je nástroj upnut na stůl lisu zpravidla s využitím přílohek a upínek. Na ni jsou umístěny střížnice a ohybnice doplněné o odpružené přidržovače a vyhazovače. Použití vyhazovačů při konstrukci sdruženého postupového nástroje je zásadní především kvůli manipulaci a zasouvání plechu, pokud součást obsahuje ohyby docházelo by k přičení a posuv by kvůli vytvořeným ohybům nebyl možný, vyhazovače tedy zajišťují i přizvedávání plechu. [4; 39; 40; 51]

Spodní část stejně jako horní obsahuje vedení, které je navíc doplněno o vedení pásu plechu pomocí vodících lišt. Spodní část může být dále doplněna o různé typy dorazů, skluzů a přídatného zařízení. Pro zvýšení přesnosti vedení činných částí nástroje je možno využít vodící desky která také zastává funkci stěrače. Vodící deska u sdružených nástrojů bývá často konstrukčně řešena jako odpružená. [39; 40; 49]

Při návrhu nástroje je nutné určit metodu podávání materiálu, při ručním podávání je zapotřebí nástroj doplnit o načínací dorazy, jež zajistí přesnou polohu pásu plechu při prvních krocích a další dorazy, které následně zajistí přesnou polohu plechu při výrobním procesu součásti. Druhou metodou podávání je využití přídavné automatizované podávací linky, ta je složena z odvíjecího zařízení, rovnačky, kontrolních čidel, ovládacího panelu a podávacího zařízení, jež posouvá plech do zvoleného tvářecího stroje. Obě části nástroje musejí být dále opatřeny o vhodné manipulační prvky, například v podobě přenášečích šroubů. [2; 27; 51]

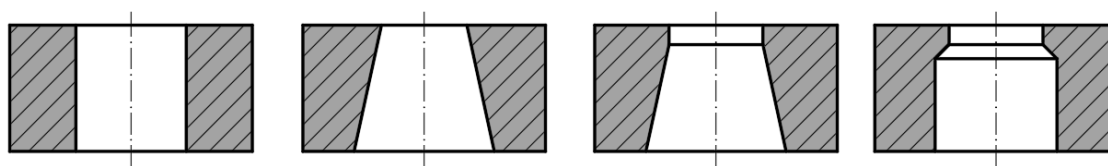
2.3.1 Střížné nástroje

Střížný nástroj je tvořen dvojicí základních částí, pevnou střížnicí upevněnou k základové desce a pohyblivým střížníkem uloženým ve střížné hlavici. Existuje několik konstrukčních řešení střížnic – střížnice celistvé, střížnice vložkované případně střížnice skládané, viz obr. 35. Volba závisí především na velikosti a složitosti vyráběné součásti. Skládané a vložkované střížnice jsou využity především při výrobě součástí s komplikovanějšími tvary a větších rozměrů, celistvé pro tvary jednodušší. Střížnice se k základní desce připevní pomocí šroubů a válcových kolíků, méně častým způsobem upínání je zalisování střížnice do základní desky. [2; 38; 39]



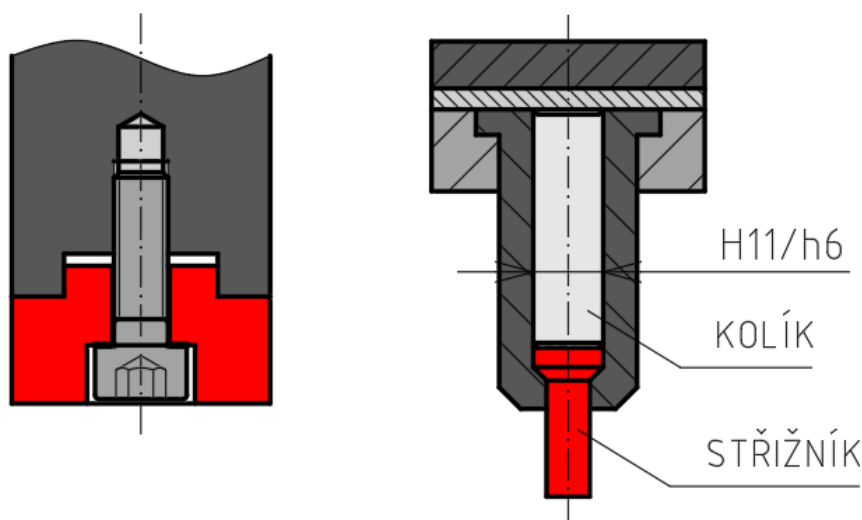
Obr. 35 Konstrukční řešení střížnic [38]

Při konstrukčním návrhu střížnice je důležité zvolit správnou geometrii střížné hrany, ta může být válcová, kónická, kónická s fazetkou anebo s válcovým rozšířením, viz obr.36. Válcová geometrie střížné hrany je volena tehdy, pokud je využit při stříhání vyhazovač případně při stříhání s tlačnou hranou. Kónický tvar střížné hrany se užívá u středně velikých sérií a střední požadované přesnosti. Nevýhodou tohoto typu střížné hrany je skutečnost, že při přebušování se zvětšuje otvor ve střížnici a zmenšuje se přesnost vystřiženého dílu. Úhel zkosení střížné hrany se proto volí malý, v rozsahu od 10' do 1°, hodnota je volena na základě tloušťky stříhaného materiálu, s rostoucí tloušťkou plechu roste velikost zkosení. Nejčastěji využívaným tvarem střížné hrany je kónický s fazetkou, je používán při stříhání přesných tvarově složitých součástí ve větších sériích. Díky využití fazetky dojde k odstranění nevýhody zvětšování otvoru ve střížnici při přebušování, šířka fazetky je volena v rozsahu 3-15 mm a zkosení nabývá rozsah 3° – 5°, stejně jako v předchozím případě, s rostoucí tloušťkou materiálu je volena větší výška fazetky. Poslední variantou je střížnice s válcovým rozšířením, je využívána výhradně při stříhání kruhových otvorů, ty musejí být větší než 5 mm, výška fazetky je volena stejně jako v případě kónické střížnice s fazetkou. Břity střížnic musejí být ostře nabroušeny a vhodně zakalené, aby bylo minimalizováno jejich opotřebení, při otupení břitů roste střížná síla a zhoršuje se kvalita střížné plochy. [27; 38; 39; 41; 51]



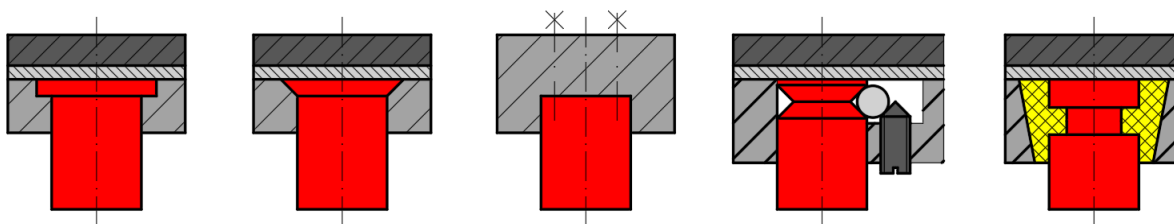
Obr. 36 Geometrie střížných hran [39]

Druhou základní funkční částí střižného nástroje jsou střižníky, ty tvoří protikus střižnice. Stejně jako v případě střižnic i střižníky mohou být konstruovány jako celistvé anebo skládané (obr. 37). Celistvé konstrukční řešení střižníku je voleno v případě menších rozměrů, mezi výhody patří snadnější výroba, hlavní nevýhodou je, že celý střižník je vyroben z drahé nástrojové oceli. Skládané střižníky lze využít jak při malých, tak velkých průměrech. U velkých střižníků je hlavní přednost, že z drahé nástrojové oceli je vyrobena pouze funkční část střižníku a zbytek lze vyrobit z levné konstrukční oceli. V případě malých skládaných střižníků je pomocí tohoto konstrukčního řešení předcházeno ztrátě vzpěrné stability. [38; 49]



Obr. 37 Skládané střižníky [38]

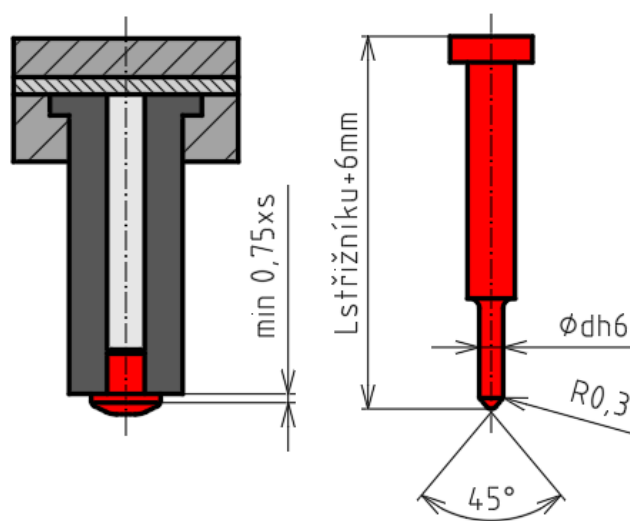
Střižníky jsou upevněny v horní části nástroje v kotevní desce, to lze provést několika způsoby, jak je znázorněno na obr. 38. Mezi nejčastější a nejjednodušší patří ukotvení střižníku díky válcové hlavě, která zabraňuje jeho vypadnutí z kotevní desky. Mezi další možnosti patří upnutí střižníku pomocí roznýtování hlavy, zajištění a upnutí střižníku ke kotevní desce pomocí šroubů, v případě potřeby rychlé výměny střižníku lze využít rychloupínacího mechanismu s kuličkou, jako speciální metodu lze zmínit zalití hlavy střižníku pomocí pryskyřice. [38; 40]



Obr. 38 Způsoby ukotvení střižníků v kotevní desce [40]

Při posunování plechu ve střižném nástroji může dojít k jeho nepřesnému ustavení, což má za následek rozměrovou nepřesnost a nedodržení požadovaných tolerancí. V případě jednooperačního nástroje stačí k ustavení využít doraz, u víceoperačních postupových nástrojů je využíváno hledáček (obr. 39), které zajistí přesné ustavení pásu plechu v jednotlivých operacích. Hledáčky slouží jako pomocné polohovací prvky, které zajistí ustavení plechu těsně před lisovací operací, než dojde k dosednutí střižníku a následně i v průběhu operace. Středění se rozlišuje na přímé a nepřímé, podle otvorů, které jsou k vystředění pásu plechu použity. U přímého středění je využíváno vystřižených otvorů přímo v součásti, do kterých zajíždí

hledáček umístěný ve střižníku. Nepřímé středění využívá otvorů speciálně vystřižnutých mimo výlisek do odpadové části pásu. [39; 49; 52]



Obr. 39 Konstrukční varianty hledáčků [49]

Střižníky je třeba také kontrolovat pomocí pevnostních výpočtů, mezi základní výpočty patří kontrola na otláčení a kontrola na

. U kontrolního výpočtu na otláčení se vypočítá velikost napětí na dosedací ploše střižníku, vztah pro kontrolní výpočet [38]:

$$\sigma = \frac{F_s}{S_D} \leq \sigma_D, \quad (2.29)$$

kde: σ - napětí na dosedací ploše [MPa],
 σ_D - dovolené napětí na dosedací ploše [MPa],
 S_D - dosedací plocha [mm²].

Vypočtené napětí nesmí přesáhnout hodnotu dovoleného napětí, to se pohybuje v závislosti na materiálu, pro ocel je maximální dovolená hodnota $\sigma_D = 180$ MPa. V případě, že napětí na dosedací ploše přesáhne dovolenou hodnotu je nutné využít opěrné kalené desky, jejíž dovolené napětí v tlaku má vyšší hodnotu. [38; 40]

Další nezbytnou kontrolou je kontrola střižníku na vzpěr, pokud by byl střižník příliš dlouhý mohlo by docházet k jeho vyhnutí mimo osu a následnému poškození. Eulerův vztah pro výpočet kritické vzpěrné síly má tvar [38]:

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{red}^2}, \quad (2.30)$$

kde: I - minimální kvadratický moment průřezu [mm⁴],
 l_{red} - redukovaná délka střižníku [mm].

Předpokladem je platnost Hookeova zákona, ten říká, že deformace je přímo úměrná napětí materiálu, tento zákon platí až do dosažení napětí odpovídající napětí na mezi kluzu σ_K .

Kritické napětí lze vypočítat jako podíl kritické síly a velikosti průřezu střížníku. Pro výpočet kritického napětí je využito vztahu [53]:

$$\sigma_{krit} = \frac{F_{krit}}{S_s} < \sigma_K \quad (2.31)$$

Dalším důležitým kritériem pro následný výpočet vzpěrné stability je určení štíhlosti kontrolovaného střížníku. Hodnota štíhlosti musí dosahovat vyšších hodnot, než její mezní hodnota odečtena z tabulek. [53]

$$\lambda_p = \frac{l_{red}}{\sqrt{\frac{I}{S_s}}} > \lambda_m, \quad (2.32)$$

kde: λ - štíhlost prutu [-],
 λ_m - mezní štíhlost prutu [-].

Kritická síla se z praktických důvodů určuje pomocí přepočtu střížné síly [38]:

$$F_{krit} = n \cdot F_s, \quad (2.33)$$

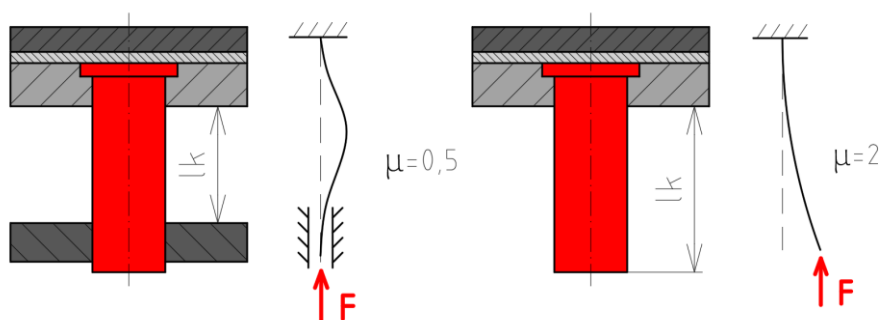
kde: n - součinitel bezpečnosti ($n = 1,5-2$) [-].

Poslední potřebnou hodnotou pro výpočet je redukovaná délka střížníku. Při konstrukci střížného nástroje lze střížníky navrhnut buď jako vedené nebo nevedené, to je potřeba ve výpočtu zohlednit pomocí součinitele vzpěrné délky μ . [53]

$$l_{red} = \mu_l \cdot l_{max}, \quad (2.34)$$

kde: l_{max} - maximální délka střížníku [mm].

Při využití vedeného střížníku nabývá součinitel vzpěrné délky hodnoty $\mu = 0,5$ v případě střížníku nevedeného $\mu = 2$ (obr. 40). Vzájemným dosazením uvedených vzorců do sebe, lze dospět k finálním vztahům pro výpočet maximální přípustné volné délky střížníku. [35; 53]



Obr. 40 Vedení střížníků [35]

Výpočet maximální volné délky nevedeného střížníku [49]:

$$l_k = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot n \cdot F_s}} \quad (2.35)$$

Výpočet maximální volné délky vedeného střížníku [49]:

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} \quad (2.36)$$

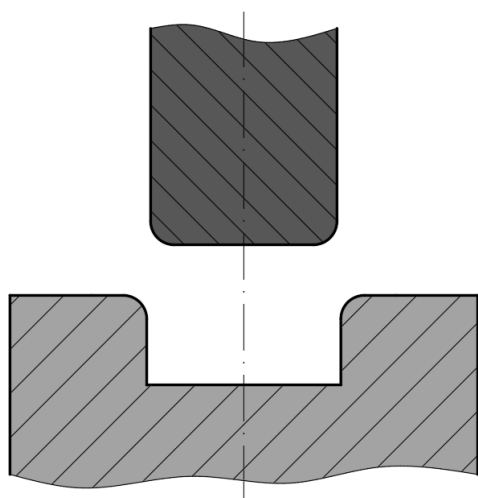
V určitých situacích nemusí platit Eulerova závislost, především při menších hodnotách štíhlosti prutu λ_p . V těchto situacích je Eulerova závislost nahrazena závislostí dle Tetmajera, kde pro výpočet kritického napětí na mezi vzpěrné pevnosti je nutno nejdříve vypočítat hodnotu štíhlosti, viz tabulka č. 8. [50]

Tab. 8 Výpočet dle Tetmajera [50]

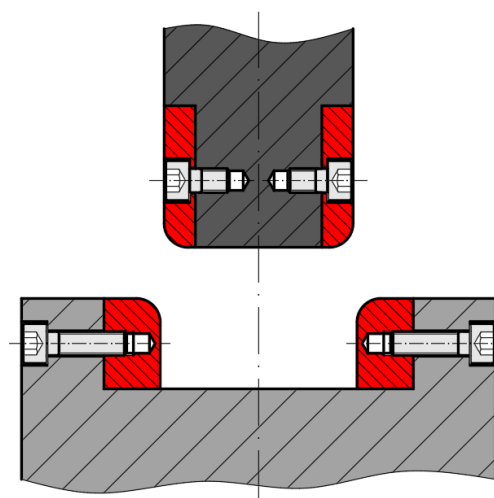
Materiál	σ_{krit}	Štíhlost λ_p	
		Od	Do
Ocel 11 423	$289 - 0,28 \lambda_p$	60	100
Ocel 11 500	$335 - 0,62 \lambda_p$	60	100
Slitinová ocel	$589 - 3,82 \lambda_p$	22	86
Šedá litina	$776 - 12 \lambda_p + 0,053 \lambda_p^2$	0	80

2.3.2 Ohýbací nástroje

Stejně jako u střížných nástrojů, jsou i ohýbací nástroje tvořeny dvojicí hlavních pracovních částí, kterými jsou ohybník a ohybnice. Nejčastější koncepcí nástroje je ohybník uložen pohyblivě a pevně upnutá ohybnice na stole lisu. Další konstrukční prvky nástroje obvykle jsou základová a upínací deska, vodící sloupky, vodící pouzdra, dorazy, vyhazovače, upínací stopka a v případě potřeby může být nástroj vybaven přídržovačem. Ohýbací nástroj lze konstruovat buď jako s celistvými pracovními částmi (obr. 40), kde ohybník i ohybnice jsou celé vyrobeny z jednoho typu a kusu materiálu anebo jako vložkované (obr. 41), kde z nástrojové oceli jsou vyrobeny pouze funkční části ohybového nástroje a zbytek komponent je vyroben z levnější konstrukční oceli. Vložkování je výhodné především u rozměrově větších nástrojů, výhodou vložkovaných nástrojů je taky snadnější oprava a výměna opotřebovaných funkčních částí. [38; 39; 45]



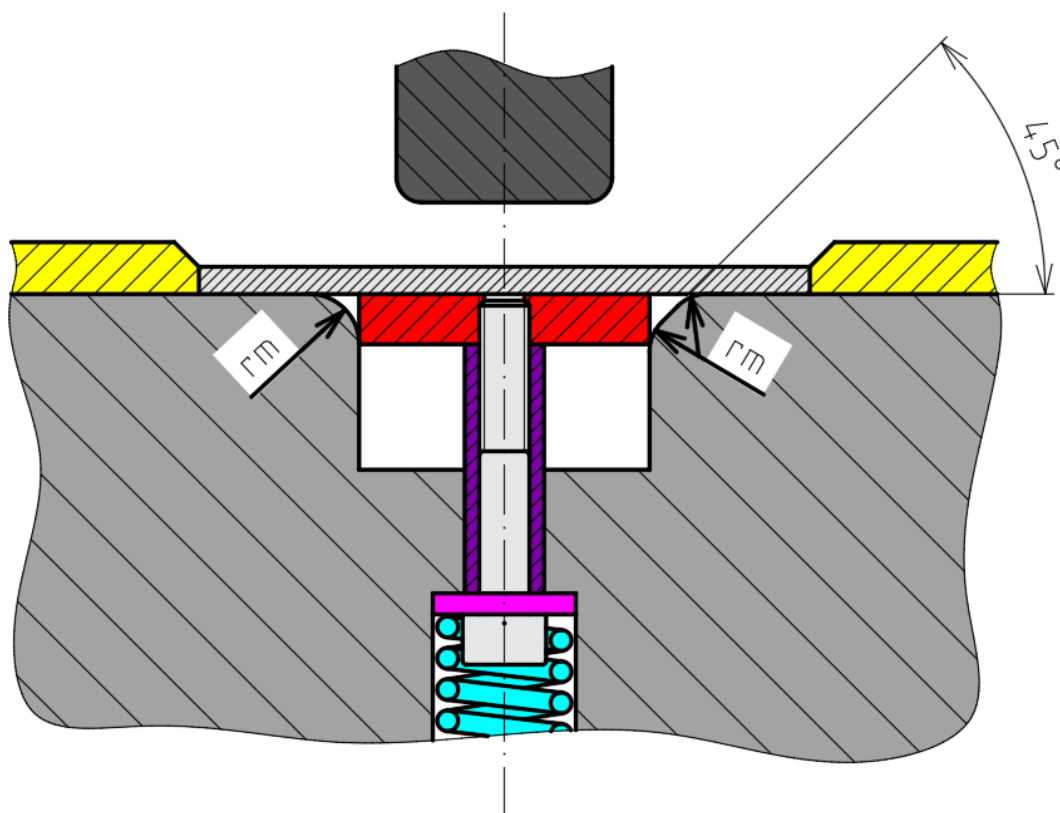
Obr. 41 Celistvý ohýbací nástroj



Obr. 42 Vložkovaný ohýbací nástroj

Poloměr zaoblení pracovních hran ohybníku r_p je totožný s poloměrem ohybu součásti. V případě, že součást po ohnutí vlivem odpružení změní svůj poloměr ohybu, lze zaoblení na ohybníku zmenšit, aby došlo k vykompenzování rozdílu. Ohybník musí být minimálně stejně dlouhý jako je délka ohýbané součásti. Poloměr zaoblení pracovních hran ohybnice r_m je volen na základě tloušťky ohýbaného materiálu. Jeho velikost také ovlivňuje velikost ohýbací síly a vzhled povrchu. [27; 38; 39] V případě ohýbání materiálu o tloušťce do 3 mm (obr. 43) je zaoblení voleno v rozmezí [47]:

$$r_m = (2 \div 6) \cdot s \quad (2.37)$$



Obr. 43 Ohybový nástroj s vyhazovačem [38]

V případě tloušťky polotovaru větší než 3 mm je výhodné volit sražené hrany pod úhlem 45° a vzniklé rohy zaoblit poloměrem o velikosti r_m (obr. 43). Výška sražené hrany by měla být přibližně stejná jako je velikost poloměru zaoblení hrany. Zásadním parametrem pro správnou funkci ohýbacího nástroje je vhodná volba vůle mezi činnými částmi nástroje. Její velikost ovlivňuje velikost ohýbací síly, kdy s klesající vůlí síla roste, pokud je ohybová vůle malá, může dojít k ztenčení stěn ohýbaného materiálu. V případě ohýbání materiálu do tvaru U má velikost vůle také vliv na odpružení. [27; 38; 39] Při ohýbání do tvaru V je velikost vůle rovna tloušťce ohýbaného materiálu, u ohybů do tvaru U se vůle stanoví dle vzorce [38]:

$$v_o = s + c_s \cdot s, \quad (2.38)$$

kde: c_s - součinitel vyjadřující vliv tření [-].

Pro přibližné stanovení velikosti ohybové vůle pro ocel lze využít vztah [38]:

$$v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot s \quad (2.39)$$

2.3.3 Materiály nástrojů

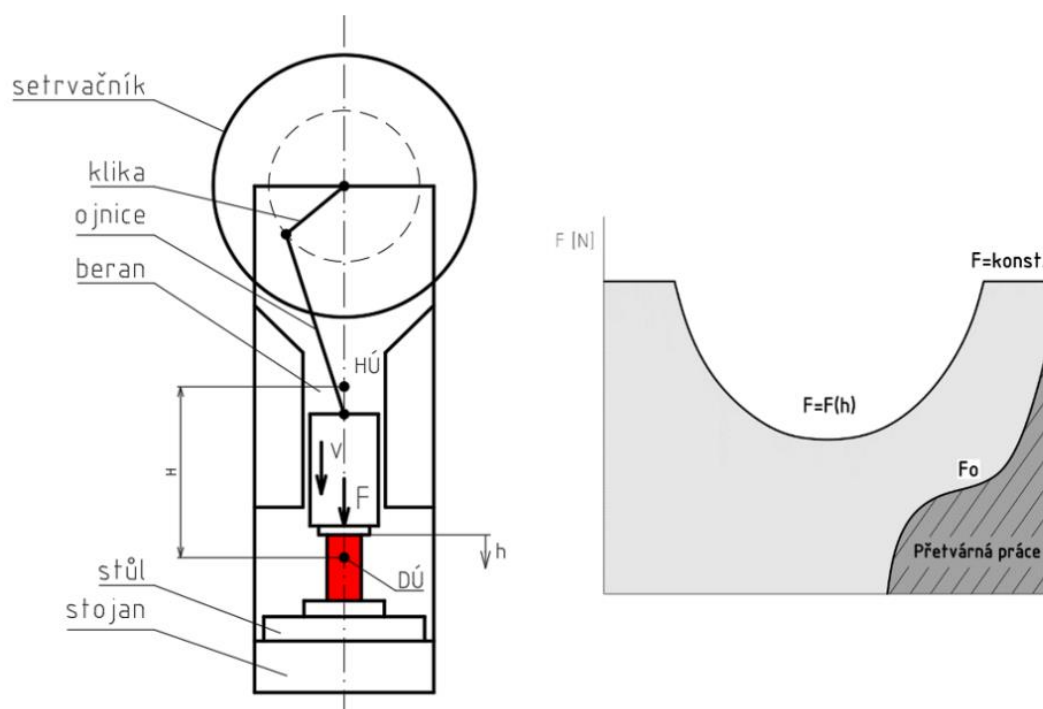
Jednotlivé díly nástroje jsou vyrobeny z různých materiálů, které jsou voleny na základě funkce a kladených nároků na konkrétní díl. Činné části nástroje jsou vyrobeny z kvalitní a drahé nástrojové oceli, která je dále zušlechťena, díky tomu činné části vykazují vysokou odolnost proti opotřebení a namáhání. Pro méně namáhané části nástrojů je výhodné volit konstrukční ocel, která splňuje potřebné kladené požadavky a její pořizovací cena je o mnoho nižší než v případě nástrojové oceli. Vhodné materiály pro jednotlivé části nástrojů jsou uvedeny v tabulce č. 9. [38; 40; 52]

Tab. 9 Vybrané materiály částí nástrojů [40; 43]

Část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
vodící stojánky	42 2456, 11 500, 12 061	cementace, kaleno 60–62 HRC
vodící lišty	11 600, 14 220	cementace, kaleno 60–62 HRC
stopky	11 600	-
dorazy	12 061, 19 312, 19 436	kaleno, popuštěno 55-60 HRC
kotevní, upínací desky	11 500, 11 523, 12 050	-
hledáčky	14 220, 19 191, 19 421	kaleno, popuštěno 55-60 HRC
stírače	12 061, 19 191	-
střížníky, střížnice	19 192, 19 312, 19 436, 19 437	kaleno, popuštěno 60-63 HRC
ohybníky, ohybnice	19 191, 19 312, 19 436, 19 573	kaleno, popuštěno 55-60 HRC

2.4 Stroje

Tvářecí stroj je řazen do skupiny základních výrobních prostředků, jedná se o dynamickou soustavu, jež má za úkol realizaci úkonů technologického procesu. Energie potřebná k přetvoření polotovaru na konečný výrobek v tvářecím nástroji je přenášena od energetického zdroje (motoru). Tvářecí stroje lze rozdělit na základě několika různých kritérií, nejzákladnější rozdělení je podle pohybu nástroje vůči tvářenému polotovaru. Dle charakteru pohybu jsou tvářecí stroje děleny do dvou skupin – tvářecí stroje s přímočarým pohybem, které jsou pro plošné tváření nejrozšířenější a tvářecí stroje s rotačním pohybem. Principem tvářecích strojů s přímočarým pohybem je, že beran vykonává přímočarý vratný pohyb mezi horní úvratí (HÚ) a dolní úvratí (DÚ). Síla F vykonána beranem lisu překonává tvářecí sílu $F_{tvář}$ a dochází ke vzniku plastické deformace tvářeného materiálu umístěného v nástroji, jehož horní část je upevněna k beranu lisu a spodní část ke stolu lisu. Dalším způsobem dělení tvářecích strojů je dle formy využívané energie pro tvářecí proces, lze využít potenciální energie nebo kinetické energie. Pro výrobu zadané součásti byl vybrán zdvihový stroj, jenž využívá energii potenciální i energii kinetickou pro překonání přetvárného odporu materiálu, patří mezi nejpoužívanější tvářecí stroje. Přenos obou energií lze provést pomocí mechanismu s jedním stupněm volnosti. Typickým představitelem skupiny zdvihových tvářecích strojů je klikový lis (obr. 44), kdy průběh síly F je funkcí zdvihu beranu h (úhlu natočení kliky). Síla F dosahuje svého maxima v krajních úvratích a je zde uvažována jako konstantní hodnota. Klikové lisy jsou poháněny elektromotorem, který je připojen ke klice stroje a doplněn o setrvačnick, kliková hřídel převádí rotační pohyb elektromotoru na přímočarý posuvný pohyb beranu lisu. Do skupiny zdvihových tvářecích strojů patří i lisy výstředníkové, kolenové, hřebenové a šroubové. Zdvihové stroje lze znovu rozdělit do několika skupin, podle velikosti jmenovité síly na lehké (do 500 kN), střední (500 až 5000 kN) a těžké (5000 kN), dále podle tvaru stojanu na lisy s tvarem stojanu C a lisy s tvarem stojanu O. Výhody jsou vysoká produktivita kvůli rychlejšímu chodu, snadná údržba a jednoduchost stroje, nevýhodou je omezená dráha beranu, při které lze využít maximální tvářecí sílu stroje a nebezpečí přetížení stroje (nutnost použití bezpečnostních pojistek). [54; 55; 56; 57]

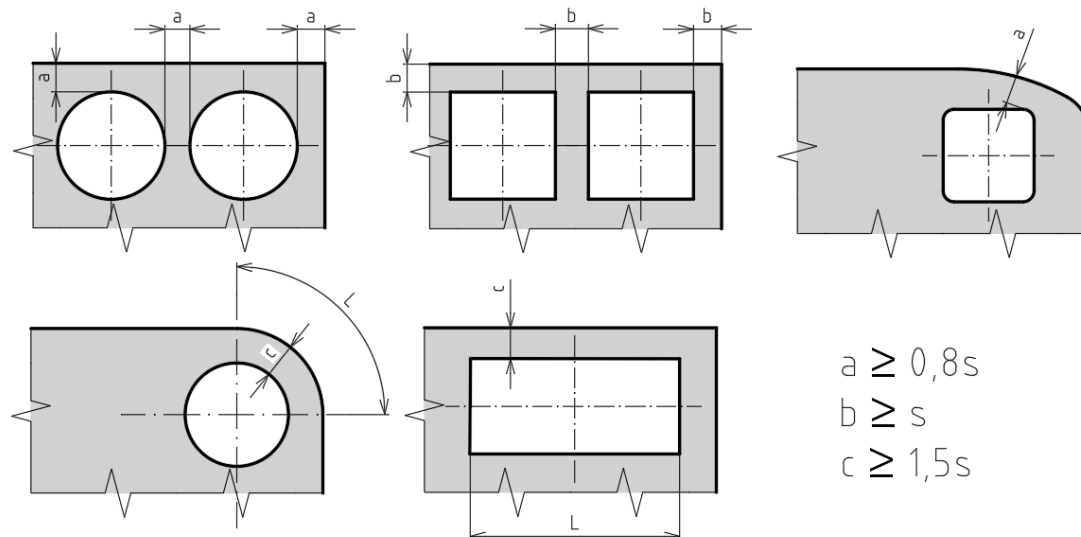


Obr. 44 Klikový lis [57]

2.5 Technologičnost

Aby součást byla bezproblémově vyrobitelná je nutné dodržovat několik konstrukčních a technologických požadavků. Jejich dodržení zajistí správnou funkčnost, požadovanou kvalitu výrobku a hospodárnost výrobního procesu. Diplomová práce se zaměřuje na dvě technologie plošného tváření, uvedené zásady jsou platné pro technologie stříhání a ohýbání. Pro výstřižky platí následující, viz obr.45 [3; 26; 34; 58]:

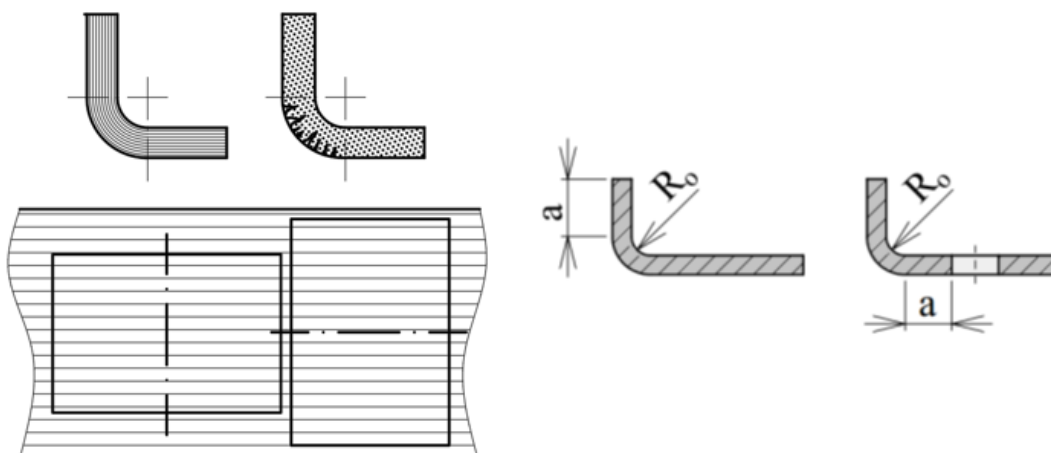
- vhodně volit materiál výstřižku,
- nevolit požadovanou přesnost vyšší, než je dostatečná pro danou součást a její účel, zvýšení požadované přesnosti výstřižku způsobuje nárůst nákladů, přesnost běžných výstřižků se pohybuje mezi IT12 – IT14, při využití stříhadel s vedením IT9 – IT11, u přesného stříhání lze dosáhnout IT6 – IT8,
- není doporučeno předepisovat drsnost střížné plochy, její hodnota se pohybuje při stříhání v rozmezí $Ra=3,2-6,3 \mu m$,
- nejmenší zhotovitelný otvor do měkké oceli je $\phi d=s$, a do tvrdé oceli $\phi 1,5 \text{ mm}$, nejvhodnější tvar otvorů je kruhový,
- pokud je to možné, měly by být hrany a rohy výstřižku zaoblené nebo sražené,
- je nutné dodržovat předepsané minimální hodnoty přepážek mezi jednotlivými vystřiženými tvary, pokud je stříhaným materiálem měkká ocel hodnota vzdálenosti se zvětšuje o 20-25%,
- vystupující části musejí splňovat minimální šířku $\bar{s}=1,5 \cdot s$ a výšku $h=1,2 \cdot s$,
- vystřihování kruhových obrysů značně snižuje využití materiálu.



Obr. 45 Technologičnost stříhaných součástí [58]

U ohýbaných součástí jsou požadavky následující, viz obr.46 [3; 26; 34; 59]:

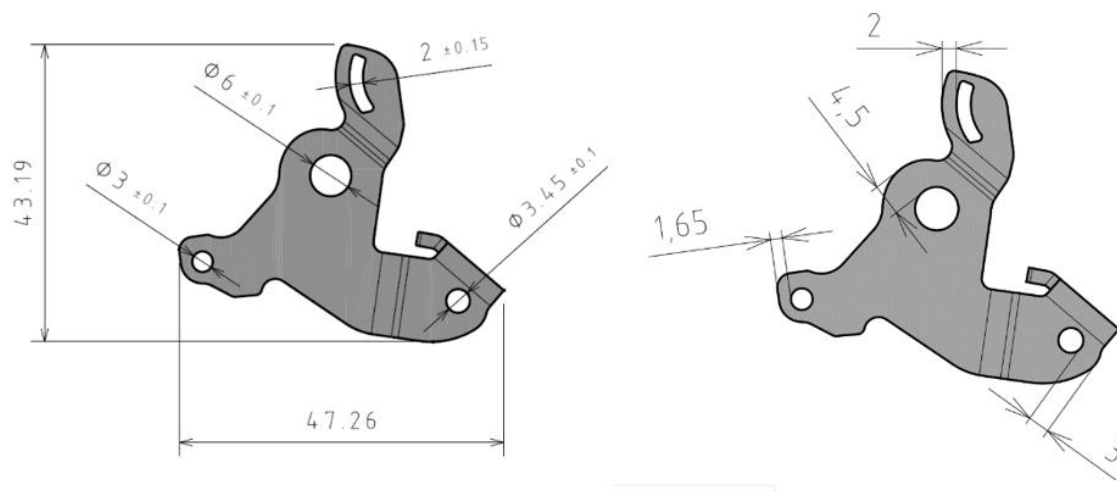
- minimální délka ohýbaných ramen $a \geq 2 \cdot s$,
- vzdálenost otvoru od ohybu alespoň $a \geq 2 \cdot s$, v případě nedodržení této vzdálenosti dojde k deformaci vystřiženého otvoru, pokud je otvor nutno umístit blíže k ohybu je nutno jej zhotovit až po provedení ohýbací operace,
- volit osu ohybu kolmo k směru vláken, pokud to není možné je nutno zvětšit hodnotu R_o ,
- při ohýbání polotovaru s různými délkami ramen dochází k jeho posunu na stranu delšího ramene, tím dojde k posunutí místa ohybu, pro zamezení posuvu lze v nástroji použít kolík zasunutý do technologického otvoru součásti, který drží polotovar na správném místě v průběhu procesu ohýbání,
- velké poloměry ohybu je vhodné vyztužit pomocí prolisů a žeber,
- v průběhu ohýbání dochází ke ztenčování tloušťky materiálu v místě ohybu, přípustná hodnota ztenčení je 20 %.



Obr. 46 Technologičnost ohýbaných součástek [59]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Nejvhodnějším způsobem výroby součásti byl zvolen sružený postupový nástroj, který bude sdružovat operace stříhání a ohýbání. Sériovost výroby činní 400 000 kusů ročně, díl bude vyráběn z materiálu S355MC o tloušťce 2 mm, na obrázku 47 jsou zakótovány hlavní rozměry součásti, včetně velikosti jednotlivých otvorů. Rozměry bez uvedené tolerance mají předepsané odchylky normou ČSN EN ISO 2768-mK.



Obr. 47 Velikost otvorů a jejich umístění

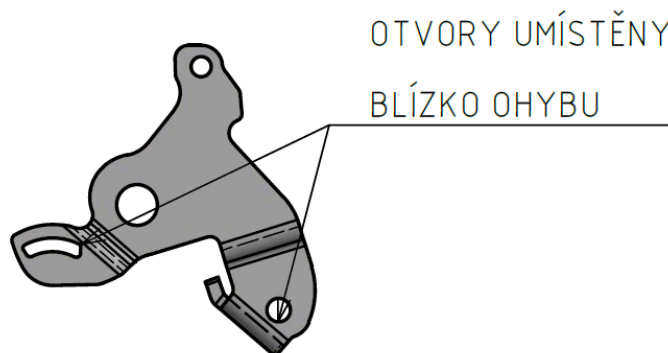
Nejdříve je nutno zkontrolovat technologičnost podle požadavků kladených na stříhané součásti, požadavky jsou uvedeny v kapitole 2.5. Nejmenší zhotovitelný otvor do měkké oceli je dle obecných doporučení $d_{\min} = s$, tedy v tomto případě $d_{\min} = 2$ mm. Nejmenší kruhový otvor v součásti má průměr 3 mm a drážka 2 mm, tato podmínka je tedy splněna. Následně je nutné zkontrolovat vzdálenost otvorů od krajů součásti, minimální dovolená vzdálenost otvoru od okraje stříhané součásti je $0,8 \cdot s = 0,8 \cdot 2 = 1,6$ mm a minimální vzdálenost otvorů od zaoblení je $0,8 \cdot s = 1,5 \cdot 2 = 3$ mm. Podle obr. 47 je tedy zřejmé, že otvor v páčce o velikosti 3 mm podmínky nesplňuje. Z praktických zkušeností je známo, že tyto teoretické hodnoty nemusí odpovídat realitě. Proto budou v konstrukci nástroje uvažovány i otvory o průměru 3 mm, pokud by se ukázalo, že otvor je opravdu nezhotovitelný bude nutné jej vrtat. Vystupující části při stříhání ještě musejí splňovat minimální šířku $1,5 \cdot s = 1,5 \cdot 2 = 3$ mm a výšku $1,2 \cdot s = 1,2 \cdot 2 = 2,4$ mm, tyto podmínky jsou tedy splněny. Při konstrukci nástroje bude použito vedení, což zajistí přesnost stříhání v rozsahu IT9-IT11, tato přesnost je dostatečná vzhledem k požadavkům uvedených na výkrese součásti.

Následně je důležité zkontrolovat technologičnost podle požadavků kladených na ohýbání. Minimální délka ohýbaných ramen musí splňovat zásadu $2 \cdot s = 2 \cdot 2 = 4$ mm, nejmenší rameno na součásti (obr. 48) dosahuje délky 6 mm a splňuje předepsanou podmínku.



Obr. 48 Rozměry ohýbaného ramena

Další podmínkou je vzdálenost stříhaných otvorů od ohybu, aby nedocházelo k jejich deformacím, minimální předepsaná vzdálenost je stejná jako v případě délky ohýbaných ramen 4 mm. Tato podmínka splněna není a bude tedy nutno otvory, jež podmínku nesplňují vystříhnout až po provedení daného ohybu.



Obr. 49 Otvory nesplňující technologické požadavky

Je také nutné dodržet minimální a maximální velikosti rádiusu ohybu, jež jsou pro daný materiál proveditelné. Minimální velikost rádiusu lze určit pomocí rovnice (2.19):

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_o \cdot s = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ mm},$$

kde: c_o - součinitel volen dle tabulky č. 6, $c_o = 0,5$ [-].

Všechny poloměry ohybu nacházející se na součásti jsou shodné a mají velikost 1 mm, součást tedy vyhovuje. Dále je také vhodné zkontrolovat velikost maximálního poloměru ohybu, ten lze vypočítat dle vztahu (2.20):

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{355} - 1 \right) = 590,55 \text{ mm},$$

kde: E - modul pružnosti v tahu, voleno $2,1 \cdot 10^5$ MPa [MPa].

3.1 Rozvinutý tvar součásti

Pro návrh vhodného nástřihového plánu je nutné určit rozvinutý tvar součásti, na základě jeho maximálních rozměrů jsou následně určeny velikosti okrajů a můstku. Jelikož součást je komplikovaného tvaru, je rozvin proveden pomocí CAD softwaru Catia V5. Tento rozvin bude následně porovnán s vypočtenými hodnotami. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.2.2, u rovných úseků nedochází k posunutí neutrální osy a jejich délky je možno jednoduše sčítat, u výpočtu délek oblouků je ale, s ohledem na malé poloměry ohybu, nutné s posunutím neutrální osy počítat.

Nejdříve je proveden výpočet rozvinuté délky dvojice ohybů o velikosti 45° , jež jsou na obrázku č. 50 vyznačeny modrou barvou, oba ohyby mají stejný poloměr i úhel ohybu a není tudíž nutné provádět dva výpočty. Jako první je nutné určit součinitel posunutí neutrální vrstvy x , ten bude pro všechny následující ohyby stejný, součinitel je určen pomocí tabulky č. 5:

$$\frac{R_o}{s} = \frac{1}{2} = 0,5 \rightarrow x = 0,37 \quad (3.1)$$

Následně je vypočten poloměr neutrální vrstvy dle vztahu (2.16), vzhledem ke stejným poloměrům ohybu na celé součásti bude hodnota shodná pro všechny ohyby.

$$\rho = R_o + x \cdot s = 1 + 0,37 \cdot 2 = 1,74 \text{ mm}$$

Výpočet délky oblouku je proveden dle vzorce (2.17):

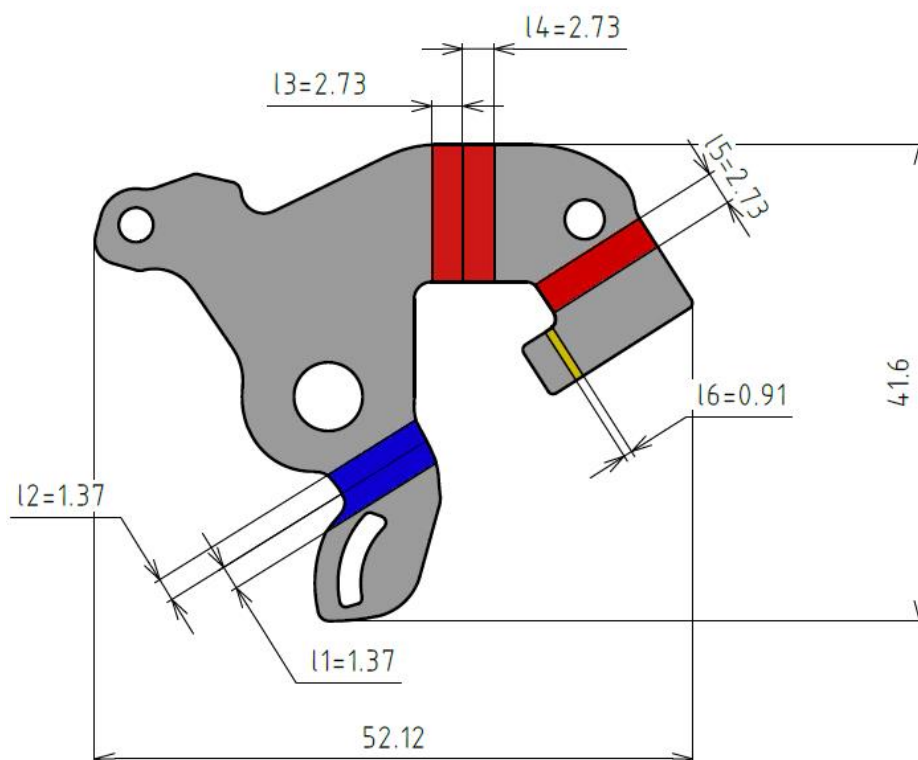
$$l_1 = l_2 = \frac{\pi \cdot \alpha_{12}}{180} \cdot \rho_{12} = \frac{\pi \cdot 45}{180} \cdot 1,74 = 1,37 \text{ mm}$$

Stejný výpočet pro délky oblouku, je proveden i pro ohyby vyznačené červenou a žlutou barvou, ohyby označené červenou barvou mají velikost úhlu ohybu 90° a ohyb označen žlutou barvou má velikost 30° .

$$l_3 = l_4 = l_5 = \frac{\pi \cdot \alpha_{345}}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 1,74 = 2,73 \text{ mm}$$

$$l_6 = \frac{\pi \cdot \alpha_6}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 30}{180} \cdot 1,74 = 0,91 \text{ mm}$$

Vypočtené rozvinuté délky oblouků byly porovnány s hodnotami naměřenými pomocí CAD softwaru a lze říct, že se hodnoty naprosto shodují. Na obr. 50 je zobrazen finální rozvinutý tvar součásti včetně délek jednotlivých rozvinutých úseků naměřených v CAD systému.



Obr. 50 Rozvinutý tvar páčky

3.2 Volba polotovaru

Následně je potřeba stanovit vhodné rozměry plechu a samotné rozmístění výstřižků, k výrobě bude použit svitek plech, existuje také možnost využití materiálu ve formě tabulí plechu, tato možnost byla zamítnuta kvůli nutnosti zvýšené manipulace a tím spojenými náklady vzhledem k velikosti roční série. Potřebná šířka plechu je zjištěna pomocí přičtení odpovídajících velikostí okrajů k šířce rozvinutého tvaru součásti, dalším voleným parametrem je velikost můstku, pomocí kterého společně s rozvinutou délkou součásti je určena velikost kroku. Velikosti okrajů a můstku jsou voleny pomocí tabulky č. 4.

Vyjdeme-li z požadavku zákazníka, kdy je vyžadován oboustranný nástroj, je jediným logickým uspořádáním uspořádání dvouřadé. Dvouřadým uspořádáním dochází také k vyššímu využití materiálu, a tedy i samotné produktivity, nevýhodou je ale komplikovanější konstrukce nástroje. Vzhledem k tvaru součásti se nabízí pouze jeden vhodný typ uspořádání výstřižků na plech (obr. 51).

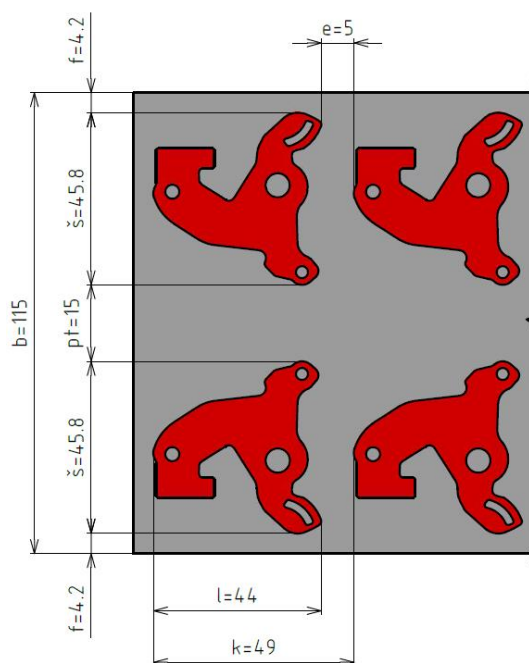
Nejdříve jsou určeny velikosti okrajů a můstku z tabulky č. 4. Šířka pásu ale bude dále zvětšena o spojovací středový pásek, jenž bude sloužit k vedení pásu plechu v nástroji a také v něm budou umístěny pomocné středící otvory pro nepřímé středění, šířka tohoto spojovacího pásu je volena $p_t = 15$ mm. Velikost okraje pro tloušťku materiálu $s = 2$ mm a šířku pásu 100 až 200 mm byla určena $f = 4,2$ mm a velikost můstku $e = 5$ mm. Výpočet šířky pásu plechu:

$$b = 2 \cdot \check{s} + 2 \cdot f + p_t = 2 \cdot 45,8 + 2 \cdot 4,2 + 15 = 115 \text{ mm} , \quad (3.2)$$

kde: $\check{s}$ - šířka součásti [mm].

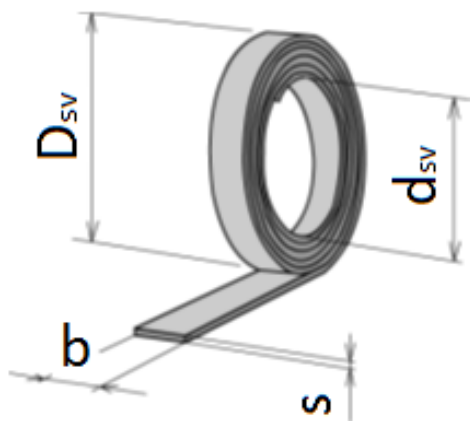
Výpočet délky kroku:

$$k = l + e = 44 + 5 = 49 \text{ mm} \quad (3.3)$$



Obr. 51 Uspořádání výstřižků na pásu plechu

Výpočet využití materiálu bude prováděn pro plech dodávaný ve formě svitků (obr. 52), materiál ve svitku má tloušťku 2 mm, vnitřní průměr svitku je $d_{sv} = 600$ mm a vnější průměr se může lišit dle přání zákazníka, pro vzorový výpočet byl zvolen vnější průměr svitku $D_{sv} = 1600$ mm, svitek bude dodáván v požadované šířce b . Pro výpočet je také nezbytné znát hustotu stříhaného materiálu, ta je volena $\rho_{ocel} = 7,85 \cdot 10^{-6}$ kg·mm⁻².



Obr. 52 Schéma svitku plechu [60]

Výpočet hmotnosti svitku:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot b \cdot \rho_{ocel} = \frac{\pi \cdot (1600^2 - 600^2)}{4} \cdot 115 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1\,559,85 \text{ kg} \quad (3.4)$$

Výpočet délky svitku:

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{b \cdot s \cdot \rho_{ocel}} = \frac{1559,85}{115 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 863\,943,5 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Výpočet plochy svitku:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot b = 863\,943,5 \cdot 115 = 99\,353\,503 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

Plocha rozvinutého výstřižku bez konstrukčních otvorů vzhledem ke komplikovanosti tvaru byla změřena pomocí CAD softwaru Catia V5:

$$S_v = 869,8 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

Výpočet počtu výstřižků z jednoho svitku, je nutno si uvědomit že se jedná o počet kusů pouze jedné stranové varianty:

$$n_{vsv} = \frac{L_{sv}}{k} = \frac{863\,943,5}{49} = 17\,631,5 \text{ ks} \\ \text{Je voleno } 17\,631 \text{ ks} \quad (3.8)$$

Výpočet počtu svitků pro zadanou sérii:

$$n_{sv} = \frac{N}{2 \cdot n_{vsv}} = \frac{400\,000}{2 \cdot 17\,631} = 11,34 \text{ ks}, \quad (3.9)$$

Je voleno 12 ks

kde: N - roční série [ks].

Výpočet využití svitku, dle vztahu (2.12):

$$\eta_{sv} = \frac{2 \cdot n_{vsv} \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 17\,631 \cdot 869,8}{99\,353\,503} \cdot 100 = 30,87 \%$$

Výpočet využití všech svitků:

$$\eta_{csv} = \frac{N \cdot S_v}{S_{sv} \cdot n_{sv}} \cdot 100 = \frac{400\,000 \cdot 869,8}{99\,353\,503 \cdot 12} \cdot 100 = 29,18 \% \quad (3.10)$$

Shodné výpočty byly provedeny i pro další možné varianty vnějších rozměrů svitku, výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 10, kde zeleně je vyznačena varianta s nejlepším procentem využitelnosti a červeně varianta s nejhorším výsledkem.

Tab. 10 Využití jednotlivých svitků plechu

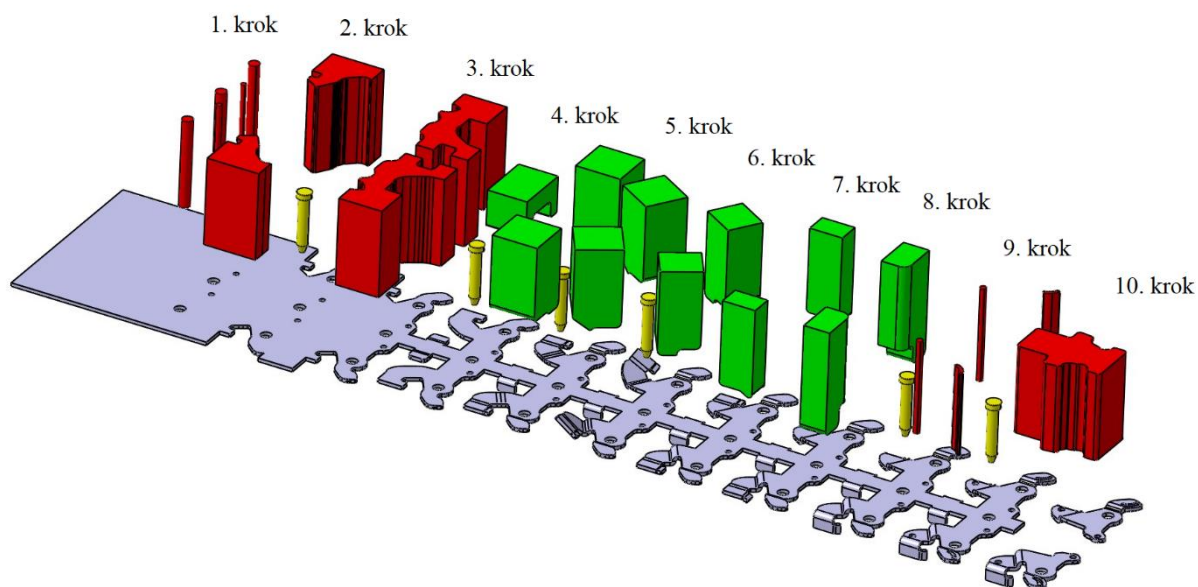
Vnější průměr	D _{sv}	[mm]	1800	1600	1400	1200
Vnitřní průměr	d _{sv}	[mm]	600	600	600	600
Hmotnost svitku	m _{sv}	[kg]	2041,97	1559,84	1134,43	765,74
Délka svitku	L _{sv}	[mm]	1130973,4	863938	628318,5	424115
Plocha svitku	S _{sv}	[mm ²]	130061936	99352868	72256631	48773226
Plocha výstřižku	S _v	[mm ²]	869,8	869,8	869,8	869,8
Počet kusů ze svitku	n _{vsv}	[ks]	23081	17631	12822	8655
Počet svitků pro sérii	n _{sv}	[ks]	9	12	16	24
Využití svitku	η _{sv}	[%]	30,87	30,87	30,87	30,87
Využití všech svitků	η_{csv}	[%]	29,72	29,18	30,09	29,72

Jak je z vypočtených výsledků patrné, tak rozdíly ve využitelnosti jsou minimální, rozdíl nejlepšího a nejhoršího výsledku nepřekročil hodnotu tři procent. Nejvyšší využitelnosti bylo dosaženo při volbě svitku s vnějším průměrem D_{sv} = 1400 mm a to η_{csv} = 30,09 %. Naopak nejhoršího výsledku dosahuje varianta, při které byl uvažován vnější průměr svitku D_{sv} = 1600 mm. Pro výrobu součásti je tedy volen svitek s vnějším průměrem 1400 mm, jenž bude do nástroje zaváděn automaticky pomocí podávacího a rovnacího zařízení.

3.3 Postup výroby

Postup výroby páčky lze rozdělit do dvou etap, v první části je vystřižen rozvinutý vnější tvar součásti včetně určitých otvorů a v druhé jsou postupně provedeny všechny ohyby a děrování otvorů umístěných blízko ohybu. Jednotlivé ohýbací operace musí být chronologicky seřazeny v takovém pořadí, které zajistí vyrobitelnost součásti v nástroji. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, je také nutné zajistit spojení jednotlivých součástí s pásem plechu, resp. mezi sebou, toho je docíleno středovým spojujícím páskem, jenž také zajistí vedení pásu plechu. Součást je od pásu plechu oddělena až v posledním kroku. Postup výroby otevírací páčky byl navržen na deset operací, jednotlivé kroky jsou znázorněny na obrázku 53, kdy různé operace jsou rozlišeny také pomocí barev. Střížníky jsou vybarveny červenou barvou, ohybníky zelenou barvou a hledáčky barvou žlutou.

- **první krok** – vystřížení otvorů nacházejících se ve výstřižku včetně otvoru pro nepřímé středění, s výjimkou těch, které se nacházejí v blízkosti ohybů,
- **druhý krok** – dochází k vystřížení části rozvinutého vnějšího tvaru součásti,
- **třetí krok** – vystřížení zbytku vnějšího tvaru součásti, včetně spojujícího pásku,
- **čtvrtý krok** – ohnutí vodících pacek na spojujícím pásku, vytvoření ohybu na tvarovém výstupku součásti,
- **pátý krok** – vytvoření předohybu hlavního ramene součásti,
- **šestý až osmý krok** – vytvoření všech zbývajících ohybů na součásti,
- **devátý krok** – vystřížení zbývajících otvorů nalézajících se v blízkosti ohybů,
- **desátý krok** – oddělení součásti od pásu plechu, vystřížení kompletního obrysu páčky.



Obr. 53 Schéma postupu výroby

3.4 Tvářecí síly a práce

Dále je nutné vypočítat jednotlivé tvářecí síly a práce pro každou operaci, výpočty budou provedeny pro zvolenou ocel S355MC jejíž parametry jsou uvedeny v kapitole 1.

3.4.1 Stříhání

Výpočet střížné síly 1. krok – děrování Ø6 mm, dle vztahu (2.8):

$$F_{s11} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot d_{12}^2}{4} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot 2 = 32\,345,8 \text{ N},$$

kde: k_{ot} - voleno $k_{ot} = 1,3$ [-].

Výpočet střížné síly 1. krok – děrování Ø3 mm:

$$\begin{aligned} F_{s12} &= k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l \cdot s = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot d_{11}^2}{4} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot \frac{\pi \cdot 3^2}{4} \cdot 2 \\ &= 8\,086,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Výpočet střížné síly 1. krok – děrování Ø6 mm pro hledáček:

$$F_{sh} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot d_h^2}{4} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot 2 = 32\,345,8 \text{ N}$$

Výpočet střížné síly 2. krok – vystříhování:

$$F_{s2} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_2 \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot 68,3 \cdot 2 = 78\,135,2 \text{ N},$$

kde: l_2 - odměřeno pomocí CAD softwaru $l_2 = 68,3$ mm.

Výpočet střížné síly 3. krok – vystříhování:

$$F_{s3} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_3 \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot 202,2 \cdot 2 = 231\,316,8 \text{ N},$$

kde: l_3 - odměřeno pomocí CAD softwaru $l_3 = 202,2$ mm.

Výpočet střížné síly 9. krok – děrování Ø3,45 mm:

$$F_{s91} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot d_{91}^2}{4} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot \frac{\pi \cdot 3,45^2}{4} \cdot 2 = 10\,694,4 \text{ N}$$

Výpočet střížné síly 9. krok – děrování oválné drážky:

$$F_{s92} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{92} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot 17,8 \cdot 2 = 20\,363,2 \text{ N},$$

kde: l_{92} - odměřeno pomocí CAD softwaru $l_{92} = 17,8$ mm.

Výpočet střížné síly 10. krok – odstřížení od pásu:

$$F_{sod} = k_{ot} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_{od} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot 76,7 \cdot 2 = 87\,744,8 \text{ N},$$

kde: l_{od} - odměřeno pomocí CAD softwaru $l_{od} = 76,7$ mm.

Celková střížná síla je určena sečtením jednotlivých střížných sil, je ovšem nutné zohlednit, že v daných krocích se vždy vystřihují současně dvě součásti (levá a pravá varianta), a proto je nutné střížné síly násobit dvěma, kromě síly potřebné k vystřížení středícího otvoru a odstřížení dílce od pásu. Výpočet celkové střížné síly je proveden dle vztahu:

$$F_{cs} = F_{sh} + F_{sod} + \sum 2 \cdot F_{si} = 32\,345,8 + 87\,744,8 + 2 \cdot 8\,086,5 + \\ + 2 \cdot 32\,345,8 + 2 \cdot 78\,135,2 + 2 \cdot 231\,316,8 + 2 \cdot 10\,694,4 + \\ + 2 \cdot 20\,363,2 = 873\,885 \text{ N}$$

Výpočet stírací síly, dle vztahu (2.9):

$$F_{st} = k_{st} \cdot F_{cs} = 0,1 \cdot 873\,885 = 87\,388,5 \text{ N},$$

kde: k_{st} - voleno dle tabulky č.2, $k_{st} = 0,1$ [-].

Výpočet protlačovací síly, dle vztahu (2.10):

$$F_{pr} = k_{pr} \cdot F_{cs} = 0,04 \cdot 873\,885 = 34\,955,4 \text{ N},$$

kde: k_{pr} - voleno dle tabulky č.2, $k_{pr} = 0,04$ [-].

Střížná práce je určena stejným způsobem jako střížná síla, tedy pro každý střížník zvlášť, opět je nutné celkovou střížnou práci vynásobit dvěma, kromě hodnoty střížné práce potřebné pro vystřížení středícího otvoru:

Výpočet střížné práce 1. krok – děrování Ø6 mm, dle vztahu (2.11):

$$A_{s11} = \frac{F_{s11} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{32\,345,8 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 32,4 \text{ J}$$

kde: λ - voleno dle tabulky č. 3, $\lambda = 0,5$ [-]

Výpočet střížné práce 1. krok – děrování Ø3 mm:

$$A_{s12} = \frac{F_{s12} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{8\,086,5 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 8,1 \text{ J}$$

Výpočet střížné práce 1. krok – děrování Ø6 mm pro hledáček:

$$A_{sh} = \frac{F_{sh} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{32\,345,8 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 32,4 \text{ J}$$

Výpočet střížné práce 2. krok – vystřihování:

$$A_{s2} = \frac{F_{s2} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{78\,135,2 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 78,2 \text{ J}$$

Výpočet střížné práce 3. krok – vystřihování:

$$A_{s3} = \frac{F_{s3} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{231\,316,8 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 231,3 \text{ J}$$

Výpočet střižné práce 9. krok – děrování Ø3,45 mm:

$$A_{s91} = \frac{F_{s91} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{10\,694,4 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 10,7 \text{ J}$$

Výpočet střižné práce 9. krok – děrování oválné drážky:

$$A_{s92} = \frac{F_{s92} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{20\,363,2 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 20,4 \text{ J}$$

Výpočet střižné práce 10. krok – odstřižení od pásu:

$$A_{sod} = \frac{F_{sod} \cdot s \cdot \lambda}{1000} = \frac{87\,744,8 \cdot 2 \cdot 0,5}{1000} = 87,8 \text{ J}$$

Výpočet celkové střižné práce:

$$A_{cs} = A_{sh} + A_{sod} + \sum 2 \cdot A_{si} = 32,4 + 87,8 + 2 \cdot 8,1 + 2 \cdot 32,4 + 2 \cdot 78,2 + 2 \cdot 231,3 + 2 \cdot 10,7 + 2 \cdot 20,4 = 882,4 \text{ J} \quad (3.11)$$

3.4.2 Ohýbání

Výpočet ohybové síly 4. krok – ohýbání vodících pacek (obr. 54). dle vztahu (2.24):

$$F_{ovp} = (1 + 7\mu) \cdot \frac{b_{ovp} \cdot s^2 \cdot R_e}{R_{ovp} + s} = (1 + 7 \cdot 0,2) \cdot \frac{10 \cdot 2^2 \cdot 355}{1 + 2} = 11\,360 \text{ N},$$

kde: μ - součinitel tření pro kombinaci ocel—ocel, voleno $\mu=0,2$ [-],

b_{ovp} - šířka ohybu $b_{ovp} = 10 \text{ mm}$.

Výpočet přidržovací síly 4. krok – vodící packy, dle vztahu (2.25):

$$F_{pvp} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{ovp} = 0,25 \cdot 11\,360 = 2\,840 \text{ N}$$

Výpočet kalibrační síly 4. krok – vodící packy, dle vztahu (2.26):

$$F_{kalvp} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_{ovp} = 2 \cdot 11\,360 = 22\,720 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly 4. krok – ohýbání vodících pacek:

$$F_{covp} = F_{ovp} + F_{pvp} + F_{kalvp} = 11\,360 + 2\,840 + 22\,720 = 36\,920 \text{ N}$$

Výpočet ohybové síly 4. krok – Z ohyb (obr. 54), jedná se o dvojnásobný V ohyb, dle vztahu (2.23):

$$F_{o42} = 2 \cdot \frac{b_{o42} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o42}} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot \frac{13 \cdot 2^2 \cdot 355}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{45}{2}\right) = 7\,646,4 \text{ N},$$

kde: b_{o42} - šířka ohybu $b_{o42} = 13 \text{ mm}$.

Výpočet přidržovací síly 4. krok – Z ohyb:

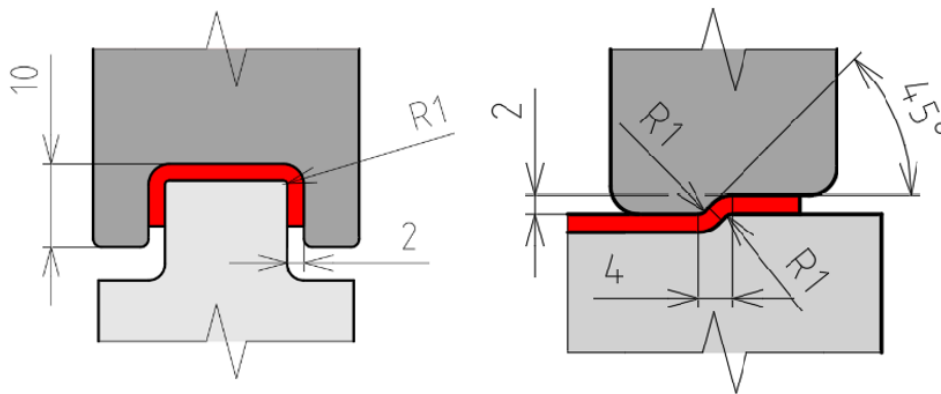
$$F_{p42} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{o42} = 0,25 \cdot 7\,646,4 = 1\,911,6 \text{ N}$$

Výpočet kalibrační síly 4. krok – Z ohyb:

$$F_{kal42} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_{o42} = 2 \cdot 7\,646,4 = 15\,292,8 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly 4. krok – Z ohyb:

$$F_{co42} = F_{o42} + F_{p42} + F_{kal42} = 7\,646,4 + 1\,911,6 = 24\,850,8 \text{ N}$$



Obr. 54 Ohyby provedené ve 4. kroku

Výpočet ohybové síly 5. krok – předohyb hlavního ramene (obr.55):

$$\begin{aligned} F_{o5} &= \frac{b_{o5} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o5}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_{51}}{2} \right) + \frac{b_{o5} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o5}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_{52}}{2} \right) = \\ &= \frac{12 \cdot 2^2 \cdot 355}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{45}{2} \right) + \frac{12 \cdot 2^2 \cdot 355}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90}{2} \right) = 12\,049,1 \text{ N}, \end{aligned}$$

kde: b_{o5} - šířka ohybu $b_{o5} = 12 \text{ mm}$.

Výpočet přidržovací síly 5. krok – předohyb hlavního ramene:

$$F_{p5} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{o5} = 0,25 \cdot 12\,049,1$$

Výpočet kalibrační síly 5. krok – předohyb hlavního ramene:

$$F_{kal5} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_{o5} = 2 \cdot 12\,049,1$$

Výpočet celkové ohybové síly 5. krok – předohyb hl. ramene:

$$F_{co5} = F_{o5} + F_{p5} + F_{kal5} = 12\,049,1 + 3\,012,3 + 24\,098,2 = 39\,159,6 \text{ N}$$

Výpočet ohybové síly 6. krok – dohnutí hlavního ramene (obr.55):

$$F_{o6} = \frac{b_{o6} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o6}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_6}{2} \right) = \frac{12 \cdot 2^2 \cdot 355}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{45}{2} \right) = 3\,529,1 \text{ N},$$

kde: b_{o6} - šířka ohybu $b_{o6} = b_{o5} = 12 \text{ mm}$.

Výpočet přidržovací síly 6. krok – dohnutí hlavního ramene:

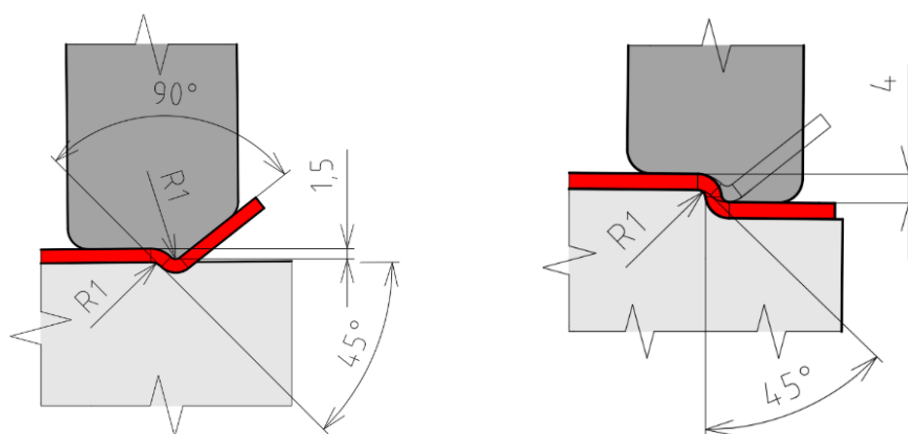
$$F_{p6} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{o6} = 0,25 \cdot 3\,529,1 = 882,3 \text{ N}$$

Výpočet kalibrační síly 6. krok – dohnutí hlavního ramene:

$$F_{kal6} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_{o6} = 2 \cdot 3\,529,1 = 7\,058,2 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly 6. krok – dohnutí hlavního ramene:

$$F_{co6} = F_{o6} + F_{p6} + F_{kal6} = 3\,529,1 + 882,3 + 7\,058,2 = 11\,469,6 \text{ N}$$



Obr. 55 Ohyby provedené v 5. a 6. kroku

Výpočet ohybové síly 7. krok – vytvoření ohybu 30° (obr.56):

$$F_{o7} = \frac{b_{o7} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o7}} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_7}{2}\right) = \frac{5 \cdot 2^2 \cdot 355}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{30}{2}\right) = 951,3 \text{ N},$$

kde: b_{o7} - šířka ohybu $b_{o7} = 5 \text{ mm}$.

Výpočet přidržovací síly 7. krok – vytvoření ohybu 30°:

$$F_{p7} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{o7} = 0,25 \cdot 951,3 = 237,9 \text{ N}$$

Výpočet kalibrační síly 7. krok – vytvoření ohybu 30°:

$$F_{kal7} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_{o7} = 2 \cdot 951,3 = 1\,902,6 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly 7. krok – vytvoření ohybu 30°:

$$F_{co7} = F_{o7} + F_{p7} + F_{kal7} = 951,3 + 237,9 + 1\,902,6 = 3\,091,8 \text{ N}$$

Výpočet ohybové síly 8. krok – vytvoření dorazu (obr.56):

$$F_{o8} = \frac{b_{o8} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o8}} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_8}{2}\right) = \frac{10,7 \cdot 2^2 \cdot 355}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{45}{2}\right) = 3\,146,8 \text{ N},$$

kde: b_{o8} - šířka ohybu $b_{o8} = 10,7 \text{ mm}$.

Výpočet přidržovací síly 8. krok – vytvoření dorazu:

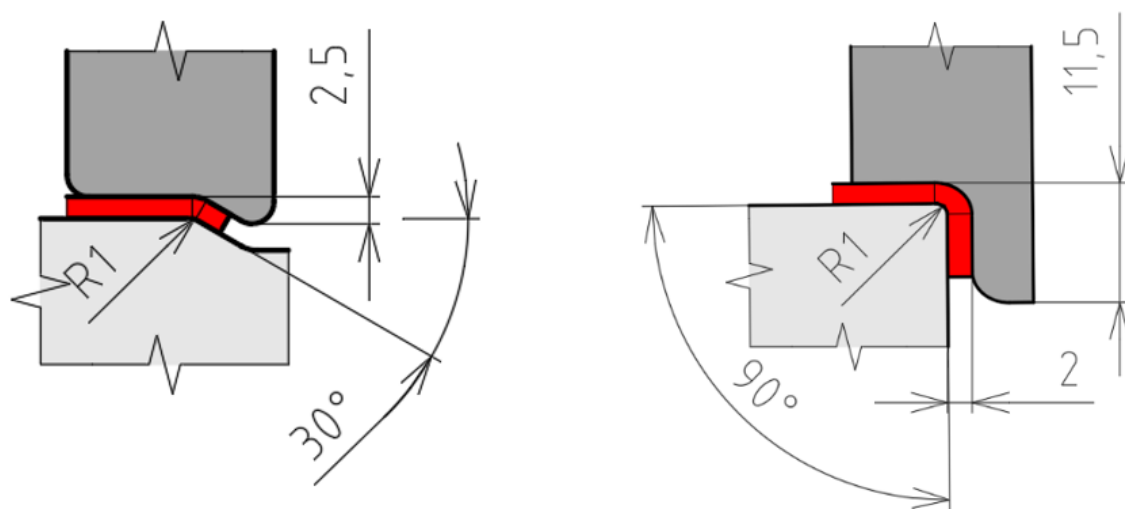
$$F_{p8} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{o8} = 0,25 \cdot 3\,146,8 = 786,7 \text{ N}$$

Výpočet kalibrační síly 8. krok – vytvoření dorazu:

$$F_{kal8} = (2,0 \div 2,5) \cdot F_{o8} = 2 \cdot 3\,146,8 = 6\,293,6 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly 8. krok – vytvoření dorazu:

$$F_{co8} = F_{o8} + F_{p8} + F_{kal8} = 3\,146,8 + 786,7 + 6\,293,6 = 10\,227,1 \text{ N}$$



Obr. 56 Ohyby provedené v 7. a 8. kroku

Celková ohybová síla je určena sečtením jednotlivých ohybových sil, stejně jako v případě stříhání i zde je třeba pamatovat na zrcadlové rozložení pásu a nutnost hodnoty sil zvětšit na jejich dvojnásobnou hodnotu. Jediná síla, kterou není potřeba započítávat jako dvojnásobnou je ohýbání vodících pacek. Vztah pro výpočet celkové ohybové síly:

$$F_{co} = F_{covp} + \sum 2 \cdot F_{coi} = 36\,920 + 2 \cdot 24\,850,8 + 2 \cdot 39\,159,6 + \\ + 2 \cdot 11\,469,6 + 2 \cdot 3\,091,8 + 2 \cdot 10\,227,1 = 214\,517,8 \text{ N}$$

S ohybovou prací je výpočtový postup zcela obdobný jako při výpočtu ohybových sil, znovu je nutné započítat všechny práce dvakrát s výjimkou práce potřebné pro ohnutí vodících pacek:

Výpočet ohybové práce 4. krok – ohýbání vodících pacek, dle vztahu (2.28):

$$A_{ovp} = \frac{F_{covp} \cdot h_{vp} \cdot \psi}{1000} = \frac{36\,920 \cdot 10 \cdot 0,65}{1000} = 240 \text{ J},$$

kde: h_{vp} - výška zdvihu $h_{vp} = 10 \text{ mm}$,

ψ - součinitel plnosti, voleno $\psi = 0,65 [-]$.

Výpočet ohybové práce 4. krok – Z ohyb, dle vztahu (2.27):

$$A_{o42} = \frac{F_{co42} \cdot h_{42} \cdot \psi}{1000} = \frac{24\,850,8 \cdot 2 \cdot 0,65}{1000} = 32,4 \, J ,$$

kde: h_{42} - šířka ohybu $h_{42} = 2 \, \text{mm}$.

Výpočet ohybové práce 5. krok – předohyb hlavního ramene:

$$A_{o5} = \frac{F_{co5} \cdot h_5 \cdot \psi}{1000} = \frac{39\,159,6 \cdot 1,5 \cdot 0,65}{1000} = 38,2 \, J ,$$

kde: h_5 - šířka ohybu $h_5 = 1,5 \, \text{mm}$.

Výpočet ohybové práce 6. krok – dohnutí hlavního ramene:

$$A_{o6} = \frac{F_{co6} \cdot h_6 \cdot \psi}{1000} = \frac{11\,469,6 \cdot 4 \cdot 0,65}{1000} = 29,9 \, J ,$$

kde: h_6 - šířka ohybu $h_6 = 4 \, \text{mm}$.

Výpočet ohybové práce 7. krok – vytvoření ohybu 30° :

$$A_{o7} = \frac{F_{co7} \cdot h_7 \cdot \psi}{1000} = \frac{3\,091,8 \cdot 2,5 \cdot 0,65}{1000} = 5,1 \, J ,$$

kde: h_8 - šířka ohybu $h_8 = 2,5 \, \text{mm}$.

Výpočet ohybové práce 8. krok – vytvoření dorazu:

$$A_{o8} = \frac{F_{co8} \cdot h_8 \cdot \psi}{1000} = \frac{10\,227,1 \cdot 11,5 \cdot 0,65}{1000} = 76,5 \, J ,$$

kde: h_8 - šířka ohybu $h_8 = 11,5 \, \text{mm}$.

Celková ohybová práce:

$$A_{co} = A_{covp} + \sum 2 \cdot A_{coi} = 240 + 2 \cdot 32,4 + 2 \cdot 38,2 + 2 \cdot 29,9 + 2 \cdot 5,1 + 2 \cdot 76,5 = 604,2 \, J \quad (3.12)$$

3.4.3 Pružné prvky

Do výpočtu celkové síly a práce se také musí započítat všechny pružné elementy jako jsou pružiny nebo plynové válce, které bude nástroj obsahovat. Pružiny budou použity především na odpružení vodící desky, která bude zároveň plnit funkci stěrače a přidržovače. Velikost síly, kterou musí pružiny vyvodit na vodící desku byla stanovena na $F_{prvd} = 51,5 \, \text{kN}$, pro konstrukci budou využity pružiny od firmy Fibro, která se zaměřuje na výrobu a prodej normalizovaných lisařských součástí a příslušenství, detailní parametry použitých pružin pro odpružení vodící desky jsou uvedeny v příloze č. 1. Další typ pružin je použit pro přizvedávání pásu, v první části nástroje jsou využity odpružené vodící kolíky, pro které byly navrženy pružiny s kruhovým průřezem drátu (příloha č. 2), pro jejich stlačení bude potřeba vyvinout sílu $F_{prvk} = 2,7 \, \text{kN}$, dále je využito kolíkových vyhazovačů s pružinami (příloha č. 2), které vyžadují sílu pro stlačení $F_{prvy} = 1,5 \, \text{kN}$. V ohybové části nástroje je konstruována odpružená vodící lišta, která je zvedána trojicí pružin (příloha č. 3) o celkové síle $F_{prvl} = 7,5 \, \text{kN}$.

Celková síla potřebná ke stlačení všech pružin nacházejících se v nástroji je poté vypočítána vzorcem:

$$F_{pruž} = F_{prvd} + F_{prvk} + F_{prvy} + F_{prvl} = 51,5 + 2,7 + 1,5 + 7,5 = 63,2 \text{ kN}, \quad (3.13)$$

kde: $F_{pruž}$ - celková síla potřebná ke stlačení pružin [kN],
 F_{prvd} - síla potřebná ke stlačení pružin na vodící desce [kN],
 F_{prvk} - síla potřebná ke stlačení pružin vodících kolíků [kN],
 F_{prvy} - síla potřebná ke stlačení pružin vyhazovačů [kN],
 F_{prvl} - síla potřebná ke stlačení pružin vodící lišty [kN].

Výpočet práce potřebné ke stlačení pružin:

$$A_{pruž} = F_{pruž} \cdot h_{pruž} \cdot \psi = 63,2 \cdot 21 \cdot 0,65 = 863 \text{ J} \quad (3.14)$$

3.4.4 Celková tvářecí síla a práce

Jednotlivé dílčí výsledky je nutné sečíst a určit celkovou tvářecí sílu a práci potřebnou pro výrobu součásti, na základě výsledků bude vybrán odpovídající tvářecí stroj. Při výpočtech bylo uvažováno, že jednotlivé tvářecí síly začínají působit ve stejný okamžik, to ale neodpovídá realitě, kvůli odstupňování jednotlivých operací, způsobené rozdílnými délkami nástrojů. Skutečná tvářecí síla bude tedy nižší než vypočítaná hodnota, díky tomu bude zajištěna dostatečná výkonová rezerva pro tvářecí stroj.

Celková tvářecí síla:

$$F_{tv} = F_{cs} + F_{st} + F_{pr} + F_{co} + F_{pruž} = 873\,885 + 87\,388,5 + 34\,955,4 + 214\,517,8 + 63\,200 = 1\,273\,946,7 \text{ N} \quad (3.15)$$

Celková tvářecí práce:

$$A_{tv} = A_{cs} + A_{co} + A_{pruž} = 882,4 + 604,2 + 863 = 2\,349,6 \text{ J} \quad (3.16)$$

3.5 Odpružení

Odpružení je nedílnou součástí procesu ohýbání a nelze jej absolutně eliminovat, jak je uvedeno v kapitole 2.2.4. Velikost odpružení je nutno vypočítat pro každou operaci ohýbání a následně hodnoty porovnat s povolenými odchylkami uvedenými na výkrese součásti. V případě vyráběné součásti jsou úhlové rozměry na výkrese netolerovány, a proto se k nim vztahují obecné tolerance uvedeny v normě ČSN ISO 2768-mK, velikosti povolených úhlových odchylek jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tab. 11 Nepředepsané mezní úchytky úhlových rozměrů [61]

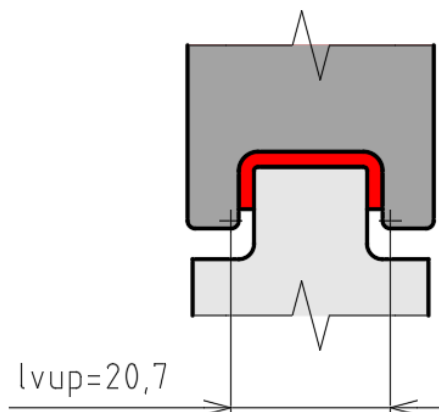
Třída přesnosti	Do 10	Od 10 do 50	Od 50 do 120	Od 120 do 140	Přes 140
f	±1°	±0°30′	±0°20′	±0°10′	±0°05′
m	±1°30′	±1°	±0°30′	±0°15′	±0°10′
c	±3°	±2°	±1°	±0°30′	±0°20′
v					

Výpočet odpružení 4. krok – ohýbání vodících pacek (obr. 57), dle vztahu (2.22):

$$\beta_{vp} = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_{vvp}}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{20,7}{0,62 \cdot 2} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 1,22^\circ ,$$

kde: l_{vvp} - rameno ohybu $l_{vvp} = 20,7$ mm,

k_o - $\frac{R_o}{s} = \frac{1}{2} \rightarrow$ součinitel volen dle tabulky č. 7. $k_o = 0,62$ [-].



Obr. 57 Odpružení 4. krok

Výpočet odpružení 4. krok –pro Z ohyb není nutné odpružení počítat vzhledem ke geometrii ohybu. Při ohýbání vznikají dva identické ohyby o stejném poloměru a úhlu ohybu, liší se pouze směrem ohybu, vzniklé odpružení po procesu ohýbání se tedy vzájemně eliminuje.

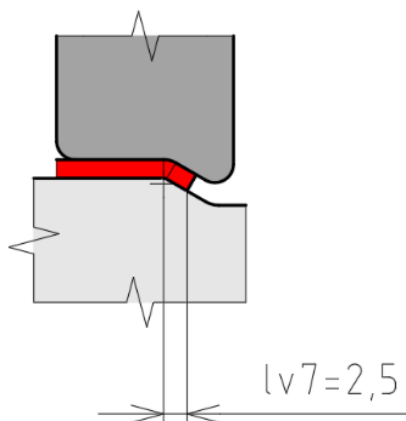
Výpočet odpružení 5. krok – předohyb hlavního ramene, hodnotu odpružení zde rovněž není potřeba počítat, jedná se pouze o technologické předohnutí materiálu.

Výpočet odpružení 6. krok – dohnutí hlavního ramene, jedná se o ohyb do tvaru Z, stejně jako v případě 4. kroku je předpokládáno vzájemné vykompenzování odpružení.

Výpočet odpružení 7. krok – vytvoření ohybu 30° (obr. 58), dle vztahu (2.21):

$$\beta_7 = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{l_{v7}}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{2,5}{0,62 \cdot 2} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,08^\circ ,$$

kde: l_{v7} - rameno ohybu $l_{v7} = 2,5$ mm.

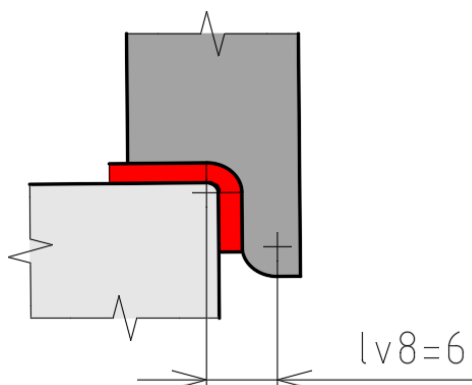


Obr. 58 Odpružení 7. krok

Výpočet odpružení 8. krok – vytvoření dorazu (obr. 66):

$$\beta_8 = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{l_{v8}}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{6}{0,62 \cdot 2} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,09^\circ,$$

kde: l_{v8} - rameno ohybu $l_{v8} = 6$ mm.



Obr. 59 Odpružení 8. krok

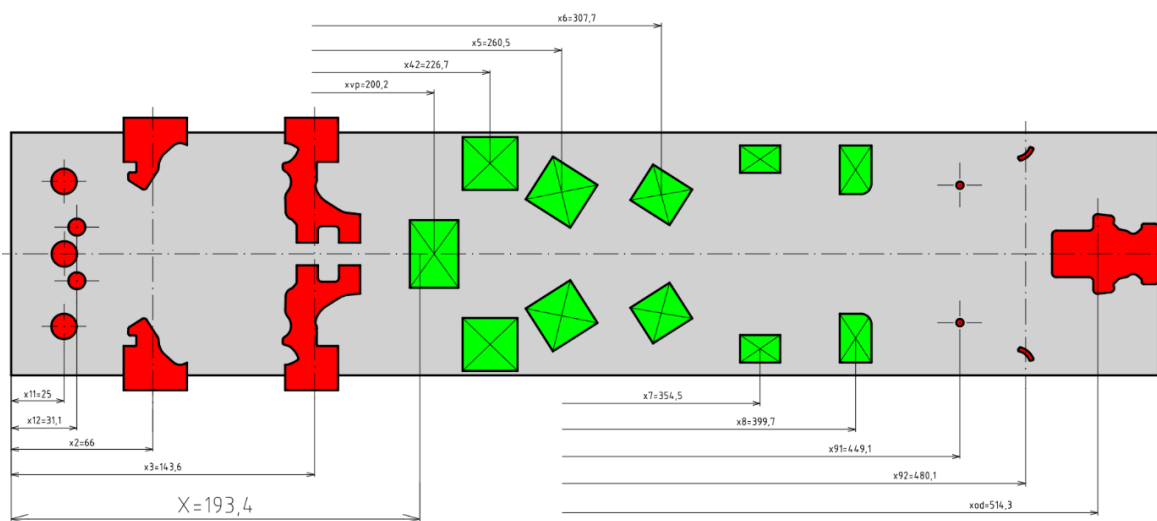
Z vypočtených výsledků je zjevné, že vzniklé odpružení při výrobě součásti je v rámci všeobecné tolerance a nebude tedy nutné využít některé z konstrukčních úprav činných částí nástroje. Největší odpružení vykazují vodící packy, vzhledem k jejich jediné funkci zajištění vedení pásu nástrojem je hodnota odpružení $\beta_{vp} = 1,22^\circ$ akceptovatelná, přesné ustavení pásu je zajišťováno středícími otvory s hledáčky.

3.6 Určení těžiště

Určení těžiště působících sil (obr. 60) je důležitým krokem pro následný konstrukční návrh nástroje, do těžiště je umisťována upínací stopka, důvodem je zabránění přičení horní části nástroje vůči spodní. U větších tvářecích nástrojů se sice stopka nepoužívá, ale přesto je poloha těžiště počítána, aby bylo možné nástroj upevnit tak aby těžiště sil procházelo osou tvářecího stroje. Pro výpočet těžiště je volena výpočetní metoda, která je velmi přesná a vhodná pro nástroje s větším počtem kroků. Těžiště sil jednotlivých kroků byla určena pomocí CAD softwaru Catia V5 a následně odměřena od počátku voleného souřadnicového systému, který byl zvolen v levém spodním rohu pásu plechu a vychází z něj všechny délkové kóty. Vzhledem k symetrickému rozmištění jednotlivých operací v nástroji, není nutné počítat polohu těžiště v příčném směru, těžiště bude ležet na podélné ose pásu plechu. Výpočet umístění těžiště v podélném směru je provedeno pomocí rovnice (2.13):

$$X = \frac{2 \cdot F_{s11} \cdot x_{11} + F_{sh} \cdot x_{11} + 2 \cdot F_{s12} \cdot x_{12} + 2 \cdot F_{s2} \cdot x_2 + 2 \cdot F_{s3} \cdot x_3 + F_{covp} \cdot x_{vp} +}{F_{cs} + F_{co}} \\ + \frac{2 \cdot F_{co42} \cdot x_{42} + 2 \cdot F_{co5} \cdot x_5 + 2 \cdot F_{co6} \cdot x_6 + 2 \cdot F_{co7} \cdot x_7 + 2 \cdot F_{co8} \cdot x_8 +}{F_{cs} + F_{co}} \\ + \frac{2 \cdot F_{s91} \cdot x_{91} + 2 \cdot F_{s92} \cdot x_{92} + F_{sod} \cdot x_{od}}{F_{cs} + F_{co}}$$

$$\begin{aligned}
X = & \frac{2 \cdot 32\,345,8 \cdot 25 + 32\,345,8 \cdot 25 + 2 \cdot 8\,086,5 \cdot 31,1 + 2 \cdot 78\,135,2 \cdot 66 +}{873\,885 + 214\,517,8} \\
& + \frac{2 \cdot 231\,316,8 \cdot 143,6 + 36\,920 \cdot 200,2 + 2 \cdot 24\,850,8 \cdot 226,7 +}{873\,885 + 214\,517,8} \\
& + \frac{2 \cdot 39\,159,6 \cdot 260,5 + 2 \cdot 11\,469,6 \cdot 307,7 + 2 \cdot 3\,091,8 \cdot 354,5 +}{873\,885 + 214\,517,8} \\
& + \frac{2 \cdot 10\,227,1 \cdot 399,7 + 2 \cdot 10\,694,4 \cdot 449,1 + 2 \cdot 20\,363,2 \cdot 480,1 +}{873\,885 + 214\,517,8} \\
& + \frac{2 \cdot 87\,744,8 \cdot 514,3}{873\,885 + 214\,517,8} = 193,4 \text{ mm}
\end{aligned}$$



Obr. 60 Poloha těžiště

Poloha těžiště v podélném směru byla vypočtena ve vzdálenost 193,4 mm od okraje plechu. Jak je uvedeno na začátku kapitoly, polohu těžiště ve směru příčném není nutné počítat vzhledem k symetrii jednotlivých operací.

3.7 Návrh činných částí

Mezi hlavní funkční části nástroje se řadí střížníky, střížnice, ohybníky a ohybnice. Při výrobě součásti dochází k namáhání těchto částí, proto musí být vhodně navrženy a dimenzovány. Důležité je také zvolit pro jejich výrobu vhodný materiál. Namáhání činných částí je tedy nutné početně kontrolovat a vyhodnotit.

První provedenou kontrolou je kontrola střížnice, dle rovnice (3.17) bude určena její minimální výška, aby nedošlo k jejímu poškození, výpočet bude proveden pro 3. krok vystřihování, kde se dosahuje nevyšší hodnoty střížné síly. Vztah pro výpočet výšky střížnice [38]:

$$H = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_{smax}}{\sigma_{odov}}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 231\,316,8}{300}} = 43,91 \text{ mm}, \quad (3.17)$$

kde: F_{smax} - nejvyšší střížná síla, voleno $F_{smax} = F_{s3}$ [N],
 σ_{odov} - dovolené ohybové napětí, voleno $\sigma_{odov} = 300$ MPa.

Dalším krokem je kontrola dosedacích částí střížníků na otlačení, výpočet bude proveden jak pro střížník, který je namáhán největší střížnou silou, to je vystřihovací střížník v 3. kroku tak pro nejmenší střížník pro děrování otvoru $\varnothing 3$ mm. Výpočty jsou provedeny podle vztahu (2.29):

Výpočet pro děrovací střížník:

$$\sigma_{s1} = \frac{F_{s1}}{S_{D1}} = \frac{8\,086,5}{50,27} = 160,86 \text{ MPa},$$

kde: S_{D1} - dosedací plocha střížníku – odměřeno dle CAD, $S_{D1} = 50,27 \text{ mm}^2$.

Výpočet pro vystřihovací střížník:

$$\sigma_{s2} = \frac{F_{s3}}{S_{D3}} = \frac{231\,316,8}{1\,240} = 186,55 \text{ MPa},$$

kde: S_{D3} - dosedací plocha střížníku – odměřeno dle CAD, $S_{D3} = 1\,240 \text{ mm}^2$.

Kritická hodnota napětí pro ocelové desky je $\sigma_D = 180 \text{ MPa}$, jak je z výpočtů zřejmé, tak napětí, kterého je dosahováno u vystřihovacího střížníku ve 3. kroku překračuje tuto hodnotu, je tedy nutné využití kalené opěrné desky.

Střížníky se dále musí kontrolovat na vzpěr, výpočet bude proveden pro střížník o nejmenším průměru 3 mm, určení kritické délky je provedeno dle rovnice (2.36), pro výpočet je ale nutné nejdříve zjistit kvadratický moment průřezu:

$$I = \frac{\pi \cdot d_{\text{stříž}}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3^4}{64} = 3,98 \text{ mm}^4, \quad (3.18)$$

kde: $d_{\text{stříž}}$ - průměr těla střížníku.

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,98}{1,5 \cdot 8\,086,5}} = 52,16 \text{ mm},$$

kde: n - součinitel bezpečnosti. voleno $n = 1,5$ [-].

Volná délka střížníku tedy nesmí překročit vypočtenou kritickou délku $l_k = 52,16 \text{ mm}$, jinak dojde k jeho vybočení.

Pro zajištění správné funkce střížné části nástroje je nutné stanovit velikost střížné mezery, respektive vůle, ta se vypočítá dle vzorce (2.2):

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,32 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 550} = 0,27 \text{ mm},$$

kde: c - součinitel závislý na stupni stříhu, voleno $c = 0,02$ [-].

Střížná vůle je poté podle vztahu (2.1) vypočítána:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,27 = 0,54 \text{ mm}$$

Nyní je možné vypočítat rozměry funkčních částí při střížných operacích – střížníku a střížnice. Vzorový výpočet je proveden pro operaci děrování kruhového otvoru $\varnothing 6 \pm 0,1$ mm, který slouží jako střed rotace páčky okolo čepu, je tedy důležité dodržet jeho správný rozměr, respektive toleranci. Výpočty rozměrů budou provedeny dle ČSN 22 6015.

Funkční rozměr střížníku $\varnothing 6$:

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) - TA = \left(6 + \frac{0,160}{2} \right) - 0,035 = 6,08_{-0,035}^{+0}, \quad (3.19)$$

kde: RAD - rozměr střížníku při děrování [mm],
 JR - jmenovitý rozměr součásti [mm],
 P - přípustná míra opotřebení [mm],
 TA - výrobní tolerance střížníku, voleno dle přílohy č. 4 [mm].

Funkční rozměr střížnice s otvorem $\varnothing 6$:

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE = \left(6 + \frac{0,160}{2} + 0,54 \right) + 0,054 = 6,62_{-0}^{+0,054}, \quad (3.20)$$

kde: RED - rozměr střížnice při děrování [mm],
 TE - výrobní tolerance střížnice, voleno dle přílohy č. 4 [mm].

Posledním provedeným výpočtem je stanovení ohybové vůle dle vztahu (2.40):

$$v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot s = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ mm}$$

3.8 Volba tvářecího stroje

Při volbě vhodného lisu je potřeba volit takový, který dokáže vyvinout tvářecí sílu větší, než je vypočítaná celková tvářecí síla, která byla vypočtena v kapitole 3.4.4. Lis musí dále vyhovovat z hlediska rozměrů upínacích ploch, aby do něj mohl být umístěn nástroj a také musí mít potřebný zdvih. Jako nejvhodnější tvářecí stroj byl zvolen lis od firmy Šmeral Brno a.s. s označením S 160 (obr. 61). Jedná se o výstředníkový lis s rámem ve tvaru C, který je určen pro zpracování pásů plechu nebo svitek v lisovnách pomocí stříhacích, ohýbacích a dalších operací. Jmenovitá tvářecí síla lisu je 1 600 kN a maximální velikost upnutého nástroje může být 1200x800 mm, další parametry stroje jsou uvedeny v tabulce č. 12. Stroj bude umístěn v lince a celý proces výroby páčky bude automatizován. [62]

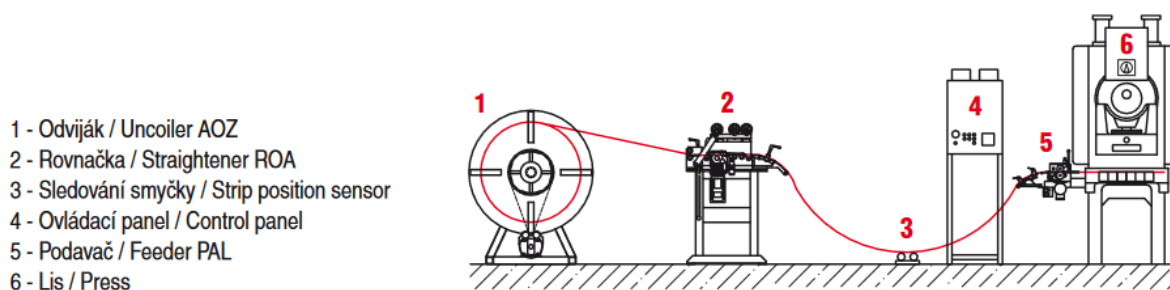
Tab. 12 Parametry stroje Šmeral S160 [62]

Tvářecí síla	[kN]	1 600	Zdvih beranu	[mm]	20-160
Sevření	[mm]	500	Počet zdvihů	[min ⁻¹]	40/60
Vyložení	[mm]	400	Přestavování beranu	[mm]	100
Upínací plocha stolu	[mm]	1 200x800	Celkový instalovaný výkon	[kW]	23
Upínací plocha beranu	[mm]	850x520	Rozměry stroje v*š*h	[m]	3,3*1,4*2,5



Obr. 61 Šmeral S160 [62]

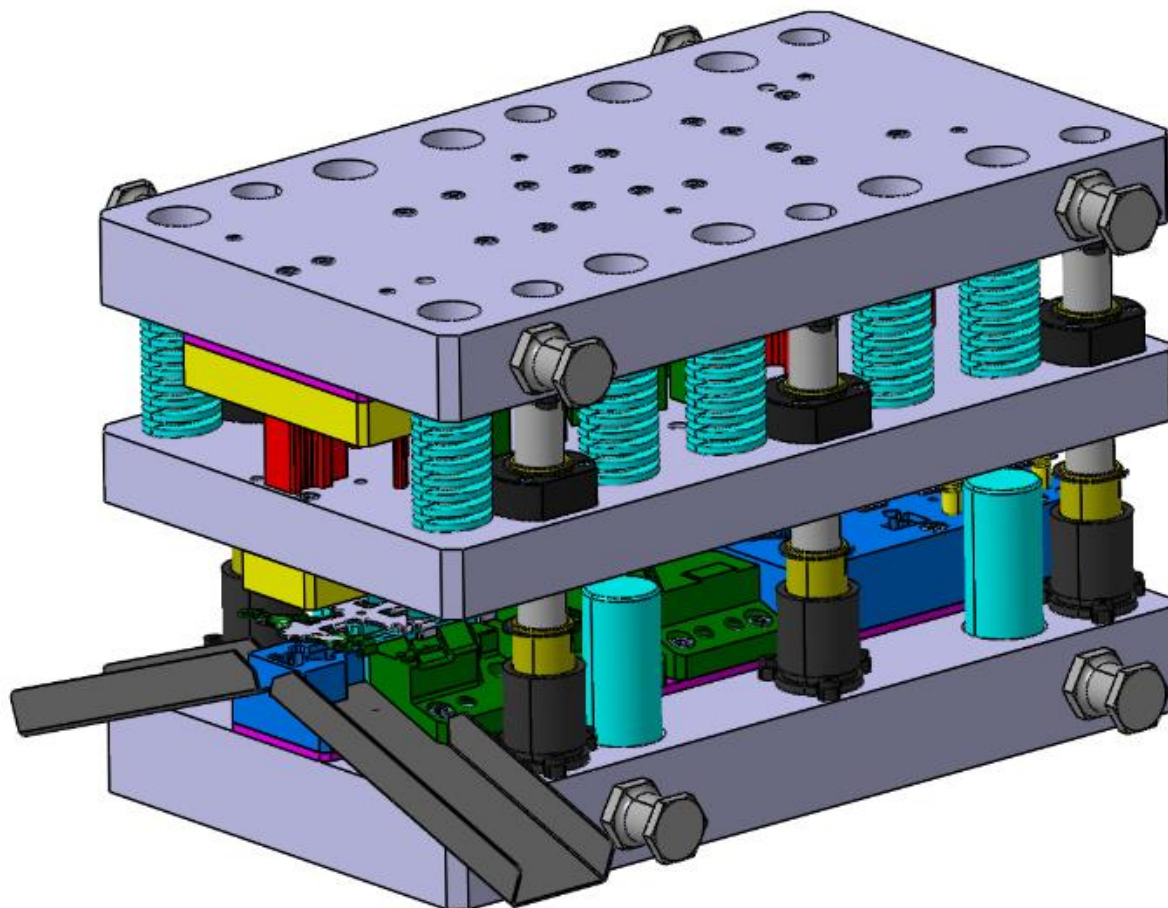
Vzhledem k volbě polotovaru ve formě svitku je nutné využít přídatného podávacího zařízení – podávací linky (obr. 62). Ta zajišťuje odvíjení pásu plechu ze svitku, jeho rovnání a podávání pásu plechu do nástroje o požadovanou velikost kroku. Rovnací linka byla volena od firmy Attl a spol. s.r.o. s označením ARPL RAL 250, technické parametry linky jsou uvedeny v příloze č. 5. [63]



Obr. 62 Podávací linka ARPL RAL 250 [63]

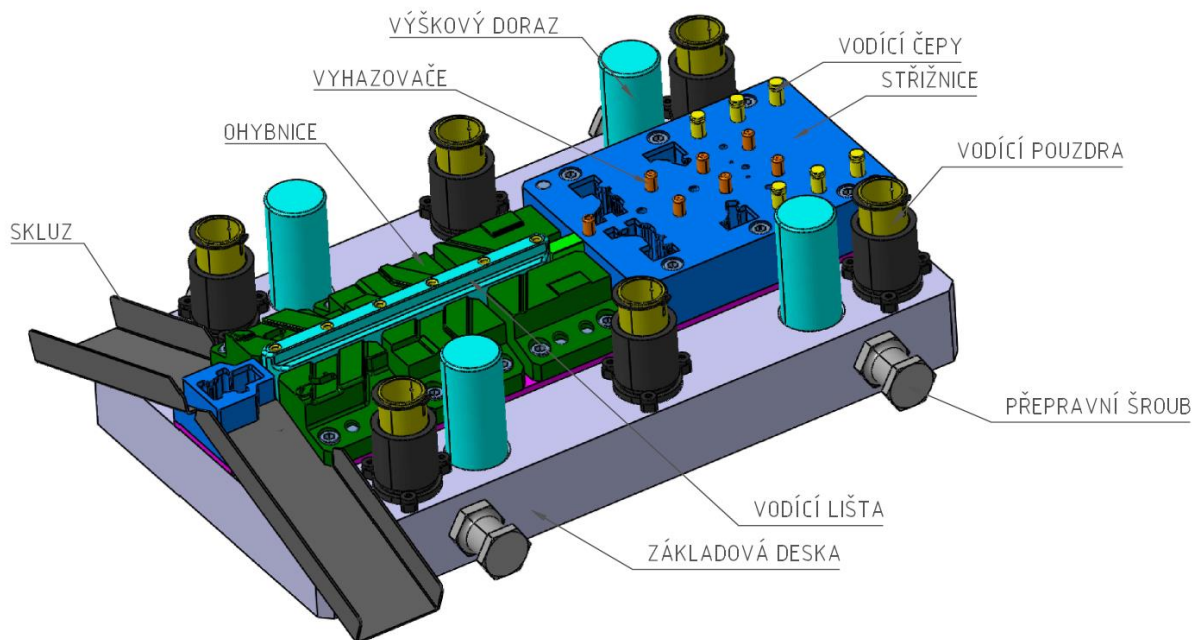
3.9 Konstrukce nástroje

Pro výrobu součásti páčka byl zkonstruován sdružený postupový nástroj (obr. 63), kdy při jeho konstrukci bylo vycházeno ze zvoleného výrobního postupu. Nástroj byl vytvořen v CAD programu Catia V5. Nástroj sdružuje střížné a ohybové operace a lze jej rozdělit na dvě hlavní části – horní a spodní polovinu nástroje, kdy horní polovina je vybavena plovoucím vedením. Snadnější manipulace s nástrojem je zajištěna díky přepravním šroubům.



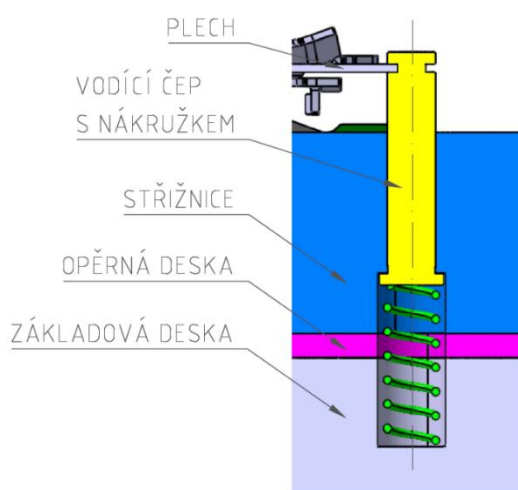
Obr. 63 navržený sdružený nástroj

Spodní část nástroje (obr. 64) je tvořena základovou deskou, která slouží k upnutí nástroje na stůl lisu a jsou v ní připevněny vodící pouzdra sloupků, jedná se o normalizované díly od firmy Fibro. Dále spodní část obsahuje výškové dorazy, které zabraňují poškození funkčních částí nástroje. K základové desce jsou připevněny jednotlivé ohybnice a střížnice, ty jsou podloženy kalenou opěrnou deskou, která zajišťuje ochranu proti otlačení, ohybnice a střížnice jsou upevněny k základové desce pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem dle DIN 912 a jejich přesná poloha je zajištěna válcovými kolíky dle ISO 2338. Střížnice i ohybníky jsou navrženy jako celistvé kvůli jednodušší výrobě. Vznikající odpad při stříhání propadá střížnicemi a otvory v základové desce, následně propadá otvorem ve stole lisu.

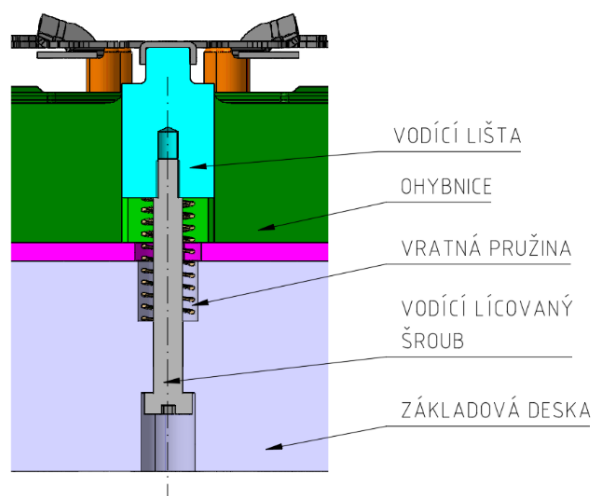


Obr. 64 Spodní část nástroje

Plech je do nástroje zaváděn pomocí podávací linky, na vstupu do střížné části nástroje je veden pomocí vodících čepů s nákrůžkem (obr. 65) od firmy Meusburger. Vodící čepy pásu plechu jsou uloženy posuvně a jsou do své výchozí pozice vráceny pomocí pružin. V ohybové části nástroje je plech veden pomocí odpružené vodící lišty umístěnou mezi jednotlivými ohybníky, plechu je zamezen boční pohyb pomocí vodících pacek. Nástroj je dále vybaven odpruženými vyhazovači od firmy Fibro, které zajišťují bezproblémové odlepení pásu plechu, v ohybové části nástroje funkci vyhazovače plní odpružená vodící lišta (obr. 66). Přesné ustavení pásu plechu v jednotlivých krocích je zajištěno středícími otvory a hledáčky, v nástroji je využito nepřímého středění s výjimkou posledního kroku odstrižení součástí od pásu, kde je použit systém přímého středění. Na konci nástroje je umístěn skluz, po kterém sjíždějí hotové díly po jejich oddělení od pásu plechu.

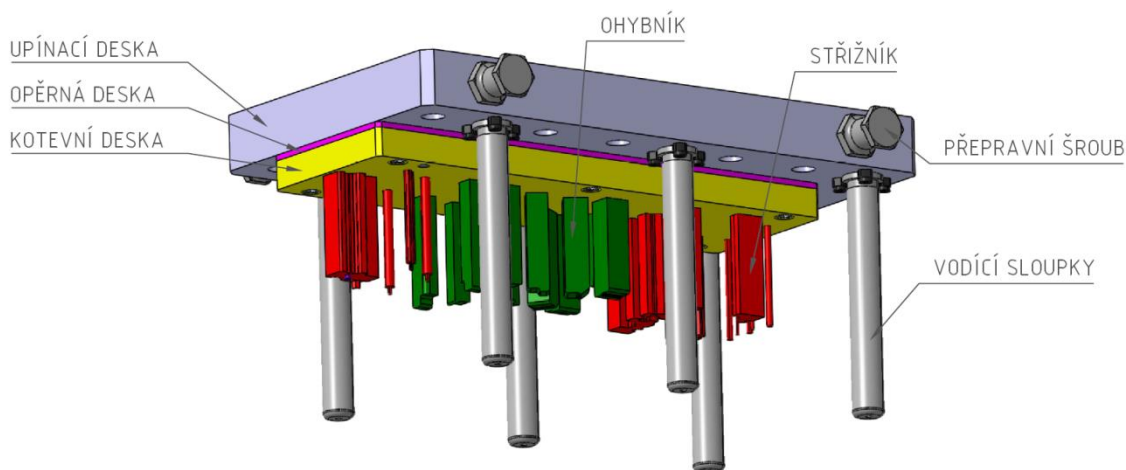


Obr. 65 Vedení pásu plechu

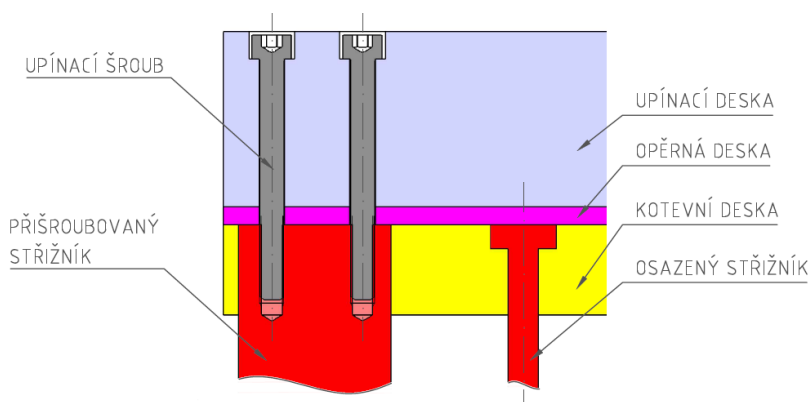


Obr. 66 Odpružení vodící lišty

Základem horní části nástroje je upínací deska, pomocí které je horní polovina upnuta k beranu lisu pomocí upínek. V horní části nástroje (obr. 67) jsou umístěny vodící sloupky, které zajišťují přesné vedení horní části nástroje vůči spodní. Sloupky, na nichž je vedena i plovoucí deska jsou normalizované díly od výrobce Fibro. K základní desce je připevněna deska kotevní, která je podložena opěrnou deskou, ta plní stejně jako ve spodní části nástroje funkci ochrany před otlačením upínací desky střížníky. Kotevní deska zajišťuje uložení funkčních částí nástroje – střížníků a ohybníků, ty jsou upevněny buď pomocí osazení, pokud se jedná o střížníky kruhového tvaru nebo pomocí šroubů (obr. 68). V upínací desce je vytvořeno zahlbounění pro lícované šrouby, které zajišťují vedení pružin plovoucí desky, zabráňují jejich vybočení a zabezpečují jejich předpětí, aby nedocházelo při stlačování k rázům



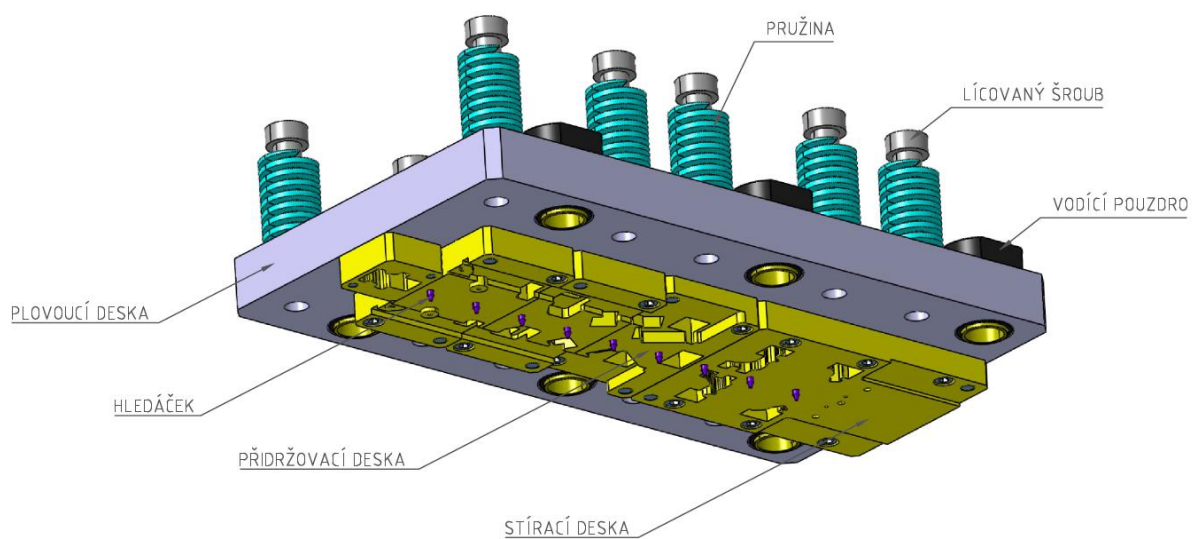
Obr. 67 Horní část nástroje



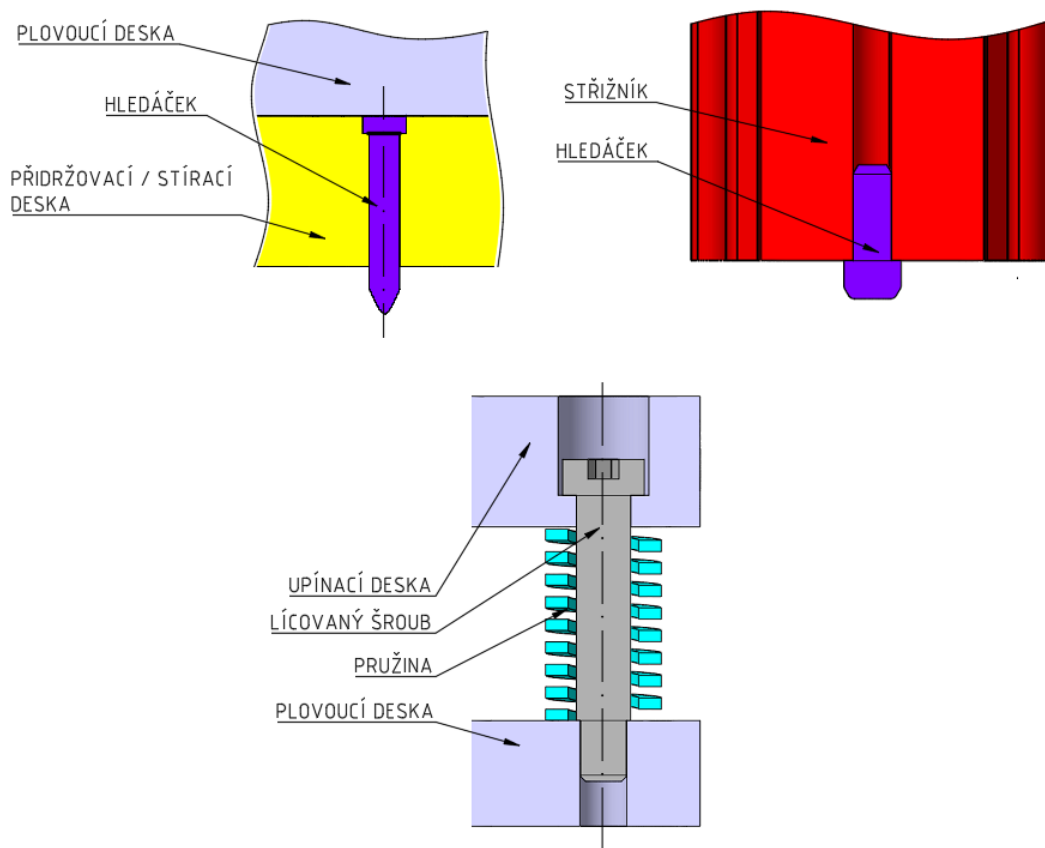
Obr. 68 Upnutí střížníků

Poslední částí nástroje je plovoucí vedení (obr. 69), to plní funkci stěrače, přidržovače a vedení střížníků a ohybníků. Hlavní částí je plovoucí deska, ve které jsou umístěny vodící pouzdra od firmy Fibro zajišťující přesnost vedení, plovoucí deska je odpružena pomocí šroubových tlačných pružin také od výrobce Fibro, ty zajišťují při stlačení sílu sloužící k stírání a přidržování pásu plechu v nástroji. Jednotlivé stírací desky jsou k plovoucí desce upevněny pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a válcovými kolíky. Při pohybu beranu lisu směrem dolů se nejdříve pohybuje celá horní část nástroje až do okamžiku, kdy se stírací desky na plovoucím vedení dotknou pásu plechu, poté začíná docházet ke stlačování pružin a pohybuje se již pouze horní část nástroje, tím dochází k postupnému vysouvání střížníků a ohybníků a k provedení daných tvářecích operací. Po překročení dolní úvratě se horní část nástroje začne zvedat, a dochází k stírání polotovaru ze střížníků pomocí stíracích

desek. V stíracích deskách jsou také umístěny hledáčky (obr. 70) zajišťující přesnou polohu pásu plechu vůči funkčním částem nástroje.

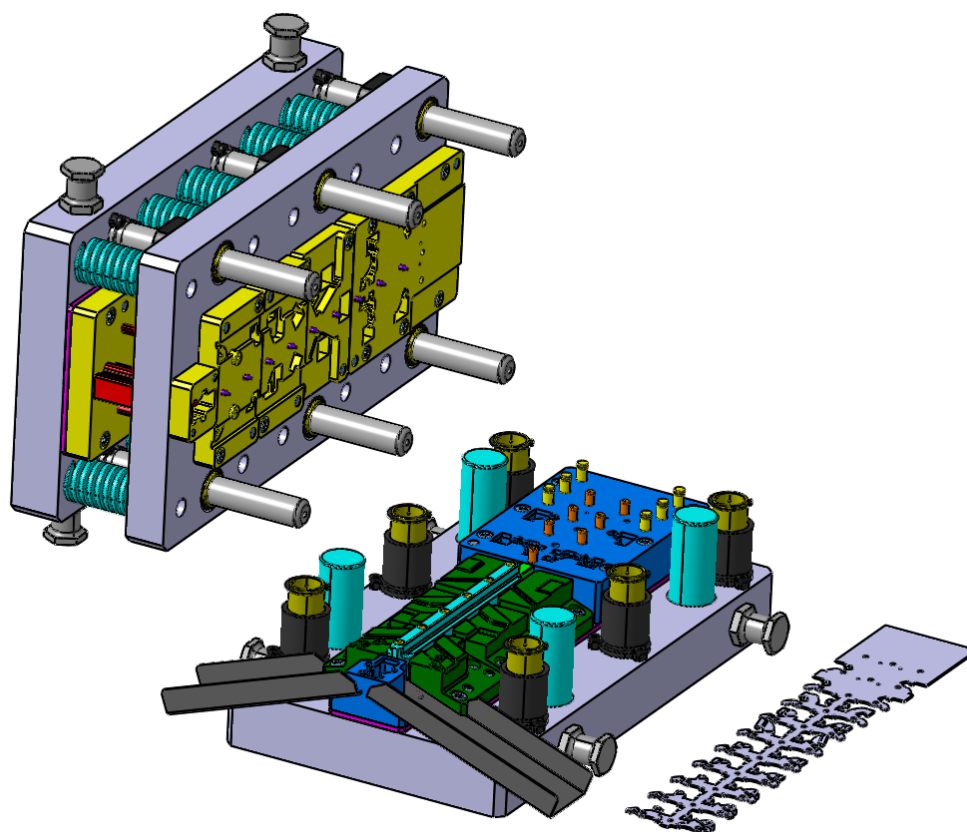


Obr. 69 Plovoucí vedení



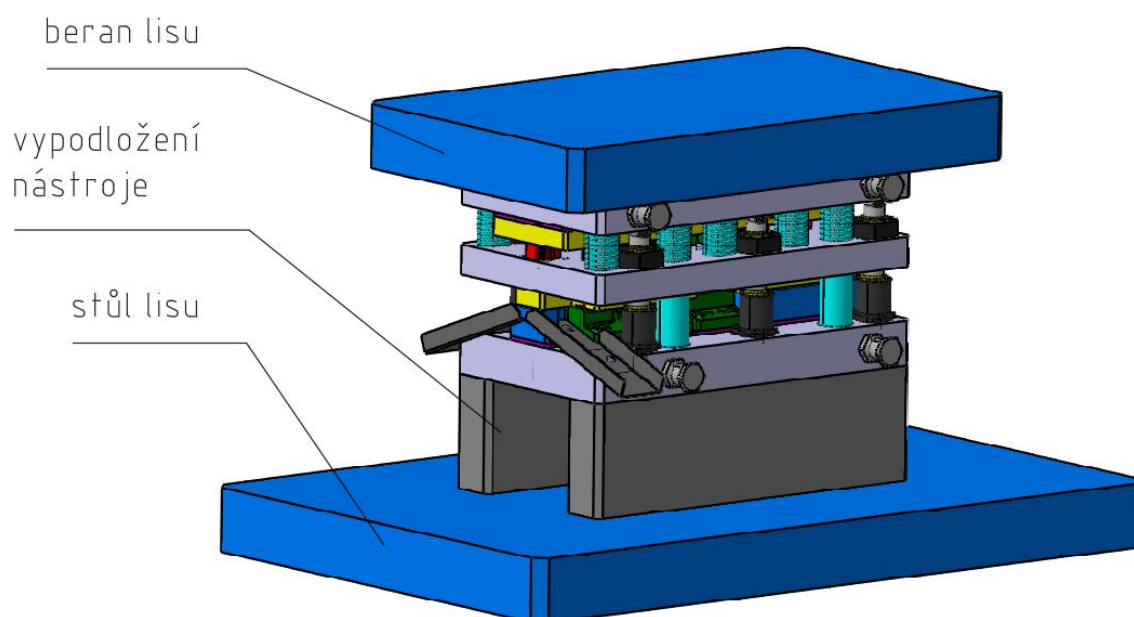
Obr. 70 Připevnění plovoucího vedení a hledáček

Horní i spodní část nástroje, včetně plechu s jednotlivými operacemi lze vidět na obrázku 71.



Obr. 71 Horní a spodní část nástroje

Aby byla dodržena předepsaná výška zdvihu lisu a byl možný odvod odpadu je nutné nástroj vypodložit, viz obr. 72. Distanční desky jsou umístěny tak, ať nedochází ke zaslepení propadových otvorů. Odpad je následně odváděn pomocí skluzu nebo pásového dopravníku.



Obr. 72 Vypodložení nástroje

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro stanovení ceny vyráběné součásti je nutné provést jednotlivé výpočty materiálových, energetických či mzdových nákladů, pomocí kterých je možno stanovit bod zvratu. Pomocí bodu zvratu lze určit dobu po které začne být výroba součásti zisková – jsou zaplacené náklady na výrobu nástroje. Do výpočtů nejsou uvažovány náklady na pořízení lisu, rovnací a podávací linky, jelikož je předpokládáno, že firma je potřebnými stroji vybavena. Výpočet nákladů lze rozdělit do několika skupin:

- Materiálové náklady:

- Hmotnost všech svitků [64]:

$$m_c = m_{sv} \cdot n_{sv} = 1\,559,85 \cdot 12 = 18\,718,2 \text{ kg}, \quad (4.1)$$

kde: m_c - hmotnost všech svitků potřebných pro roční sérii [ks].

- Hmotnost odpadu [64]:

$$\begin{aligned} m_{od} &= m_c \cdot \left(1 - \frac{\eta_{csv}}{100}\right) = 18\,718,2 \cdot \left(1 - \frac{30,09}{100}\right) \\ &= 13\,085,9 \text{ kg} \end{aligned} \quad (4.2)$$

- Pořizovací cena svitků:

$$C_s = C_m \cdot m_c = 45 \cdot 18\,718,2 = 842\,319 \text{ Kč}, \quad (4.3)$$

kde: C_m - pořizovací cena materiálu S355MC, $C_m = 45 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Výkupní cena odpadu:

$$C_{od} = C_{výk} \cdot m_{od} = 4 \cdot 13\,085,9 = 52\,344 \text{ Kč}, \quad (4.4)$$

kde: $C_{výk}$ - výkupní cena za kg odpadu, $C_m = 45 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Celkové náklady na materiál [64]:

$$N_m = C_s - C_{od} = 842\,319 - 52\,344 = 789\,975 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

- Mzdové náklady:

- Počet součástí vyrobených za hodinu – při výpočtu je důležité pamatovat na rozložení dílů na pásu plechu, kdy při jednom zdvihu lisu je vyrobena současně jak levá, tak pravá varianta ovládací páčky:

$$n_{shod} = 2 \cdot 60 \cdot n_z = 2 \cdot 60 \cdot 50 = 6\,000 \text{ ks}, \quad (4.6)$$

kde: n_z - počet zdvihů lisu za minutu, dle parametrů stroje
 $n_z = 50 \text{ min}^{-1}$.

- Počet součástí vyrobených za směnu – výrobní doba v jedné směně je vypočtena ze standardní délky směny 8 hod, která je ponížena o hodnotu přestávky obsluhy stroje 0,5 hod a dále o čas potřebný k seřízení stroje 1 hod:

$$n_{ssm} = n_{shod} \cdot t_v = 6\,000 \cdot 6,5 = 39\,000 \text{ ks}, \quad (4.7)$$

kde: t_v - výrobní doba ve směně, voleno $t_v = 6,5$ hod.

- Potřebný počet směn:

$$n_{sm} = \frac{N}{n_{ssm}} = \frac{400\,000}{39\,000} = 10,25 \text{ směn} \quad (4.8)$$

Je voleno 11 směn

- Potřebný počet hodin – pracovní doba směny je doba odpracovaná dělníkem v jedné směně, jedná se o standardní délku směny 8 hod poníženou o hodnotu přestávky obsluhy 0,5 hod:

$$n_{hod} = n_{sm} \cdot t_s = 11 \cdot 7,5 = 82,5 \text{ hod}, \quad (4.9)$$

kde: t_s - pracovní doba směny, voleno $t_s = 7,5$ hod.

- Mzdové náklady – zahrnují hodinovou mzdu pracovníka obsluhy lisu, ta musí být navýšena o výšku sociálního a zdravotního pojištění (SZP), kdy sociální pojištění představuje 25 % a zdravotní 9 % mzdy:

$$N_{mzdy} = n_{hod} \cdot C_{hod} \cdot SZP = 82,5 \cdot 150 \cdot 1,34 = 16\,583 \text{ Kč}, \quad (4.10)$$

kde: C_{hod} - hodinová mzda pracovníka, voleno $C_{hod} = 150 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$,
 SZP - výše sociálního a zdravotního pojištění, voleno
 SZP = 1,34 [-].

- Výrobní a správní režie [66]:

$$N_{vsr} = N_{mzdy} \cdot (V_r + S_r) = 16\,583 \cdot (3 + 1,1) = 67\,991 \text{ Kč}, \quad (4.11)$$

kde: V_r - výrobní režie, voleno $V_r = 300 \%$,
 S_r - správní režie, voleno $S_r = 110 \%$.

- Náklady na výrobu nástroje – do ceny nástroje se promítá celá řada faktorů, jako je zvolený materiál jednotlivých částí nástroje, jejich tepelné zpracování, pořizovací cena normalizovaných komponent a náklady na montáž a odladění. Určení přesných pořizovacích nákladů je proto velice složité, cena nástroje je vzhledem k tomuto faktu odhadnuta na základě porovnání s podobnými nástroji na částku $N_n = 1\,600\,000 \text{ Kč}$.
- Náklady na povrchovou úpravu pomocí galvanického zinkování:

$$N_{pov} = C_{pov} \cdot m_{páčky} \cdot N = 30 \cdot 0,0135 \cdot 400\,000 = 162\,000 \text{ Kč}, \quad (4.12)$$

kde: C_{pov} - cena povrchové úpravy, voleno $C_{pov} = 30 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$,
 $m_{páčky}$ - hmotnost jedné součásti, změřeno pomocí CAD
 $m_{páčky} = 0,0135 \text{ kg}$.

▪ Náklady na energie:

- Celkový příkon:

$$P_c = P_l + P_{pl} = 23 + 10,2 = 33,2 \text{ kW} , \quad (4.13)$$

kde: P_l - příkon lisu, dle dokumentace $P_l = 23 \text{ kW}$,
 P_{pl} - příkon podávací linky, dle dokumentace $P_{pl} = 10,2 \text{ kW}$.

- Celkové energetické náklady:

$$N_e = n_{hod} \cdot P_c \cdot C_{el} = 82,5 \cdot 33,2 \cdot 6,5 = 17\,804 \text{ Kč} , \quad (4.14)$$

kde: C_{el} - cena za kWh elektřiny, voleno $C_{el} = 6,5 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$.

▪ Náklady na jednu součást:

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{N_m + N_{mzdy} + N_{vsr} + N_e + N_n + N_{pov}}{N} \\ &= \frac{789\,975 + 16\,583 + 67\,991 + 17\,804 + 1\,600\,000 + 162\,000}{400\,000} \\ &= 6,64 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.15)$$

▪ Tržby a zisky:

- Cena součásti:

$$C_s = N_s \cdot k_{zisk} = 6,64 \cdot 2 = 13,3 \text{ Kč} , \quad (4.16)$$

kde: k_{zisk} - koeficient ziskovosti, voleno $k_{zisk} = 2 [-]$.

- Celkové tržby:

$$T = N \cdot C_s = 400\,000 \cdot 13,3 = 5\,320\,000 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

- Celkový zisk:

$$\begin{aligned} Z &= T - (N_m + N_{mzdy} + N_{vsr} + N_e + N_n + N_{pov}) \\ &= 5\,320\,000 - (789\,975 + 13\,568 + 55\,629 + 14\,567 \\ &\quad + 1\,600\,000 + 162\,000) = 2\,684\,261 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.18)$$

▪ Výpočet bodu zvratu:

- Variabilní náklady:

$$\begin{aligned} N_v &= N_m + N_{mzdy} + N_{vsr} + N_e + N_{pov} \\ &= 789\,975 + 16\,583 + 67\,991 + 17\,804 + 162\,000 \\ &= 1\,054\,353 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.19)$$

- Variabilní náklady na jednu součást [64]:

$$N_{vs} = \frac{N_v}{N} = \frac{1\,054\,353}{400\,000} = 2,635 \text{ Kč} \quad (4.20)$$

- Fixní náklady [65]:

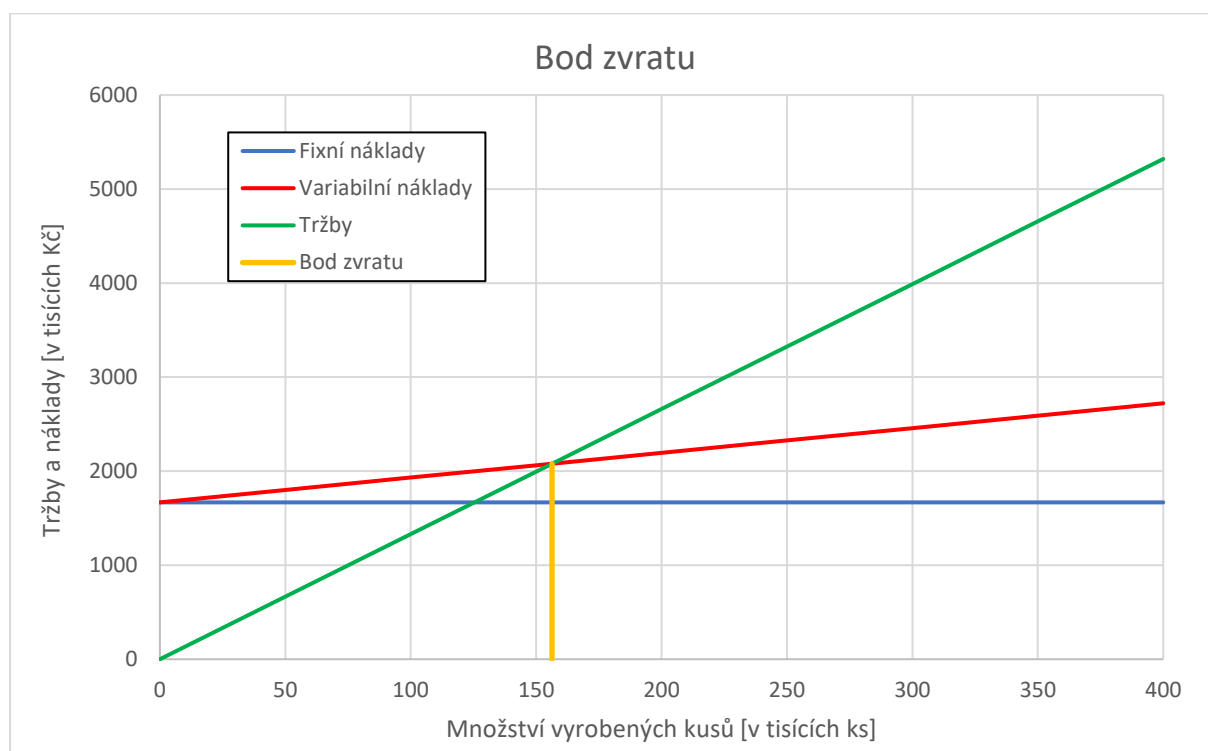
$$N_f = N_n + N_{vsr} = 1\,600\,000 + 67\,991 = 1\,667\,991 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

- Bod zvratu [65]:

$$B_z = \frac{N_f}{C_s - N_{vs}} = \frac{1\,667\,991}{13,3 - 2,635} = 156\,398,6 \text{ Ks} \quad (4.22)$$

Je voleno 156 399 Ks

Výroba součásti se stane ziskovou po vyrobení 156 399 kusů páčky, viz obr. 73.



Obr. 73 Schématické znázornění bodu zvratu

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá výrobou ovládací páčky z plechu, která slouží jako jeden z členů otevíracího mechanismu automobilového zámku stranových dveří. Páčka je vyráběna z materiálu S355MC, kdy zvoleným polotovarem je svitek plechu o tloušťce 2 mm. Plánovaná roční produkce dílu je $400\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$, z toho 200 000 levé varianty a 200 000 pravé varianty.

Ze všech možných technologických variant výroby byla zvolena výroba součásti pomocí postupového sdruženého nástroje, jedná se o vysoce produktivní metodu výroby dílců z plechu. Nástroj sdružuje technologii stříhání a ohýbání, díky tomu není potřeba vyrábět dva nástroje, ale pouze jeden, na tyto dvě technologie tváření je zaměřena teoretická část práce. Součást po vyrobení bude povrchově ošetřena pomocí galvanického zinkování.

Po zhodnocení technologičnosti součásti byl určen rozvinutý tvar součásti a uspořádání dílců na pás plechu, uspořádání je voleno zrcadlově dvouřadé, toto rozmístění dílců umožňuje výrobu pravé i levé varianty na jeden zdvih lisu. Vypočtená šířka pásu plechu je $115 \pm 0,1 \text{ mm}$. Následně bylo vypočteno využití materiálu pro různé rozměry sviteků, jako nejvhodnější varianta byl určen svitek o vnějším průměru 1400 mm, využití materiálu dosahuje 30,09 %. Pro zhotovení požadovaných 400 000 kusů páček je potřeba 16 sviteků plechu. Součást bude v nástroji zhotovena na deset kroků, první tři kroky zastávají střížné operace, následuje pět ohybových operací, poslední dvě operace jsou určeny pro děrování funkčních otvorů a odstřižení součástí od pásu plechu.

Následovaly kontrolní a technologické výpočty, které jsou zásadní pro správný návrh tvářecího nástroje. Potřebná tvářecí síla pro zhotovení výrobku byla vypočtena 1 274 kN a tvářecí práce 2 350 J, bylo vypočteno také působíště střížné síly. Na základě výsledků byl zvolen lis od firmy Šmeral S 160, ten dokáže vyvinout jmenovitou sílu 1 600 kN, která naprosto dostačuje pro výrobu součástí. Lis je dále doplněn podávací a rovnací linkou ARPL RAL 250 od firmy Attl a spol s.r.o. Továrna na stroje.

Pro konstrukci sdruženého nástroje bylo využito CAD softwaru Catia V5. Nástroj je konstruován s funkcí přizvedávání pásu a také je vybaven plovoucím vedením. Vedení pásu plechu je v první části nástroje zajišťováno pomocí vodících čepů s nákrůžkem, v druhé části je pás veden pomocí vodící lišty. Pro konstrukci nástroje bylo využito normalizovaných dílů od firem Fibro a Meusburger.

Poslední část práce se zabývá technicko-ekonomickým zhodnocením, pořizovací cena nástroje byla určena na 1 600 000 Kč a náklady na výrobu jednoho kusu páčky činí 6,64 Kč. Výsledná cena dílce s marží byla stanovena na 13,3 Kč, zisk roční série dosahuje 2 684 261 Kč, výroba začne být zisková po vyrobení 156 339 kusů. Po vyhodnocení všech dílčích výsledků. lze říct, že zvolená technologie výroby je vyhovující.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
2. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
3. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
4. Technologie tváření kovů. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm#011
5. Strojírenství. Informační systém *Infoabsolvent* [online]. [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://www.infoabsolvent.cz/Obory/KartaOboru/2341M01>
6. Small Bending Sheet Metal Support. Sheet Metal Custom [online]. China - Dongguan: Shangen [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.sheetmetalcustom.com/uploads/202024783/small-bending-sheet-metal-support47432904639.jpg>
7. Sheet Metal Stamped Parts [online]. India - Uttar Pradesh: Indiamart [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://4.imimg.com/data4/HX/KK/MY-13569386/sheet-metal-stamped-parts-500x500.jpg>
8. ČSN EN 10149-1: Ploché výrobky válcované za tepla z ocelí s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena - Část 1: Obecné technické dodací podmínky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
9. Galvanické zinkování. *Massag* [online]. Bílovec [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://massag.com/produkty/povrchove-upravy/galvanicke-zinkovani>
10. Galvanické zinkování. *Galvena* [online]. Otrokovice [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.galvena.cz/galvanicke-zinkovani>
11. Galvanické zinkování. *Ostroj* [online]. Opava [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/galvanicke-zinkovani>
12. Galvanické zinkování. *Galvan* [online]. Ostrava [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://galvan.cz/galvanicke-zinkovani/>
13. *Povrcháři* [online]. In: . Praha: Povrcháři, 2017, s. 27 [cit. 2021-8-4]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201705_povrchari.pdf
14. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
15. HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie I*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-808-6960-265.
16. Pálení plazmou. *Honkys: CNC Thermal Cutting Machines - EXPORT* [online]. Praha: Honkys, 2018 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.honkys-export.cz/nekolik-slov-k-plazmovemu-rezani-neboli-paleni-plazmou-a-15-ag-5/>
17. Jak funguje plazmová řezačka a co je dobré vědět před nákupem. *Alfin-Trading* [online]. Náměšť nad Oslavou: Alfin-Trading, 2019 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.alfin-trading.cz/jak-funguje-plazmova-rezacka-a-co-je-dobre-vedet-pred-nakupem>

-
18. Pálení a řezání plazmou. *MSC: MetPro a.s.* [online]. Praha: MetPro [cit. 2021-8-4].
Dostupné z: <http://www.mscometpro.cz/clanky/paleni-a-rezani-plazmou>
 19. Plazma a nové materiály. *Katedra fyzikální elektroniky* [online].
Praha: ČVUT – Katedra fyziky, 1997 [cit. 2021-8-4].
Dostupné z: <http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbc/plazma/plazma.htm>
 20. Nekonenční metody obrábění – 8. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online].
Praha: MM Průmyslové spektrum, 2008 [cit. 2021-8-4].
Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvenční-metody-obrabeni-8-díl>
 21. Odlévání soch. *Jindřich Mynářik* [online]. [cit. 2021-8-4].
Dostupné z: <https://mynarik.files.wordpress.com/2012/08/slevarna136.jpg>
 22. Laserové řezání: volba a vlastnosti asistenčních plynů. *Technický týdeník* [online].
Praha: Technický týdeník, 2014 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z:
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/laserove-rezani-volba-a-vlastnosti-asistencnich-plynu_28272.html
 23. OSIČKA, Karel a Milan KALIVODA. *Nekonenční technologie obrábění*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství, 2012.
 24. Řezání laserem. *Atrima* [online]. Šakvice: Atrima [cit. 2021-8-4].
Dostupné z: <https://www.atrima.cz/wp-content/uploads/2017/11/Laser-800x390.jpg>
 25. Řezání – vodní paprsek. *LIKO-S industry* [online]. Slavkov u Brna: LIKO-S
[cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.liko-welding.cz/files/92ae8fcc234191d0dc70bc7e3f9c654b.jpg>
 26. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
 27. BAREŠ, Karel et al. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s. ISBN 04-234-71.
 28. Technologie plošného tváření - stříhání. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online].
Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-8-5].
Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
 29. Mtx flex 6: 1250/30 - 2250. In: *EUROMAC* [online]. Formigine: EUROMAC, 2015, s. 19
[cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.sp-tech.cz/static/soubory/stranka-91/mtx-flex-6-84.pdf>
 30. Postupové sdružené nástroje. *FaM Tools: Konstrukční kancelář* [online]. Brno: FaM
Tools [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy#>
 31. *ASM-Metals Handbook: Formig and Forging*. Vol.14. USA ASM International, 2004.
S.978. ISBN 0-87170-020-4.
 32. LANGE, Kurt. *Handbook of metal forming*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing
Engineers, 1995. ISBN 0-87263-457-4.
 33. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd.
Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
 34. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové
tváření*. 2. vydání. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
-

-
35. LIDMILA, Zdeněk. *Přednášky HH2*. Brno: VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství – Ústav strojírenské technologie, 2020.
 36. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střižné vřetelky: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
 37. POČTA, Bohumil. *Základy teorie tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1966.
 38. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 39. KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena*. Dotisk. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1978, 158 s.
 40. BOBČÍK, Ladislav. *Střižné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
 41. DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Lisování kovů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960. Kurs technických znalostí.
 42. 415-06-205. *Směrnice pro stanovení šířky odpadu*. Brno: Zbrojovka Brno, 1981.
 43. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
 44. MARCINIAK, Z, J.L DUNCAN a S.J HU. *Mechanics of sheet metal forming*. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002, 211 s. ISBN 0-7506-5300-0.
 45. Technologie plošného tváření - ohýbání. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
 46. PECINOVÁ, Hana Elisabetha. *Výroba držáku televizoru sdruženým nástrojem*. Brno, 2017. 61s, 11 výkresů, 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.
 47. ČSN 22 7340: *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1991.
 48. Ohýbání. *Studijní materiály nejen do strojírenství* [online]. [cit. 2021-8-11]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.com/2011/03/3852-ohybani.html>
 49. LIDMILA, Zdeněk. *Přednášky HTN*. Brno: VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství – Ústav strojírenské technologie, 2021.
 50. RUBÁŠ, Petr. *Výroba krycího plechu zámku*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116701>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.
 51. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. Second edition. New York: McGraw-Hill, [2006]. McGraw-Hill handbooks. ISBN 0-07-146271-6.
 52. HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie I*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
 53. MRŇÁK, Ladislav a Alexander DRDLA. *Mechanika: Pružnost pevnost*. 3. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980.
-

-
54. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. Praha: Bratislava: SNTL ; ALFA, 1979, 407 s.
55. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3. dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 551 s. 04-211-80.
56. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: část tvářecí stroje* [online]. In: . Brno: VUT Brno - Fakulta strojního inženýrství, 2002, s. 122 [cit. 2021-8-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
57. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. In: . Praha: ČVUT v Praze, 2007, s. 87 [cit. 2021-8-13]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
58. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I.* [online]. Brno: VUT - Fakulta strojního inženýrství, 2002 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_forejt.pdf
59. 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.
60. MELICHAR, Ivo. *Výroba nosného ramene*. Brno, 2018. 46 s, 5 výkresů, 17 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
61. ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance. Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.
62. Šmeral - S 160: Výstředníkové lisy. ŠMERAL [online]. Brno: ŠMERAL [cit. 2021-10-8]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/44/s-160>
63. Linky na rovnání pásů ze svitků. ATTL: *Továrna na stroje* [online]. Praha: ATTL [cit. 2021-10-8]. Dostupné z: https://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf
64. 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.
65. MELICHAR, Ivo. *Výroba nosného ramene*. Brno, 2018. 46 s, 5 výkresů, 17 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
66. PECINOVÁ, Hana Elisabetha. *Výroba držáku televizoru sdruženým nástrojem*. Brno, 2017. 61s, 11 výkresů, 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.
67. Normálie – Katalog 03/22. In: *FIBRO* [online]. Hassmersheim: Fibro, 2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/
-

68. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
A _{co}	celková ohybová práce	[J]
A _{cs}	celková střižná práce	[J]
A _{eD}	rozměr střižnice při děrování	[mm]
A _{eV}	rozměr střižnice při vystřihování	[mm]
A _j	jmenovitý rozměr výstřižku	[mm]
A _{kD}	rozměr střižníku při děrování	[mm]
A _{kV}	rozměr střižníku při vystřihování	[mm]
A _o	ohybová práce	[J]
A _{pruž}	práce pro stlačení pružin	[J]
A _s	střižná práce	[J]
A _{tv}	celková tvářecí práce	[J]
A _U	ohybová práce do tvaru U	[J]
A _V	ohybová práce do tvaru V	[J]
B _z	bod zvratu	[Ks]
b	šířka pásu plechu	[mm]
b _o	šířka ohybu	[mm]
C _{el}	cena za kwh elektřiny	[Kč·kWh ⁻¹]
C _{hod}	hodinová mzda pracovníka	[Kč·hod ⁻¹]
C _{od}	výkupní cena odpadu	[Kč]
C _{pov}	cena povrchové úpravy	[Kč·kg ⁻¹]
C _s	pořizovací cena svitků	[Kč]
C _{sou}	cena součásti	[Kč]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
c _o	materiálová konstanta	[-]
c _s	součinitel vyjadřující vliv tření	[-]
D _{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
d _{střiž}	průměr těla střižníku	[mm]
d _{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	šířka můstku	[mm]
F _{co}	celková ohybová síla	[N]
F _{cs}	celková střižná síla	[N]
F _{kal}	kalibrační síla	[N]
F _{krit}	kritická vzpěrná síla	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]
F _{pr}	protlačovací síla	[N]
F _{pruž}	celková síla potřebná ke stlačení pružin	[N]
F _{prvd}	síla potřebná ke stlačení pružin na vodící desce	[N]
F _{prvk}	síla potřebná ke stlačení pružin vodících kolíků	[N]
F _{prvl}	síla potřebná ke stlačení pružin vodící desky	[N]
F _{prvy}	síla potřebná ke stlačení pružin vyhazovačů	[N]
F _s	střižná síla	[N]
F _{st}	stírací síla	[N]
F _{tv}	celková tvářecí síla	[N]
F _U	ohybová síla do tvaru U	[N]

F_V	ohybová síla do tvaru v	[N]
F_{xi}	síla v dané operaci ve směru osy x	[N]
F_{yi}	síla v dané operaci ve směru osy y	[N]
f	šířka okraje	[mm]
H	teoretická výška střižnice	[mm]
$h_{pruž}$	zdvih pružin	[mm]
h_U	výška pracovního zdvihu při ohybu do tvaru u	[mm]
h_V	výška pracovního zdvihu při ohybu do tvaru v	[mm]
I	minimální kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
JR	jmenovitý rozměr součásti	[mm]
k	délka kroku	[mm]
k_o	součinitel určující polohu neutrální osy	[-]
k_{ot}	koeficient otupení nástroje	[-]
k_{pr}	koeficient protlačování	[-]
k_{st}	koeficient stírání	[-]
k_{zisk}	koeficient ziskovosti	[-]
L	celková délka polotovaru	[mm]
L_{sv}	délka svitku	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
l_i	délka rovných úseků	[mm]
l_k	maximální volná délka střižníku	[mm]
l_{max}	maximální délka střižníku	[mm]
l_o	délka oblouku	[mm]
l_{red}	redukovaná délka střižníku	[mm]
l_s	délka součásti	[mm]
l_U	rameno ohybu při ohýbání do tvaru „u“	[mm]
l_V	vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
m_c	hmotnost všech svitků potřebných pro roční sérii	[kg]
m_{od}	hmotnost odpadu	[kg]
$m_{páčky}$	hmotnost jedné součásti	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
N	roční série	[ks·rok ⁻¹]
N_e	náklady na energii	[Kč]
N_f	fixní náklady	[Kč]
N_m	náklady na materiál	[Kč]
N_{mzdy}	mzdové náklady	[Kč]
N_n	pořizovací náklady na nástroj	[Kč]
N_{pov}	náklady na povrchovou úpravu	[Kč]
N_s	výrobní náklady na jednu součást	[Kč]
N_v	variabilní náklady	[Kč]
N_{vs}	variabilní náklady na jednu součást	[Kč]
N_{vsr}	výrobní a správní režie	[Kč]
n	součinitel bezpečnosti	[-]
n_{hod}	potřebný počet hodin pro výrobu zadané série	[hod]
n_{shod}	počet součástí vyrobených za hodinu	[ks]
n_{sm}	potřebný počet směn	[-]
n_{ssm}	počet součástí vyrobených za směnu	[ks]
n_{sv}	potřebný počet svitků pro zadanou sérii	[ks]
n_v	počet výstřižků	[ks]
n_{vsv}	počet výstřižků ze svitku, pouze jedné stranové varianty	[ks]

n_z	počet zdvihů lisu za minutu	$[\text{min}^{-1}]$
P_c	celkový příkon	$[\text{kW}]$
P_l	příkon lisu	$[\text{kW}]$
P_{pl}	příkon podávací linky	$[\text{kW}]$
p	přípustná míra opotřebení	$[\text{mm}]$
p_t	technologický přídavek	$[\text{mm}]$
RAD	rozměr střížníku při děrování	$[\text{mm}]$
R_e	mez kluzu materiálu	$[\text{MPa}]$
RED	rozměr střížnice při děrování	$[\text{mm}]$
R_{eH}	horní mez kluzu materiálu	$[\text{MPa}]$
R_m	mez pevnosti v tahu	$[\text{MPa}]$
R_{max}	maximální poloměr ohybu	$[\text{mm}]$
R_{min}	minimální hodnota poloměru ohybu	$[\text{mm}]$
R_o	poloměr ohybu	$[\text{mm}]$
r_m	poloměr zaoblení pracovních hran ohybnice	$[\text{mm}]$
S_D	dosedací plocha	$[\text{mm}^2]$
S_p	plocha polotovaru	$[\text{mm}^2]$
S_r	správné režie	$[\%]$
S_s	střížná plocha	$[\text{mm}^2]$
S_{sv}	plocha svitku	$[\text{mm}^2]$
S_v	plocha výstřižku	$[\text{mm}^2]$
SZP	výše sociálního a zdravotního pojištění	$[-]$
s	tloušťka plechu	$[\text{mm}]$
$\bar{s}$	šířka součásti	$[\text{mm}]$
T	celkové tržby	$[\text{Kč}]$
TA	výrobní tolerance střížníku	$[\text{mm}]$
TE	výrobní tolerance střížnice	$[\text{mm}]$
t_s	pracovní doba směny	$[\text{hod}]$
t_v	výrobní doba ve směně	$[\text{hod}]$
V_r	výrobní režie	$[\%]$
v	střížná vůle	$[\text{mm}]$
v_o	ohybová vůle při ohybu do tvaru u	$[\text{mm}]$
X	vzdálenost těžiště ve směru osy x od počátku souř. systému	$[\text{mm}]$
x	součinitel posunutí neutrální vrstvy	$[\text{mm}]$
x_i	vzdálenost působíště síly v dané operaci ve směru osy x	$[\text{mm}]$
Y	vzdálenost těžiště ve směru osy y od počátku souř. systému	$[\text{mm}]$
y_i	vzdálenost působíště síly v dané operaci ve směru osy y	$[\text{mm}]$
z	střížná mezera	$[\text{mm}]$
Z	celkový zisk	$[\text{Kč}]$
α	úhel ohnutého úseku	$[\circ]$
β	úhel odpružení	$[\circ]$
Δ	tolerance výstřižku	$[\text{mm}]$
δ_e	výrobní tolerance střížnice	$[\text{mm}]$
δ_k	výrobní tolerance střížníku	$[\text{mm}]$
ε_c	mezní prodloužení	$[-]$
η	využití materiálu	$[\%]$
σ_s	napětí na dosedací ploše	$[\text{MPa}]$
σ_D	dovolené napětí na dosedací ploše	$[\text{MPa}]$
σ_K	napětí na mezi kluzu	$[\text{MPa}]$

σ_{krit}	kritické napětí na mezi vzpěrné pevnosti	[MPa]
η_{csv}	využití všech svitků	[%]
η_{sv}	využití jednoho svitku	[%]
λ	součinitel plnosti	[-]
μ	součinitel tření	[-]
μ_l	součinitel vzpěrné délky	[-]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_{ocel}	hustota oceli	[kg·mm ⁻³]
λ_p	štíhlost prutu	[-]
λ_m	mezní štíhlost prutu	[-]
τ_s	napětí ve stříhu	[MPa]
ψ	součinitel plnosti	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	FIBRO – Speciální šroubové tlačné pružiny, identifikační barva “červená”
Příloha 2	FIBRO – Tlačné šroubové pružiny s kruhovým průřezem drátu
Příloha 3	FIBRO – Speciální šroubové tlačné pružiny, identifikační barva “zelená”
Příloha 4	Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel
Příloha 5	Rovnací a podávací linky ARPL

Seznam výkresů

Otevírací páčka; 2022-DP-200005-PÁČKA

Sdružený nástroj; 2022-DP-200005-SN

Sdružený nástroj - kusovník; 2022-DP-200005-SN-K

Horní část nástroje; 2022-DP-200005-HC

Horní část nástroje - kusovník; 2022-DP-200005-HC-K

Spodní část nástroje; 2022-DP-200005-SC

Spodní část nástroje - kusovník; 2022-DP-200005-SC-K

Střížnice - 2; 2022-DP-200005-STŘIŽNICE-2

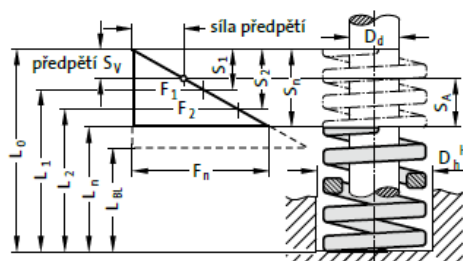
Střížník - rozstříhovací; 2022-DP-200005-STŘIŽNÍK-ROZSTŘIHOVACÍ

Střížník – 6 mm; 2022-DP-200005-STŘIŽNÍK-6mm

Ohybnice - vedení; 2022-DP-200005-OHYBNICE-VEDENÍ

Ohybník - vedení; 2022-DP-200005-OHYBNÍK-VEDENÍ

SPECIÁLNÍ ŠROUBOVÁ TLAČNÁ PRUŽINA, LF, IDENTIFIKAČNÍ BARVA "ČERVENÁ", DIN ISO 10243



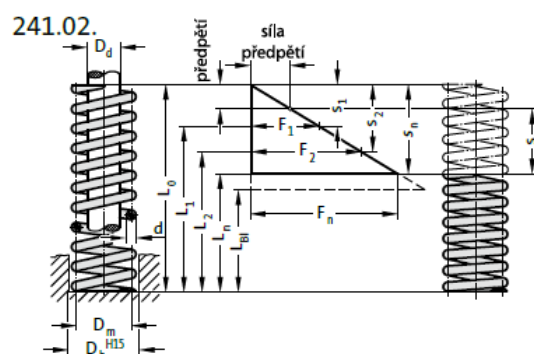
- D_h = průměr otvoru
 D_d = průměr trnu
 L_0 = délka nezatížené pružiny
 $L_1 \dots L_n$ = délky zatížené pružiny, přiřazené síle pružiny $F_1 \dots F_n$
 L_{80} = délka 100 % stlačené pružiny
 $F_1 \dots F_n$ = síla pružiny v N přiřazené k délkám pružiny $L_1 \dots L_n$
 $S_{V1} \dots S_{V7}$ = min. předpětí pružiny přiřazené k délce pružiny $S_1 \dots S_7$
 $S_1 \dots S_n$ = zdvihy pružiny přiřazené k síle pružiny $F_1 \dots F_n$
 R = tuhost pružiny v N/mm
 $S_{A1} \dots S_{A7}$ = pracovní zdvihy pružiny



241.16. Speciální šroubová tlačná pružina, LF, Identifikační barva "červená", DIN ISO 10243

Objednací číslo	D_h	D_d	L_0	R	S_1	S_{V1}	S_{A1}	F_1	62% S_2	S_{V2}	S_{A2}	F_2	80% S_3	S_{V3}	S_{A3}	F_3	S_n	F_n
241.16.32.038	32	16	38	388	6,4	1,9	4,6	2497	8,9	4,3	4,6	3440	11,4	8,3	3,1	4439	14,3	5548
241.16.32.044	32	16	44	324	7,4	2,1	5,3	2406	10,2	5	5,3	3315	13,2	9,6	3,6	4277	16,5	5346
241.16.32.051	32	16	51	272	8,6	2,5	6,1	2338	11,8	5,7	6,1	3221	15,3	11,1	4,2	4156	19,1	5195
241.16.32.064	32	16	64	212	10,8	3,1	7,7	2290	14,9	7,2	7,7	3155	19,2	13,9	5,3	4070	24	5088
241.16.32.076	32	16	76	172	12,8	3,7	9,1	2206	17,7	8,6	9,1	3039	22,8	16,5	6,3	3922	28,5	4902
241.16.32.089	32	16	89	141	15	4,3	10,7	2119	20,7	10	10,7	2920	26,7	19,4	7,3	3768	33,4	4709
241.16.32.102	32	16	102	122	17,2	5	12,3	2103	23,7	11,5	12,3	2897	30,6	22,2	8,4	3738	38,3	4673
241.16.32.115	32	16	115	107	19,4	5,6	13,8	2075	26,7	12,9	13,8	2859	34,5	25	9,5	3689	43,1	4612
241.16.32.127	32	16	127	93	21,4	6,2	15,2	1992	29,5	14,3	15,2	2745	38,1	27,6	10,5	3541	47,6	4427
241.16.32.139	32	16	139	86	23,4	6,8	16,7	2016	32,3	15,6	16,7	2778	41,7	30,2	11,5	3584	52,1	4481
241.16.32.152	32	16	152	78	25,6	7,4	18,2	2001	35,3	17,1	18,2	2757	45,6	33,1	12,5	3557	57	4446
241.16.32.178	32	16	178	67,2	30,1	8,7	21,4	2020	41,4	20	21,4	2783	53,4	38,7	14,7	3591	66,8	4489
241.16.32.203	32	16	203	59,1	34,2	9,9	24,4	2024	47,2	22,8	24,4	2788	60,9	44,1	16,7	3598	76,1	4498
241.16.32.254	32	16	254	46,6	42,9	12,4	30,5	1998	59,1	28,6	30,5	2753	76,2	55,3	21	3553	95,3	4441
241.16.32.305	32	16	305	38	51,5	14,9	36,6	1956	70,9	34,3	36,6	2695	91,5	66,4	25,2	3478	114,4	4347
241.16.40.051	40	20	51	350	8,6	2,5	6,1	3008	11,8	5,7	6,1	4145	15,3	11,1	4,2	5348	19,1	6685
241.16.40.064	40	20	64	269	10,8	3,1	7,7	2905	14,9	7,2	7,7	4003	19,2	13,9	5,3	5165	24	6456
241.16.40.076	40	20	76	219	12,8	3,7	9,1	2809	17,7	8,6	9,1	3870	22,8	16,5	6,3	4993	28,5	6242
241.16.40.089	40	20	89	190	15	4,3	10,7	2856	20,7	10	10,7	3935	26,7	19,4	7,3	5077	33,4	6346
241.16.40.102	40	20	102	163	17,2	5	12,3	2809	23,7	11,5	12,3	3871	30,6	22,2	8,4	4994	38,3	6243
241.16.40.115	40	20	115	142	19,4	5,6	13,8	2754	26,7	12,9	13,8	3795	34,5	25	9,5	4896	43,1	6120
241.16.40.127	40	20	127	128	21,4	6,2	15,2	2742	29,5	14,3	15,2	3778	38,1	27,6	10,5	4874	47,6	6093
241.16.40.139	40	20	139	115	23,4	6,8	16,7	2696	32,3	15,6	16,7	3715	41,7	30,2	11,5	4793	52,1	5992
241.16.40.152	40	20	152	105	25,6	7,4	18,2	2693	35,3	17,1	18,2	3711	45,6	33,1	12,5	4788	57	5985
241.16.40.178	40	20	178	89	30,1	8,7	21,4	2675	41,4	20	21,4	3686	53,4	38,7	14,7	4756	66,8	5945
241.16.40.203	40	20	203	77	34,2	9,9	24,4	2637	47,2	22,8	24,4	3633	60,9	44,1	16,7	4688	76,1	5860
241.16.40.254	40	20	254	61	42,9	12,4	30,5	2616	59,1	28,6	30,5	3604	76,2	55,3	21	4651	95,3	5813
241.16.40.305	40	20	305	51	51,5	14,9	36,6	2625	70,9	34,3	36,6	3617	91,5	66,4	25,2	4668	114,4	5834
241.16.50.064	50	25	64	413	10,8	3,1	7,7	4460	14,9	7,2	7,7	6145	19,2	13,9	5,3	7930	24	9912
241.16.50.076	50	25	76	339	12,8	3,7	9,1	4348	17,7	8,6	9,1	5990	22,8	16,5	6,3	7729	28,5	9662
241.16.50.089	50	25	89	288	15	4,3	10,7	4329	20,7	10	10,7	5964	26,7	19,4	7,3	7695	33,4	9619
241.16.50.102	50	25	102	245	17,2	5	12,3	4223	23,7	11,5	12,3	5818	30,6	22,2	8,4	7507	38,3	9384
241.16.50.115	50	25	115	215	19,4	5,6	13,8	4170	26,7	12,9	13,8	5745	34,5	25	9,5	7413	43,1	9266
241.16.50.127	50	25	127	192	21,4	6,2	15,2	4113	29,5	14,3	15,2	5666	38,1	27,6	10,5	7311	47,6	9139
241.16.50.139	50	25	139	168	23,4	6,8	16,7	3939	32,3	15,6	16,7	5427	41,7	30,2	11,5	7002	52,1	8753
241.16.50.152	50	25	152	154	25,6	7,4	18,2	3950	35,3	17,1	18,2	5442	45,6	33,1	12,5	7022	57	8778
241.16.50.178	50	25	178	134	30,1	8,7	21,4	4028	41,4	20	21,4	5550	53,4	38,7	14,7	7161	66,8	8951
241.16.50.203	50	25	203	117	34,2	9,9	24,4	4007	47,2	22,8	24,4	5520	60,9	44,1	16,7	7123	76,1	8904
241.16.50.254	50	25	254	89	42,9	12,4	30,5	3817	59,1	28,6	30,5	5259	76,2	55,3	21	6785	95,3	8482

TLAČNÁ ŠROUBOVÁ PRUŽINA S KRUHOVÝM PRŮŘEZEM DRÁTU

**Materiál:**

Patentovaná tažená pružinový drát třídy C dle DIN 17223 Bl. 1.

Pro velmi namáhané pružiny, také pro vibrační namáhání.

Provedení:

Výrobní tolerance dle DIN 2095, jakostní stupeň 2, stanovené, povrch je "pískován" ocelovými broky, olejovaný.

Koncové závitů jsou přilehlé a broušené

Upozornění:

max. provozní teplota 100 °C.

Všechny rozměry jsou k dostání také v jedné plynulé délce 500 mm k vlastnímu odříznutí na délku. V tom případě se objedná č. doplní údajem '500' (např. 241.02.11.040.500).

D_h = průměr otvoru

D_m = střední průměr závitů

D_d = průměr trnu

d = průměr drátu

L_0 = délka nezatížené pružiny

$L_1...L_n$ = délky zatížené pružiny v mm, přiřazené síle pružiny $F_1...F_n$

R = tuhost pružiny [N/mm]

$L_{0.1}$ = délka 100 % stlačené pružiny

$F_1...F_n$ = síla pružiny [N], přiřazené k délkám pružiny $L_1...L_n$

$s_1...s_n$ = zdvihy pružiny v mm, přiřazené k síle pružiny $F_1...F_n$

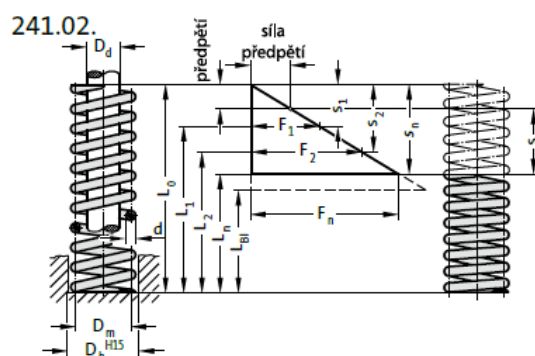
i_l = počet závitů

s = pracovní zdvih (zdvih) = rozdíl dvou zdvihů pružiny resp. délek pružiny v mm

241.02. Tlačná šroubová pružina s kruhovým průřezem drátu

Objednací číslo	D_h	D_d	D_m	d	L_0	R	s_1	F_1 [N]*	i_l	s_2	F_2 [N]**	i_2	s_n	F_n [N]***	L_n	i_l
241.02.11.040	11	6,5	8,5	1,5	40	8,08	11,3	91	28,7	13,7	110	26,3	16,1	130	23,9	10,5
241.02.13.055	13	8,5	10,5	1,5	55	3,8	20,8	79	34,2	25,2	95	29,8	29,7	112	25,3	12
241.02.15.040	15	9,5	12	2	40	11,93	12,3	146	27,7	15	178	25	17,6	210	22,4	8
241.02.15.050	15	9,5	12	2	50	10	17,5	175	32,5	21,2	212	28,8	25	250	25	9,5
241.02.16.040	16	10,5	13	2	40	11	14	154	26	17	187	23	20	220	20	7
241.02.18.085	18	12	14,75	2,25	85	5,92	30,8	182	54,2	37,4	221	47,6	44	260	41	14
241.02.19.045	19	11	14,5	3	45	35	9,8	343	35,2	11,9	416	33,1	14	490	31	8
241.02.19.050	19	11	14,5	3	50	30	11,2	336	38,8	13,6	408	36,4	16	480	34	8,5
241.02.19.083	19,5	9	14	4	83	75	12,6	945	70,4	15,3	1 147	67,7	18	1 350	65	16
241.02.20.035	20,5	10	15	4	35	170	5,6	952	29,4	6,8	1 156	28,2	8	1 360	27	4,5
241.02.20.090	20,5	9	14,5	4,5	90	97,8	12,3	1 202	77,7	15	1 467	75	17,6	1 714	72,4	4
241.02.21.035	21	13,5	17	2,5	35	13,32	10,5	139	24,5	12,7	169	22,3	15	200	20	6
241.02.21.040	21	12	16,25	3	40	32,1	9,8	314	30,2	11,9	381	28,1	14	450	26	5,5
241.02.22.095	22	14,5	18	2,5	95	4,1	34,2	140	60,8	41,5	170	53,5	48,8	200	46,2	17
241.02.22.040	22,5	12	17	4	40	105,5	7,7	812	32,3	9,3	981	30,7	11	1 160	29	5
241.02.23.045	23	14,5	18,5	3	45	25,7	15	385	30	18,2	467	26,8	21,4	550	23,6	5
241.02.23.050	23	12,5	17,5	4	50	74,3	11	817	39	13,3	988	36,7	15,6	1 160	34,4	6,5
241.02.26.024	26,5	16	21	4	24	133,2	5	666	19	6,1	812	17,9	7,2	960	16,8	2

TLAČNÁ ŠROUBOVÁ PRUŽINA S KRUHOVÝM PRŮŘEZEM DRÁTU



Material:

Patentovaná tažená pružinový drát třídy C dle DIN 17223 Bl. 1.
Pro velmi namáhané pružiny, také pro vibrační namáhání.

Provedení:

Výrobní tolerance dle DIN 2095, jakostní stupeň 2, stanovené, povrch je "pískován" ocelovými broky, olejovaný.
Konečné závity jsou přilehlé a broušené

Upozornění:

max. provozní teplota 100 °C.

Všechny rozměry jsou k dostání také v jedné plynulé délce 500 mm k vlastnímu odříznutí na délku. V tom případě se objednáci č. doplní údajem '500' (např. 241.02.11.040.500).

D_h = průměr otvoru

D_m = střední průměr závitu

D_d = průměr trnu

d = průměr drátu

L_0 = délka nezatížené pružiny

$L_1 \dots L_n$ = délky zatížené pružiny v mm, přiřazené síle pružiny $F_1 \dots F_n$

R = tuhost pružiny [N/mm]

L_{B1} = délka 100 % stlačené pružiny

$s_1 \dots s_n$ = zdvihy pružiny v mm, přiřazené k síle pružiny $F_1 \dots F_n$

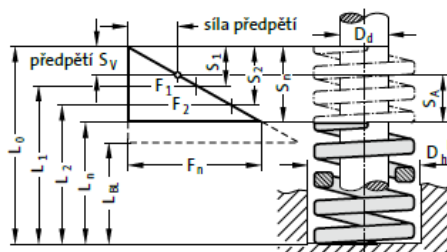
 $j_i \equiv$ počet závitů

s = pracovní zdvih (zdvih) = rozdíl dvou zdvihů pružiny resp. délek pružiny
v mm

241.02. Tlačná šroubová pružina s kruhovým průřezem drátu

Objednací číslo	D _h	D _d	D _m	d	L ₀	R	s ₁	F ₁ [N]*	l ₁	s ₂	F ₂ [N]**	l ₂	s _n	F _n [N]***	L _n	i _t
241.02.11.040	11	6,5	8,5	1,5	40	8,08	11,3	91	28,7	13,7	110	26,3	16,1	130	23,9	10,5
241.02.13.055	13	8,5	10,5	1,5	55	3,8	20,8	79	34,2	25,2	95	29,8	29,7	112	25,3	12
241.02.15.040	15	9,5	12	2	40	11,93	12,3	146	27,7	15	178	25	17,6	210	22,4	8
241.02.15.050	15	9,5	12	2	50	10	17,5	175	32,5	21,2	212	28,8	25	250	25	9,5
241.02.16.040	16	10,5	13	2	40	11	14	154	26	17	187	23	20	220	20	7
241.02.18.085	18	12	14,75	2,25	85	5,92	30,8	182	54,2	37,4	221	47,6	44	260	41	14
241.02.19.045	19	11	14,5	3	45	35	9,8	343	35,2	11,9	416	33,1	14	490	31	8
241.02.19.050	19	11	14,5	3	50	30	11,2	336	38,8	13,6	408	36,4	16	480	34	8,5
241.02.19.083	19,5	9	14	4	83	75	12,6	945	70,4	15,3	1 147	67,7	18	1 350	65	16
241.02.20.035	20,5	10	15	4	35	170	5,6	952	29,4	6,8	1 156	28,2	8	1 360	27	4,5
241.02.20.090	20,5	9	14,5	4,5	90	97,8	12,3	1 202	77,7	15	1 467	75	17,6	1 714	72,4	4

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



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

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

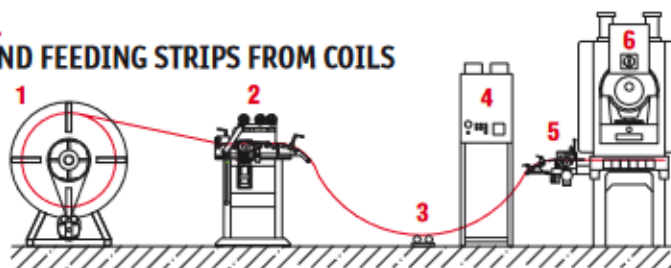
Objednací číslo	D_h	D_d	L_0	R	45%	S_{V1}	S_{A1}	F_1	62%	S_{V2}	S_{A2}	F_2	80%	S_{V3}	S_{A3}	F_3	100%	S_n	F_n
241.14.10.025	10	5	25	11	5,6	1,6	4	62	7,8	3,8	4	85	10	7,2	2,8	110	12,5	138	
241.14.10.032	10	5	32	8,5	7,2	2,1	5,1	61	9,9	4,8	5,1	84	12,8	9,3	3,5	109	16	136	
241.14.10.038	10	5	38	6,8	8,6	2,5	6,1	58	11,8	5,7	6,1	80	15,2	11	4,2	103	19	129	
241.14.10.044	10	5	44	6	9,9	2,9	7	59	13,6	6,6	7	82	17,6	12,8	4,8	106	22	132	
241.14.10.051	10	5	51	5	11,5	3,3	8,2	57	15,8	7,6	8,2	79	20,4	14,8	5,6	102	25,5	128	
241.14.10.064	10	5	64	4,1	14,4	4,2	10,2	59	19,8	9,6	10,2	81	25,6	18,6	7	105	32	131	
241.14.10.076	10	5	76	3,6	17,1	4,9	12,2	62	23,6	11,4	12,2	85	30,4	22	8,4	109	38	137	
241.14.10.305	10	5	305	0,9	68,6	19,8	48,8	62	94,6	45,8	48,8	85	122	88,4	33,6	110	152,5	137	
241.14.13.025	12	6	25	21	5,6	1,6	4	118	7,8	3,8	4	163	10	7,2	2,8	210	12,5	262	
241.14.13.032	12	6	32	16,4	7,2	2,1	5,1	118	9,9	4,8	5,1	163	12,8	9,3	3,5	210	16	262	
241.14.13.038	12	6	38	13,6	8,6	2,5	6,1	116	11,8	5,7	6,1	160	15,2	11	4,2	207	19	258	
241.14.13.044	12	6	44	12,1	9,9	2,9	7	120	13,6	6,6	7	165	17,6	12,8	4,8	213	22	266	
241.14.13.051	12	6	51	10,3	11,5	3,3	8,2	118	15,8	7,6	8,2	163	20,4	14,8	5,6	210	25,5	263	
241.14.13.064	12	6	64	7,6	14,4	4,2	10,2	109	19,8	9,6	10,2	151	25,6	18,6	7	195	32	243	
241.14.13.076	12	6	76	6,3	17,1	4,9	12,2	108	23,6	11,4	12,2	148	30,4	22	8,4	192	38	239	
241.14.13.089	12	6	89	5,4	20	5,8	14,2	108	27,6	13,4	14,2	149	35,6	25,8	9,8	192	44,5	240	
241.14.13.305	12	6	305	1,6	68,6	19,8	48,8	110	94,6	45,8	48,8	151	122	88,4	33,6	195	152,5	244	
241.14.16.025	16	8	25	29	5,6	1,6	4	163	7,8	3,8	4	225	10	7,2	2,8	290	12,5	362	
241.14.16.032	16	8	32	22,9	7,2	2,1	5,1	165	9,9	4,8	5,1	227	12,8	9,3	3,5	293	16	366	
241.14.16.038	16	8	38	19,3	8,6	2,5	6,1	165	11,8	5,7	6,1	227	15,2	11	4,2	293	19	367	
241.14.16.044	16	8	44	17,1	9,9	2,9	7	169	13,6	6,6	7	233	17,6	12,8	4,8	301	22	376	
241.14.16.051	16	8	51	14	11,5	3,3	8,2	161	15,8	7,6	8,2	221	20,4	14,8	5,6	286	25,5	357	
241.14.16.064	16	8	64	10,7	14,4	4,2	10,2	154	19,8	9,6	10,2	212	25,6	18,6	7	274	32	342	
241.14.16.076	16	8	76	9	17,1	4,9	12,2	154	23,6	11,4	12,2	212	30,4	22	8,4	274	38	342	
241.14.16.089	16	8	89	7,3	20	5,8	14,2	146	27,6	13,4	14,2	201	35,6	25,8	9,8	260	44,5	325	
241.14.16.102	16	8	102	6,8	23	6,6	16,3	156	31,6	15,3	16,3	215	40,8	29,6	11,2	277	51	347	
241.14.16.305	16	8	305	2,3	68,6	19,8	48,8	158	94,6	45,8	48,8	217	122	88,4	33,6	281	152,5	351	
241.14.20.025	20	10	25	55,8	5,6	1,6	4	314	7,8	3,8	4	432	10	7,2	2,8	558	12,5	698	
241.14.20.032	20	10	32	45	7,2	2,1	5,1	324	9,9	4,8	5,1	446	12,8	9,3	3,5	576	16	720	
241.14.20.038	20	10	38	36	8,6	2,5	6,1	308	11,8	5,7	6,1	424	15,2	11	4,2	547	19	684	
241.14.20.044	20	10	44	30	9,9	2,9	7	297	13,6	6,6	7	409	17,6	12,8	4,8	528	22	660	
241.14.20.051	20	10	51	24,5	11,5	3,3	8,2	281	15,8	7,6	8,2	387	20,4	14,8	5,6	500	25,5	625	
241.14.20.064	20	10	64	19,2	14,4	4,2	10,2	276	19,8	9,6	10,2	381	25,6	18,6	7	492	32	614	
241.14.20.076	20	10	76	16	17,1	4,9	12,2	274	23,6	11,4	12,2	377	30,4	22	8,4	486	38	608	
241.14.20.089	20	10	89	14	20	5,8	14,2	280	27,6	13,4	14,2	386	35,6	25,8	9,8	498	44,5	623	
241.14.20.102	20	10	102	12	23	6,6	16,3	275	31,6	15,3	16,3	379	40,8	29,6	11,2	490	51	612	
241.14.20.115	20	10	115	10,9	25,9	7,5	18,4	282	35,6	17,2	18,4	389	46	33,4	12,6	501	57,5	627	
241.14.20.127	20	10	127	9,5	28,6	8,3	20,3	271	39,4	19	20,3	374	50,8	36,8	14	483	63,5	603	

Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice – TE	Střížniku – TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,016
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
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	vice	1,200	0,400	0,250

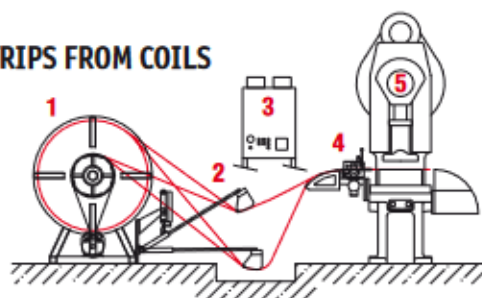
ROVNAČÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL LINE ARPL FOR STRAIGHTENING AND FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Rovnačka / Straightener ROA
- 3 - Sledování smyčky / Strip position sensor
- 4 - Ovládací panel / Control panel
- 5 - Podavač / Feeder PAL
- 6 - Lis / Press



PODÁVACÍ LINKA APL / LINE APL FOR FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Kompenzátor / Compensator
- 3 - Ovládací panel / Control panel
- 4 - Podavač / Feeder PAL
- 5 - Lis / Press



TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

Řada odvíjáků AOZ / Uncoilers AOZ

Typ/Type	Nosnost Capacity (kW)	Vnitřní ø svítky Coil inner ø (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
AOZ 03	3 ÷ 8	480 ÷ 620	120	0,15 ÷ 1,2	80	ne / no	—
AOZ 08	8 ÷ 15	480 ÷ 620	250	0,3 ÷ 2,0	180	ano-ne / yes-no	1,5 ÷ 3,0
AOZ 15	15 ÷ 25	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 3,0	160	ano-ne / yes-no	2,2 ÷ 7,5
AOZ 25	15 ÷ 40	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 4,0	160	ano-ne / yes-no	7,5 ÷ 15,0
AOZ 40	40 ÷ 100	480 ÷ 620	580	0,5 ÷ 4,5	160	ano-ne / yes-no	11,0 ÷ 22,0

Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

Typ/Type	Počet válců Number of rollers	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
ROA 160	5	40	160	0,3 - 1,8	280	ne / no	7,5
ROA 250	5	60	250	0,3 - 2,5	320	ano-ne / yes-no	7,5
ROA 350	5	80	350	0,3 - 4,0	260	ano-ne / yes-no	11,0
ROA 580	5	100	580	1,0 - 4,5	260	ano-ne / yes-no	18,5

Řada podavačů PAL / Feeders PAL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/ per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Číkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
PAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	150	0,5 ÷ 3	100	3,0	3 000
PAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	250	0,5 ÷ 3,5	80	3,0	3 000
PAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3	80	3,0	6 000

Řada podávacích a rovnačích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/ per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Číkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
RAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	100	0,5 ÷ 3,0	40	7,5	3 000
RAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	200	0,5 ÷ 3,5	35	10,2	3 000
RAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3,0	35	10,2	6 000