



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA DRŽÁKU TELEVIZORU SDRUŽENÝM
NÁSTROJEM**

TV WALL BRACKET MANUFACTURING BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Hana Elisabetha Pecinová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Bc. Hana Elisabetha Pecinová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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 držáku televizoru sdruženým nástrojem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby konzoly nástěnného držáku televizoru. Dílec je podlouhlého tvaru opatřený ohyby a otvory. Zadaná součást bude vyráběna kombinací postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji.

Cíle diplomové práce:

1. Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání.
2. Návrh vhodné technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby.
3. Provedení technologických a kontrolních výpočtů.
4. Volba stroje.
5. Návrh sdruženého postupového nástroje pro výrobu zadané součásti.
6. Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby.

Seznam doporučené literatury:

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření: Část II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.

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

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.

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

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

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

PECINOVÁ Hana Elisabetha: Výroba držáku televizoru sdruženým nástrojem.

Práce je zaměřena na návrh technologie výroby lišty nástěnného držáku televizoru. Na základě variantního řešení výroby byla jako nejvhodnější varianta výroby ve sdruženém postupovém nástroji. Pro výrobu byla navržena nelegovaná jakostní ocel 11 321.1, s následnou povrchovou úpravou syntetickou nátěrovou hmotou. Z provedených výpočtů byl navržen dvoubodový klikový lis LKDR 200, který svou tvářecí silou a velikostí stolu je dostatečný pro výrobu. Tvářecí nástroje jsou z legované nástrojové oceli 19 436.4, s následným kalením a popouštěním. Součástí práce je technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: Ocel 11 321, tváření, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj.

ABSTRACT

PECINOVÁ Hana Elisabetha: TV wall bracket manufacturing by compound tool.

The thesis concerns the layout of manufacture technology of the bracket for TV wall mount. Based on a trade-off study of several technologies, a solution using a compound tool was selected as the most appropriate for given application. Non-alloy quality steel 11 321.1 was selected as a material for the bracket, with a synthetic paint applied as a surface finish. Analysis of manufacturing parameters was conducted, based on which the two-stroke crank press LKDR 200 was selected. Capability of that machine is sufficient in terms of press force and working space. Forming tools are made of high alloy tool steel 19 436.4, heat treated by quenching and annealing. An evaluation of economic aspects is included in the thesis.

Keywords: steel 11 321, forming, shearing, bending, compound tool.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

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.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 26. 5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji rodině za připomínky a trpělivost při psaní diplomové práce a podporu po celou dobu studia.

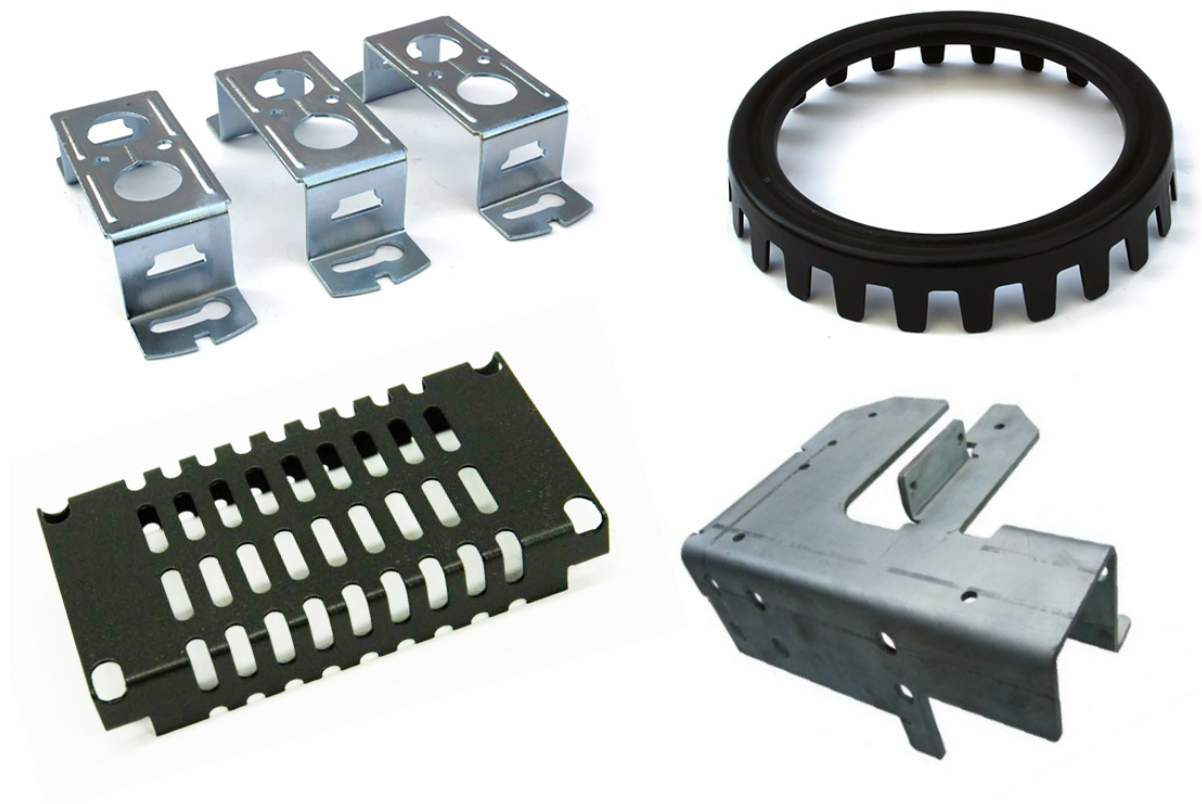
OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD.....	9
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	10
1.1 Výrobní možnosti	11
2 LITERÁRNÍ STUDIE	17
2.1 Technologie stříhání	17
2.1.1 Střížný odpor	18
2.1.2 Střížná síla a práce	19
2.1.3 Střížná vůle	21
2.1.4 Přesnost a kvalita při stříhu	24
2.1.5 Nástřihový plán.....	25
2.1.6 Těžiště střížných sil	26
2.1.7 Střížný nástroj.....	26
2.2 Technologie ohýbání	30
2.2.1 Proces ohýbání.....	30
2.2.2 Odpružení při ohybu	32
2.2.3 Výchozí délka polotovaru.....	33
2.2.4 Minimální a maximální poloměry ohybu	34
2.2.5 Ohýbací síla a práce.....	35
2.2.6 Ohýbací nástroje	36
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	38
3.1 Rozvinutý tvar součásti	38
3.2 Varianty uspořádání výstřižku na plech	39
3.3 Varianty výroby ve sdruženém nástroji.....	41
3.4 Zhodnocení navrhovaných variant	44
4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	46
4.1 Výpočty pro technologii stříhání	46
4.2 Výpočty pro technologii ohýbání	51
5 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE.....	52
5.1 Návrh typu stroje	52
5.2 Popis nástroje.....	52
5.3 Volba materiálu	56
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	57
ZÁVĚRY	61
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam výkresů	

ÚVOD [33, 43]

V současné době se ve strojírenské výrobě využívá celá řada technologií. Jednou z nejvíce rozšířených možností zpracování materiálu je metoda tváření, která má výhodu ve velké úspoře materiálu. V porovnání s obráběním, kde odpad tvoří někdy až 80 % hmotnosti výrobku, je tváření velmi úsporné. Obecně je tváření rozdělováno na objemové (kování, protlačování, pýchování atd.) a na plošné (stříhání, ohýbání, tažení, zakružování, atd.). Při objemovém tváření dochází k přetvoření v celém objemu, tj. ve všech třech směrech. Při plošném tváření dochází k rovinnému přetvoření, tj. ve dvou směrech. Z toho vyplývá, že tloušťka tvářeného materiálu je buď neměnná anebo velmi nevýrazná v porovnání s velikostmi přetvoření v ploše plechu.

Technologie, které využívají plošné tváření, jsou stříhání a ohýbání. Jako jiné technologie se začaly modernizovat a dosahuje se přesné a opakovatelné výroby. V dnešní době je snaha celý proces výroby automatizovat a tudíž urychlit a usnadnit výrobu. Na obr. 1 je možné vidět příklady dílů vyrobených plošným tvářením.



Obr. 1 Výrobky vyrobené plošným tvářením [33,43]

1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU [1, 5, 13, 17, 31]

Zadanou součástí je lišta nástěnného držáku televizoru z plechu. Model součásti je ukázán na obr. 2. Tato součást je dílčí část sestavy, která se používá pro připevnění televizoru na stěnu. Sestava se skládá z držáku a dvou lišt. Držák je připevněný pevně na stěnu a lišty nasunuté na držák slouží k nastavení potřebné rozteče šroubů televizoru. Součást se bude vyrábět v roční sérii 1 200 000 ks.



Obr. 2 Model vyráběné součásti

Na tuzemském trhu se vyskytují i další varianty a obdoby těchto držáků. Mohou se vyrábět polohovatelné (obr. 3) či výsuvné (obr. 4). Držáky musí splňovat určité požadavky, jako například maximální hmotnost samotného držáku a určitou nosnost.



Obr. 3 Polohovatelný držák [5]



Obr. 4 Výsuvný držák [5]

Pro výrobu součásti byl zvolen materiál ČSN 41 1321 tloušťky 1 mm. Jedná se o nelegovanou jakostní ocel 11 321.1 určenou pro středně hluboký tah v normalizačně žíhaném stavu. Tato ocel je také vhodná k nanášení povlaků a má zaručenou svařitelnost. Pevnost v tahu se nachází v rozmezí 270 – 400 MPa a tažnost se pohybuje okolo 28 %. Jelikož mez kluzu zvyšuje hlavně uhlík, je snahou snížit jeho obsah na 0,10 %. Matrice

by měla být tvořena feritem s malým množstvím perlitu. Ve struktuře by neměl být terciální cementit vyloučen na hranicích zrn, protože snižuje plastické vlastnosti. Chemické složení je shrnuto v tab. 1.1. Tato ocel je také vhodná pro výrobu například karosářských výlisků, nádrží na benzín, radiátorů, nádobí a van.

Tab. 1.1 – Chemické složení oceli 11 321.1 [65]

Ocel	C	S	P	Mn
11 321.1	0,10 %	0,035 %	0,035 %	0,45 %

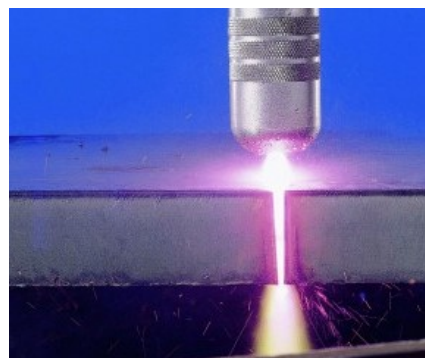
1.1 Výrobní možnosti [1, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 19, 21, 25, 26, 27, 32, 33,35,37,41,40, 43]

U této součásti způsoby výroby závisí především na množství vyráběných kusů, požadované přesnosti výroby a také může být přihlédnuto k uplatnění a funkci dané součásti v praxi. Pro danou součást je potřeba zhotovit rozvinutý tvar i s otvory a následně ho vytvarovat do požadovaného tvaru, tj. rozvin ohnout. Rozvinutého tvaru lze dosáhnout různými technologiemi, které jsou níže popsány. Převážně se jedná o technologie, po kterých je nutné zařadit metodu ohýbání na jiném stroji.

- Řezání laserem - je v dnešní době nejmodernější metoda tepelného dělení materiálů. Tato technologie (obr. 5) je velice používaná, protože má značné výhody jako jsou vysoká řezná rychlost, kolmý řez a vysoká přesnost řezu. Materiál nemusí být vodivý a v okolí řezu je menší tepelně ovlivněná oblast. Z toho vyplývá, že zářením laseru lze řezat téměř všechny materiály včetně plastů, dřeva, pryže a plexiskla. I díky malému vnesenému teplu nedochází v materiálu k deformacím. Materiál ohřátý zářením laseru je tlakem plynu vyfukován z místa řezu. Nerezové oceli lze laserem řezat do tloušťky 20 mm a nízkouhlíkové oceli do tloušťky 35 mm.
- Řezání svazkem plazmatu - plazmou se rozumí vysoce žhavený plyn dosahující teploty až 20 000 °C obsahující nabitě částice, elektrony a ionty, ale navenek je plyn elektricky neutrální. Díky vysoké teplotě se snadno nataví jakýkoliv materiál a dynamickým účinkem plazmy je tavenina ze spáry vyfouknuta. Tato technologie (obr. 6) se používá pro dělení vysokolegovaných materiálů a barevných kovů s maximální tloušťkou 250 mm, dále neželezných kovů, ale v současnosti i pro řezání běžné uhlíkové oceli. Výhodou je snížené vnesené teplo, tudíž menší tepelně ovlivněná oblast a malé deformace. Řezná rychlost závisí na výkonu zdroje, termofyzikálních vlastnostech řezaného materiálu a na typu plazmového plynu.



Obr. 5 Řezání laserem [12]



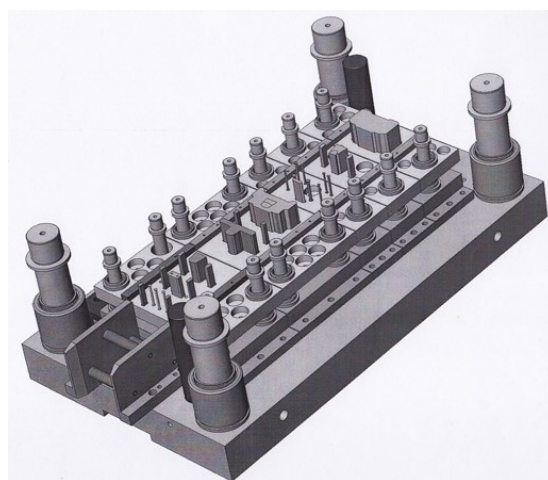
Obr. 6 Řezání plazmou [37]

- Řezání vodním paprskem - řezání se většinou provádí na CNC řízených stolech. Pracovní tlak vody se pohybuje v rozmezí 2000 – 6200 Bar. Velkou výhodou této metody (obr. 7) je řezání bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu a nedochází ke vzniku mikrotrhlin. Lze řezat jakýkoliv materiál. Vyráběná součást nemění své fyzikální, chemické ani mechanické vlastnosti. Při řezání nevznikají žádné škodlivé plyny. Jedna z předních nevýhod je možnost vzniku koroze u některých materiálů. Přesnost a kvalita řezu je velmi dobrá. Jelikož se reže kapalinou, je nutné materiál vhodně ochránit.



Obr. 7 Řezání vodním paprskem [25]

- Stříhání v postupovém nástroji - stříhání v těchto nástrojích (obr. 8) probíhá postupně. Pás plechu popojíždí nástrojem a na každý zdvih je vystřižena určitá část součásti, například v prvním kroku jsou vystřiženy otvory, v dalším kroku je vystřižen obrys. Součást je tudíž vyrobena v několika krocích jdoucích za sebou a na jeden zdvih stroje se provede více střížných operací. Posouvání plechu o určitý krok je u této technologie důležitý úkol, který zaručí podavač plechu. Tuto technologii lze využít pro složitější součásti, ale pouze pro velké výrobní série, protože střížný nástroj bývá poměrně drahý.



Obr. 8 Stříhání v postupovém nástroji [41]

Obvykle se nástroj upíná do klikového či výstředníkového lisu, který musí zajistit dostatečný zdvih a zároveň potřebnou střížnou sílu.

- Vysekávání - je beztrískové dělení plechů, bez vzniku tepla a svojí podstatou připomíná stříhání. Vyrábí se většinou složité součásti, které by se běžným stříháním vyráběly obtížně. Vysekávání (obr. 9) se provádí na CNC řízených lisech, pomocí speciálních tvarových nástrojů tzv. raznic. Nevýhodou je již zmíněný speciální nástroj a také je omezená tloušťka vysekávaného materiálu na 6 mm. Nejnovější CNC stroje umožňují provádět velmi náročné děrování a řezání, dále také tváření závitů, 3D lisování (zářezy, vroubky, průvlaky, větrací lamely) a lakuvzdorné značení razíci a značkovacími nástroji.



Obr. 9 Vysekávání [7]

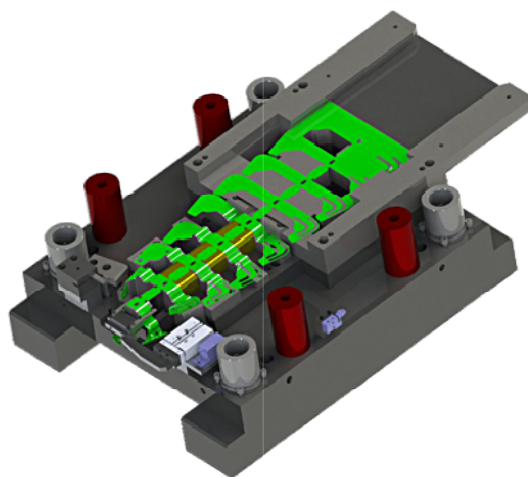
- Ohraňování - je ostré ohýbání plechu do různých úhlů v univerzálním nástroji (obr. 10). Ohraňovat se může ručně nebo častěji na ohraňovacích lisech. Ohraňovací lisy jsou

obvykle mechanické lisy, které jsou určeny ke tvarování rozměrnějších přístřihů, z nichž se poté vyrábí např. součásti automobilů, pláště skříní a rámové konstrukce. Způsob práce je velice podobný jako s nástroji u mechanických lisů, ale nástroje jsou jednodušší a univerzální. Součást, která je opatřena více ohyby, je vyrobena postupně. Nejnovější ohraňovací lisy tváří součást pomocí tzv. tříbodového ohybu, což napomáhá k rapidnímu snížení odpružení při ohybu.



Obr. 10 Ohraňování [14]

- Sdružený postupový nástroj - má značnou výhodu, kterou je kombinace několika technologií najednou. Jedná se o stejnou technologii, jako je postupové stříhání, ale do postupu se zařazují i další tvářecí operace, jako např. ohýbání, tažení, lemování. Tato technologie (obr. 11) umožňuje značnou úsporu pracovního času, jelikož se na jeden pracovní zdvih provedou všechny potřebné kroky k vytvoření součásti. Je nutné navrhnout tvářecí proces tak, aby byla součást vedena celým nástrojem. Zpravidla se nejprve vystříhnou otvory i část obrysu součásti, dále se součást tváří potřebnou technologií a v posledním kroku dojde k oddělení součásti z pásu plechu, většinou odstrižením.



Obr. 11 Sdružený postupový nástroj [19]

Po zvážení všech technologií, jejich výhod a nevýhod, je sdružený postupový nástroj nejvhodnější variantou. Při výrobní sérii 1 200 000 ks za rok se vykompenzuje jeho cena. Hlavní výhodou této technologie je úspora času a vyhotovení všech tvářecích operací v jednom nástroji.

Vyrobené součásti (zejména ty, které nejsou vyráběné z nerezavějící oceli) by měly mít protikorozi ochranu, dále by měly odolávat změnám fyzikálních vlastností povrchu (tvrdost, tepelná a elektrická vodivost, zvýšení oteruvzdornosti). A v neposlední řadě by měly být na pohled estetické. Takže je potřeba provést po vyrobení součásti určitou povrchovou úpravu. Povrchové vrstvy mohou být vytvořeny chemickými, fyzikálními nebo difúzními pochody.

- Fosfátování - jedná se o chemickou úpravu kovů, kdy se z terciálního rozpustného fosforečnanu Zn, Mg, Ca, Fe tvoří nerozpustný terciální fosforečnan. Teplota procesu probíhá mezi 30 – 70 °C. Potřebná doba ponoru v lázni je 3 - 10 min, při nástřiku je doba 1 – 3 min.



Obr. 12 Fosfátování [40]

Kvalita povrchu odpovídá kvalitě původního povrchu. Větší tloušťka povlaku má větší zrno a větší pórovitost. Povrchová fosfátovaná vrstva je elektricky nevodivá, odolná proti korozi a dobře na ní drží následný nátěr, vytváří šedou a na dotek sametově působící vrstvu (obr. 12). Další funkcí tohoto povlaku je zlepšení přilnavosti maziva a snížení tření.

- Černění - jedná se o barvení oceli, litiny, mědi, mosazi, zinku a nerezů pomocí alkalické oxidační reakce povrchu. Oxidace se provádí v pecích či v solných lázních. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 130 – 140 °C po dobu 3 – 10 min. Vyleštěný povrch má dekorativní účely a mírnou protikorozi ochranu. Černění se využívá v oblasti zbraní (obr. 13) a optického zařízení, také ho lze nalézt u domácí elektroniky, kde se jedná o povrchovou úpravu vyšší třídy. Tento proces zapříčiní u oceli zbarvení do hněda, modra či černa. Měď se zbarví do černa, hněda či žluta. Povrch mosazi se stane černý či patinový.



Obr. 13 Černění [11]

- Niklování - pokud se provede niklování bez mezivrstvy, zvyšuje se odolnost proti opotřebení. Niklování s mezivrstvou mědi se používá pro dekorativní a ochranné povlaky. Tyto povlaky se v průmyslu používají nejčastěji pro pokovování všech významnějších základních materiálů jako antikorozi ochrana či ozdobné účely. Niklování může být buď lesklé, nebo saténové. Lesklé niklování (obr. 14) tvoří povrch lesklý a vyrovnaný i v tenké vrstvě. Dále má tento povlak nízké vnitřní pnutí a velmi dobrou chromovatelnost. Povlak má dobrou adhezi k podkladu a je vhodný i pro duplexní niklování. Saténové niklování vytvoří matný povlak niklu. V dnešní době se přechází na lesklé niklování, protože odpadá nutnost povrch leštit.



Obr. 14 Niklování [43]

- Chromování - je jeden z nejefektivnějších galvanických procesů jak po stránce vzhledové, tak po stránce fyzikálních a chemických vlastností. Chromové povlaky (obr. 15) mají především velkou odolnost proti atmosférické korozi za normální i zvýšené teploty, odolnost proti mechanickému opotřebení, značnou tvrdost s malým součinitelem tření a odrazivost světla. Chromové povlaky se používají na niklové, měděné, mosazné či zinkové podklady jako antikorozi ochranná vrstva, ozdobné pokovování atd. Speciálními tvrdými povlaky se zlepšuje odolnost proti opotřebení různých ocelových a litinových součástí, popřípadě se dají zvětšit i rozměry dílců.



Obr. 15 Chromování [43]

- Mědění - jako samostatný proces se v praxi používá málo, zato je velmi používaný jako mezivrstva pro cínování, zlcení, stříbření, niklování nebo dekorace. Čisté měděné povlaky (obr. 16) se mohou používat u některých ploch ocelových součástí jako ochrana před cementací, ale jinak se bez další ochranné vrstvy nepoužívají.



Obr. 16 Mědění [32]

Měděné povlaky se naopak velmi rozšířily v galvanoplastice na výrobu tiskařských forem, válců, v gramofonovém průmyslu i při výrobě lisovacích nástrojů. V této oblasti se používají mědicí lázně stejné jako při pokovování, ale je nutné povrch ošetřit proti korozi oxidací. Používají se kyanidové nebo kyselé lázně, ale jsou nebezpečné.

- Zinkování - je pro svoji odolnost anodické ochrany oceli proti korozi ve spojení s následnou pasivací (chromování) schopno poskytovat kvalitní protikorozní úpravu výrobků při zachování vysoce dekorativního vzhledu. Zinkové povlaky (obr. 17) se chromují a poskytují modré, žluté či černé barvené odstíny. Lázně bývají slabě kyselé, alkalické ve formě zinečnanu sodného, vodící soli je chlorid amonný. Tato sůl zaručuje vysokou rychlost procesu, dobrou kvalitu, hloubkovou účinnost. Tyto povlaky se používají pro hromadné zinkování. Zinkové povlaky se používají pro spojovací materiál, drobné předměty, pozinkovaný hlubokotažný plech na karoserie automobilů. Leskle vypadající zinkový povrch nahrazuje chromování.



Obr. 17 Zinkování [21]

- Smaltování - jedná se o proces, při kterém se vytvoří křemičitý sklovitý povlak s vysokým podílem krystalické fáze žárovým způsobem. Smaltovaný povlak se vyrábí nanášením práškového základu na mořený (očistěný) kovový povrch. Smaltovací prášek se vyrábí tavením do vody, kde vzniknou kuličky, které jsou poté drceny a mlety na prášek. Na povrch se nanáší suspenze s vodou tzv. břecha, která se nanáší ponorem nebo stříkací pistolí. Obvykle se na součást nanáší prvně základový smalt a na něj vrchní barevný smalt.



Obr. 18 Smaltování [6]

Způsoby nanášení smaltů jsou dva. První je za mokra, kdy se břecha nanáší na očistěný povrch za pokojové teploty, poté se suší a nakonec se vypaluje při teplotách v rozmezí 800 – 900 °C. Druhým způsobem je za sucha, kdy se prášek nanáší na předehřátou součást. Ochlazování musí probíhat v peci v teplotním rozmezí 200 – 250 °C. V dnešní době se ale přechází na jednofázové systémy, kvůli možnosti využít automatizaci či mechanizaci. Smaltovaný povrch je chemicky odolný vůči kyselinám, tepelná odolnost

je do 500 °C, u speciálních smaltů až do 1000 °C. Dále je povrch 5-ti násobně tvrdší než ocel. Povrch se také vyznačuje vysokou pevností v tlaku, v rozmezí 700 – 13000 MPa, ale malou pevností v tahu, v rozmezí 70 – 90 MPa. Smaltované povrchy se používají pro kouřovody a výměníky tepla, pece a spalovací turbíny, nádrže na odpady, obklady stěn, vany a nádobí (obr. 18). Plechy, vhodné pro smaltování, jsou nízkouhlíkové s obsahem uhlíku 0,10 %, neuklidněné oceli, vysokolegované CrNi oceli, hliníku a litiny.

- Nátěrové systémy – neboli organické povlaky, tvoří okolo 80 % používaných povlaků. Tyto povlaky se dělí podle různých kritérií. Prvním z nich je rozdělení nátěrů podle pigmentu. Nátěr může být pigmentový, kde email má nízký obsah pigmentu a barva má naopak vysoký obsah pigmentu. Dále může být nátěr transparentní, což bývají laky, fermez a napouštědla. Jedním z důležitých rozdělení je podle použití. Vnitřní nátěrové systémy jsou většinou pouze dekorativní. Zatímco venkovní musí být odolné proti povětrnostním podmínkám, mořské vodě, vyšším teplotám a chemickému prostředí. Dále do tohoto kritéria patří nátěrové hmoty speciální (např. olejovo-vodový povlak, světélkující či elektro-vodivý povlak). Další dělení je podle způsobu vytvrzení filmu. Film může zasychat odpařováním rozpouštědel, vyvazovacím chemickým pochodem, reakcí s tvrdidlem, což bývají dvousložkové systémy, reakcí za zvýšené teploty či reakcí na UV nebo IR záření. Nátěrové hmoty se skládají ze tří složek. První z nich je pojivo, což je nejdůležitější součást. Má vliv na vazbu a na tloušťku výsledného nátěru. Skládá se z filmotvorných látek a přírodní nebo syntetické pryskyřice, to bývají deriváty celulózy či kaučuku a někdy se používají i asfalty a smalty. Další složkou je rozpouštědlo. Po jeho odpaření vznikne požadovaný povlak. Jako rozpouštědla se používají terpentýn, benzín, benzen, alkohol nebo étery. Poslední složkou jsou pigmenty a plniva. Tato složka dává charakter povlaku, určuje mu tvrdost, elektrickou vodivost, kluzné vlastnosti a zbarvení. Nátěrové systémy mohou být buď kapalné, nebo práškové a od toho se odvíjí způsob nanášení nátěrového systému na součást. Pokud jsou kapalné, tak se nátěrové hmoty nanáší štětcem, ponorem, válečkem nebo nástřikem pomocí stlačeného vzduchu obr. 19. Práškové nátěrové hmoty se nanáší nástřikem v elektrostatickém poli, elektrokineticky nebo elektroforézou.



Obr. 19 Nátěrové systémy [8]

Vzhledem k požadavkům na kvalitu a jakost výrobku je nejvhodnější povrchová úprava barvení, čili nátěrový systém, jelikož má pro tuto součást mnoho výhod. První výhodou je nízká cena, dále je zde předpoklad, že součást nebude vystavena povětrnostním podmínkám a tudíž nemusí mít vysoké protikorozi účinky. Pro ošetření je tedy zvolena syntetická nátěrová hmota v černé barvě.

2 LITERÁRNÍ STUDIE

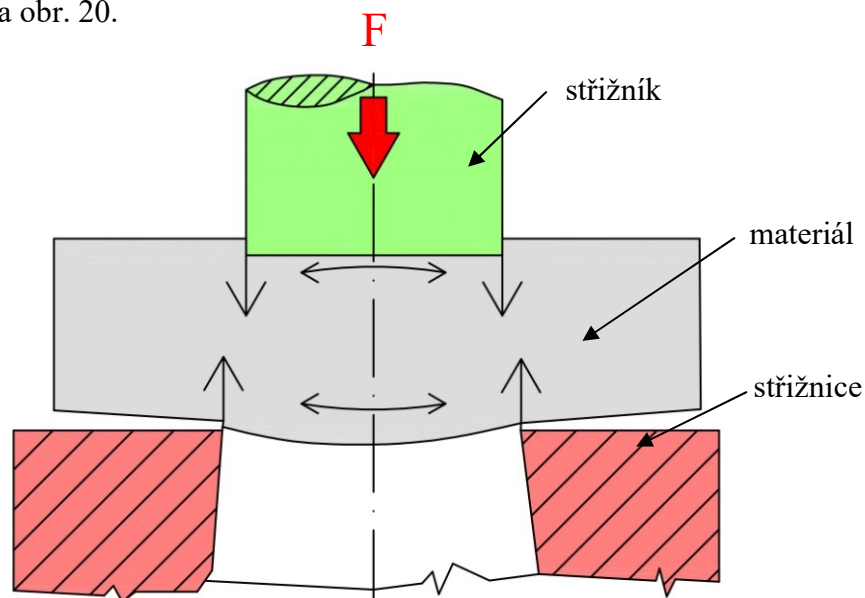
Cílem předkládané diplomové práce je návrh výroby lišty nástěnného držáku televizoru. Jedná se o podlouhlou součást, která má ohnuté boky pro zavěšení lišty na držák. Z toho důvodu je literární studie zaměřena na technologii stříhání a ohýbání.

2.1 Technologie stříhání [2, 3, 9, 15, 20, 22, 23, 29, 42]

Ve strojírenství je technologie stříhání velmi důležitým a rozšířeným způsobem zpracování plechu. Může se vystřihovat jak finální výrobek, tak i polotovary určené k dalšímu zpracování, například přístřihy pro tažení. Při stříhání působí nože na materiál tak, aby se ustříhl v určité ploše. Pro dosažení kvalitní střížné plochy se musí dodržet určité podmínky, jako je zejména ostří nožů či střížná vůle.

Jedná se o jedinou technologii, při které musí dojít k porušení materiálu lomem. Při stříhání materiálu dochází k současnému či postupnému oddělování materiálu podél tzv. křivky stříhu. Křivka stříhu je tvořena obvodem výstřižku. Základní části nástroje pro stříhání jsou nejčastěji nepohyblivá střížnice a pohyblivý střížník. Hotová součást, vyrobená tímto procesem, se nazývá výstřižek.

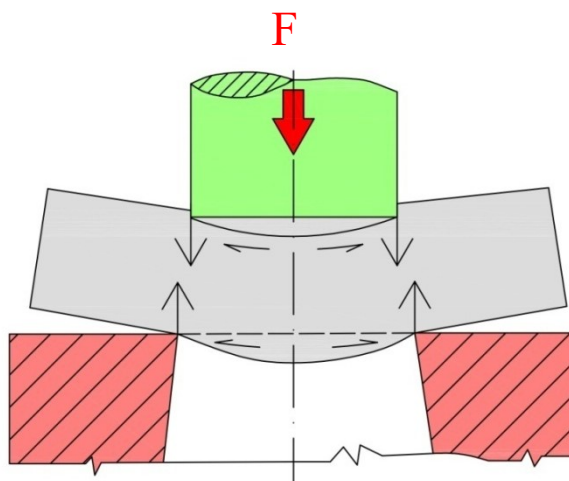
Střížný proces začíná tím, že pohyblivý střížník dosedne na stříhaný materiál. Samotný průběh stříhu lze rozdělit do 3 fází. V první fázi dochází k pružnému vnikání do povrchu materiálu a je vyvolána elastická deformace. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá v rozsahu 5 – 8 % jeho tloušťky. Síla, která působí v ploše mezi obvodem střížníku a střížnicí vyvolává vznik silových dvojic. Tyto dvojice jsou kolmé na střížné plochy a díky jejich působení stříhaný materiál ohýbají. Schéma první fáze stříhu je na obr. 20.



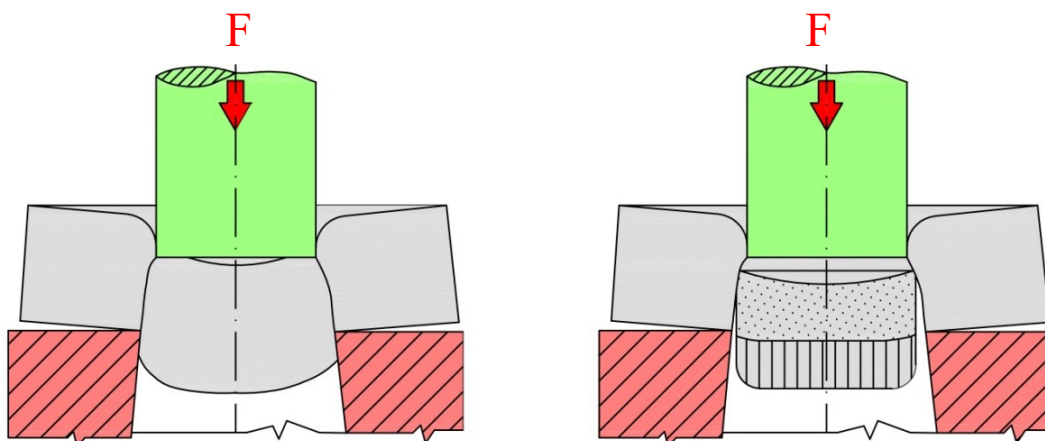
Obr. 20 První fáze stříhu [2]

V druhé fázi (obr. 21) napětí již překračuje mez kluzu stříhaného materiálu a tudíž dochází k trvalé deformaci materiálu. Střížník vniká během trvalé deformace do hloubky, která je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a pohybuje se v rozmezí 10 – 25 % tloušťky materiálu.

Ve chvíli, kdy zatěžující napětí překoná mez pevnosti ve stříhu, nastává třetí fáze střížného procesu. V místě působení hran střížnice a střížníku vznikají trhliny (nástřih). Nástřih je zobrazen na obr. 22 vlevo. Napjatost ve stříhaných vláknech materiálu podporuje tvoření těchto trhlin. Trhliny se materiálem šíří určitou rychlostí do chvíle, kdy dojde k oddělení výstřížku od zpracovávaného materiálu (obr. 22 vpravo). Rychlost šíření trhlin materiálem je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a velikostí střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí. Rychlost oddělení výstřížku také závisí na materiálu, je-li materiál měkký a tvárný, dochází k pomalému oddělování materiálu a naopak, je-li materiál tvrdý a křehký, dochází k rychlejšímu oddělení materiálu. V této fázi stříhu dosahuje střížník hloubky 10 – 60 % tloušťky materiálu.



Obr. 21 Druhá fáze stříhu [2]



Obr. 22 Třetí fáze stříhu [2]

2.1.1 Střížný odpor [2, 3, 9, 15]

Střížný odpor ' τ_s ' závisí na řadě faktorů, dále na vlastnostech stříhaného materiálu a jeho tloušťce. Také závisí na tvaru a rozměru křivky stříhu, velikosti střížné vůle, konstrukci nástroje a také na podmínkách stříhání. Střížný odpor lze určit ze vzorce:

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} [MPa], \quad (2.1)$$

kde: F_s – střížná síla [N]
 S_s – plocha stříhu [mm²]

Střížný odpor závisí na mechanických vlastnostech materiálu a tvaru stříhané plochy. Z toho důvodu musí síla překonat mez pevnosti ve stříhu. Dle různých literárních pramenů se velikost střížného odporu udává jako 77 až 80 % meze pevnosti daného materiálu.

Střížný odpor lze tedy vyjádřit jako:

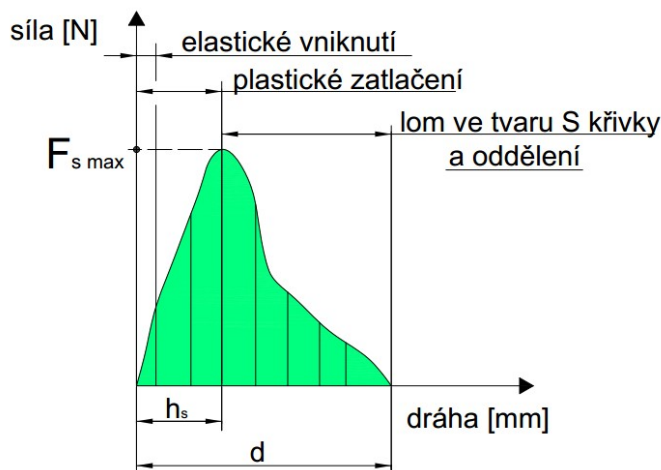
$$\tau_s = 0,77 R_m \doteq 0,8 R_m \quad (2.2)$$

kde: R_m – mez pevnosti [MPa]

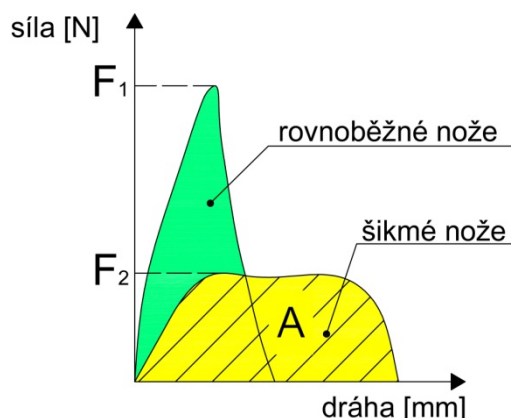
Střížný odpor roste s rostoucí pevností materiálu a s klesající tvárností. Střížník vniká do materiálu do určité hloubky. Z praxe je ověřeno, že pro tvrdé materiály je hloubka vniknutí menší jak pro materiály měkké. Hloubka vniknutí střížníku do materiálu také závisí na tloušťce daného materiálu, pokud se tloušťka materiálu zmenšuje, hloubka vniku se zvětšuje. Další faktor, který ovlivňuje střížný odpor, je tření mezi stříhaným materiálem a nástrojem.

2.1.2 Střížná síla a práce [2, 3, 9, 15, 20, 22, 23, 29, 42]

Každý stroj může vyvinout jen určitou sílu, která nesmí být překročena, aby nedošlo k přetížení stroje. Z tohoto důvodu je potřeba znát střížnou sílu potřebnou pro vystřížení součásti a její průběh. Na obr. 23 je zobrazen průběh střížné síly v závislosti na posuvu nástroje. Střížná síla prvně narůstá s hloubkou vnikání střížníku do materiálu. Jak již bylo řečeno, u tvárných materiálů musí střížník zajet hlouběji do materiálu. U křehkých materiálů dojde k porušení při malém vniku střížníku.



Obr. 23 Průběh střížné síly [22]



Obr. 24 Porovnání sil [22]

Velikost střížné síly se určí podle vzorce:

$$F_s = n \cdot \tau_s \cdot S_s [N], \quad (2.3)$$

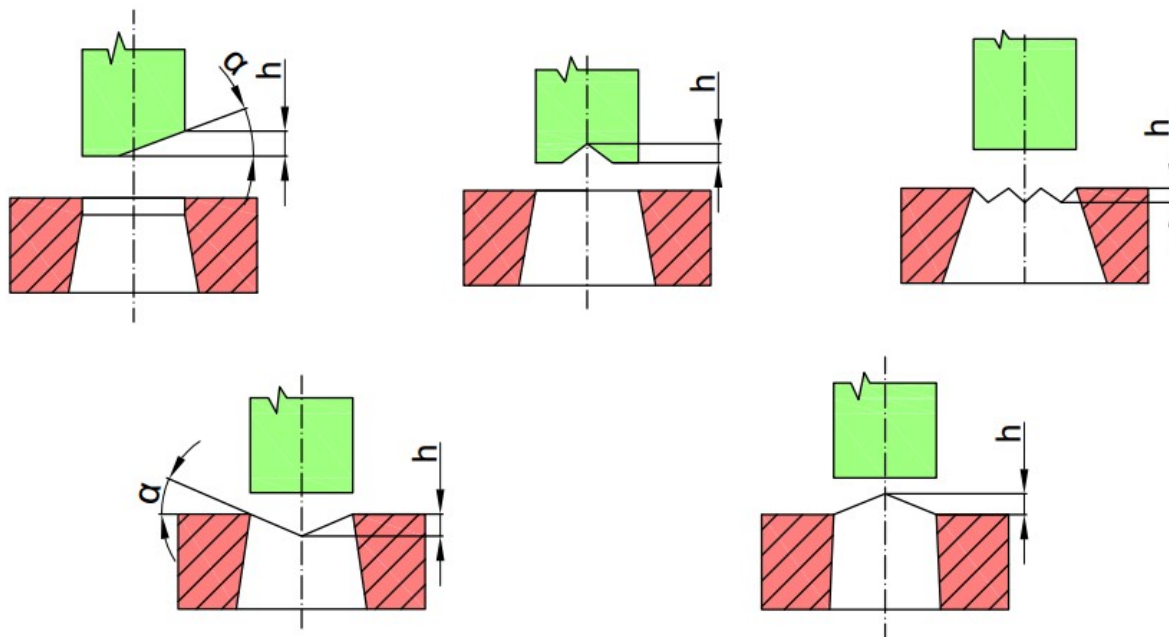
kde: n – opravný koeficient [-]

V případech, kdy se stříhají velké součásti či tlusté plechy, vznikají velké střížné síly. Tyto síly lze snížit různými úpravami stříhadel, například se jedná o zešikmení hran na stříhadlech (obr. 25). Velikost zkosení závisí na tloušťce stříhaného materiálu. Jestliže je tloušťka materiálu $s \leq 3$ mm, volí se velikost zkosení $h \leq 2$ mm, pokud je tloušťka plechu $s = 3$ mm, tak se velikost zkosení volí stejná jako tloušťka materiálu, tj. $h = s$. Další veličinou, kterou je nutno volit, je úhel zkosení a ten se volí dle tab. 2.1.

Tab. 2.1 Volba úhlu zkosení [29]

tloušťka materiálu [mm]	úhel zkosení
$s \leq 3$	$\alpha \leq 5^\circ$
$s \geq 3$	$\alpha \leq 8^\circ$

Pokud se zkosí střížné hrany, tak se střížná síla zmenší o 30 – 60 %, porovnání je na obr. 24. Tato úprava střížných ploch také ovlivní kvalitu střížné plochy výstřižku a odpadu. Při vystřihování se úprava provádí na střížnici a střížník zůstane rovný. Při děrování otvorů se oproti tomu upravuje střížník, což má za následek ohnutí odpadu, ale vystřižená součást zůstane rovná.



Obr. 25 Typy úprav střížných hran [2]

Na střížné síle je přímo závislá střížná práce. Střížná práce je také závislá na velikosti vtlačení střížníku do materiálu. Velikost střížné práce je určena obsahem plochy pod křivkou průběhu střížné síly (obr. 23). Hodnota střížné práce 'A_s' se určí ze vzorce:

$$A_s = \frac{k \cdot F_s \cdot s}{1000} [J], \quad (2.4)$$

kde: k – součinitel, tab. 2.2 [-]
s – tloušťka materiálu [mm]

Tab. 2.2 Hodnoty součinitele 'k'. [2]

Materiál	Tloušťka materiálu s [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel (250 až 350 MPa)	0,70 – 0,65	0,65 – 0,60	0,60 – 0,50	0,45 – 0,35
Ocel (350 až 500 MPa)	0,60 – 0,55	0,55 – 0,50	0,50 – 0,42	0,40 – 0,40
Ocel (500 až 700 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

Další síla, se kterou je nutné počítat u střížného procesu, je stírací síla. Vlivem pružné deformace stříhaného materiálu přilne děrovaný materiál k vnějšímu obvodu střížníku nebo přilne k otvoru ve střížnici. K jeho odstranění z obou částí je nutné vynaložit určitou sílu. Stírací síla je závislá na určitých faktorech, jako jsou velikost střížné vůle, stříhaný

materiál a tvar výrobku. Jestliže je potřeba snížit stírací sílu, je třeba použít vhodné mazání. Velikost stírací síly se vypočítá dle následujících vzorců.

Síla potřebná pro setření materiálu ze střížnice:

$$F_{se} = k_{ev} \cdot F_s \cdot n_v [N], \quad (2.5)$$

kde: k_{ev} – koeficient, viz tab. 2.3 [-]
 n_v – počet výstřížků ve střížnici [-]

Síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku:

$$F_{su} = k_{eu} \cdot F_s [N], \quad (2.6)$$

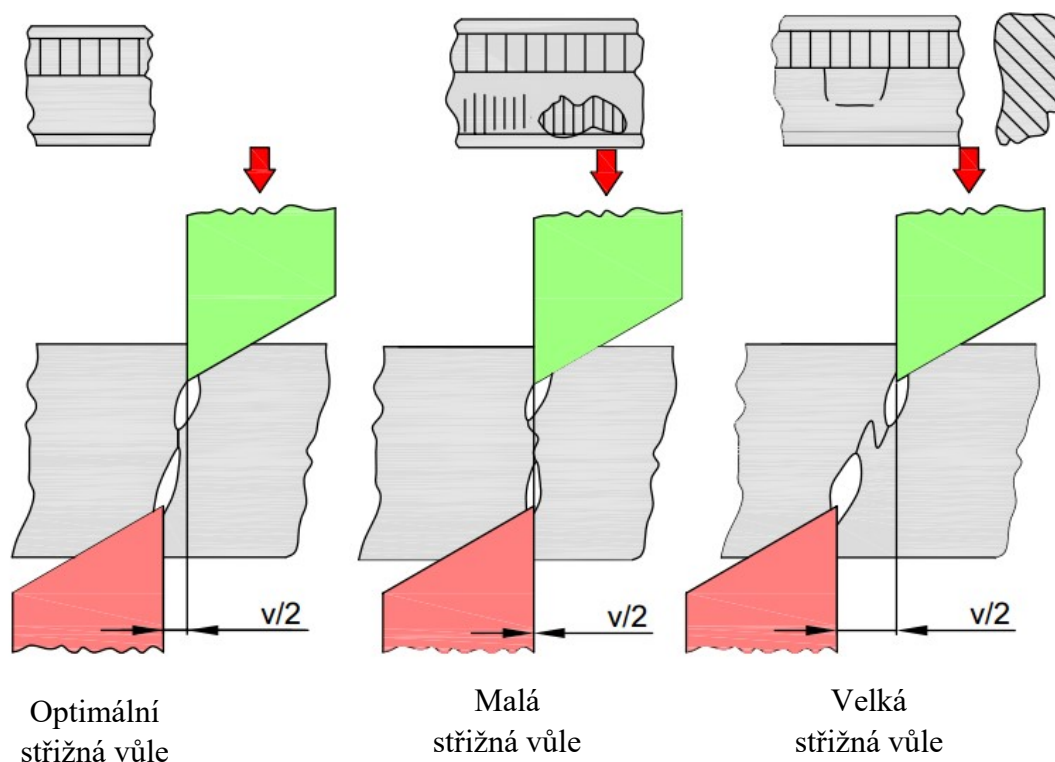
kde: k_{eu} – koeficient, viz tab. 2.3 [-]

Tab. 2.3 Hodnoty koeficientů ' k_{ev} ' a ' k_{eu} '. [2]

Materiál	Koeficient	
	k_{ev}	k_{eu}
Ocel	0,10 – 0,13	0,05
Mosaz	0,06 – 0,07	0,04
Slitiny hliníku	0,09	0,02 – 0,04

2.1.3 Střížná vůle [2, 3, 15, 20, 22, 23, 24, 29, 42]

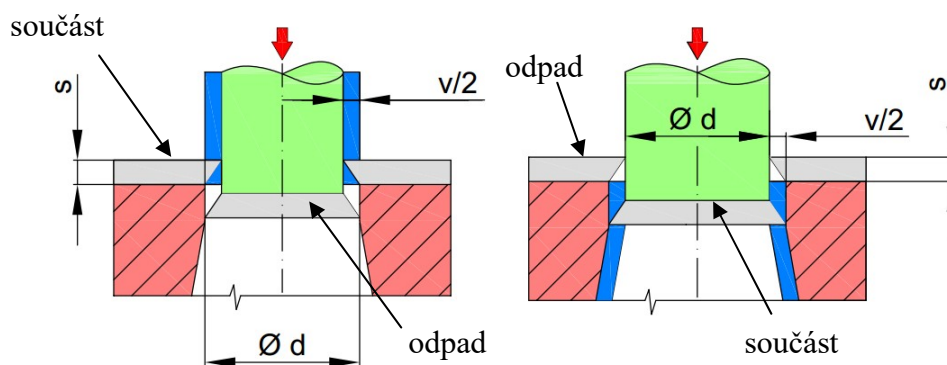
Střížná vůle je rozdíl mezi vnějším rozměrem střížníku a otvorem ve střížnici. Střížná vůle musí být po celé křivce stříhu rovnoměrná. Pokud je její velikost správná, je zajištěno správné setkání trhlín, které vznikají během procesu od bříty střížníku a střížnice. Tento děj probíhá během třetí fáze stříhu, jež byla popsána v kapitole 2.1. Správná velikost střížné vůle zajistí kvalitní střížnou plochu bez velkých otřepů. Pokud by byla střížná vůle velká, nástřihy od střížníku a střížnice se neseťkají a vznikne nerovná a nekvalitní střížná plocha.



Obr. 26 Vliv střížné vůle na kvalitu plochy [29]

Zmenšováním střížné vůle se nepatrně zvětšuje střížná síla, střížná práce se zvětší až o 40 %. Kvalita plochy v závislosti na střížné vůli je zobrazena na obr. 26. Velikost střížné vůle je především závislá na tloušťce a druhu stříhaného materiálu. Velikost střížné vůle má také zásadní vliv na trvanlivost stříhadla.

Střížná vůle se vytváří na úkor střížníku nebo střížnice, vzhledem k požadovanému rozměru hotového výrobku (obr. 27). Při vystříhování vnějšího obrysu součásti se vytvoří střížná vůle zmenšením rozměru střížníku. Naopak je tomu při děrování, kdy se zvětší rozměr střížnice.



Obr. 27 Schéma střížné vůle [2]

Při běžném stříhání se velikost střížné vůle pohybuje mezi 3 a 10 % tloušťky materiálu v závislosti na jeho druhu a tloušťce. Menší střížná vůle se volí pro tlustší a tvárnější materiál. Naopak větší vůle se volí u tvrdšího materiálu. Velikost střížné vůle se volí buď pomocí tabulek, což je méně přesná metoda, nebo přesnější metodou pomocí vzorců. Ve vzorcích se zohledňuje tloušťka a materiálové vlastnosti.

Výpočet střížné vůle:

$$v = 2 \cdot m \text{ [mm]}, \quad (2.7)$$

kde: m – střížná mezera [mm]

Pro plechy do $s \leq 3$ mm:

$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c_m \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.8)$$

Pro plechy kde $s \geq 3$ mm:

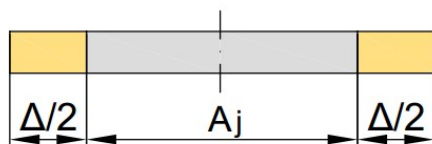
$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c_m \cdot s - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.9)$$

kde: c_m – součinitel (0,005 – 0,035) [-]

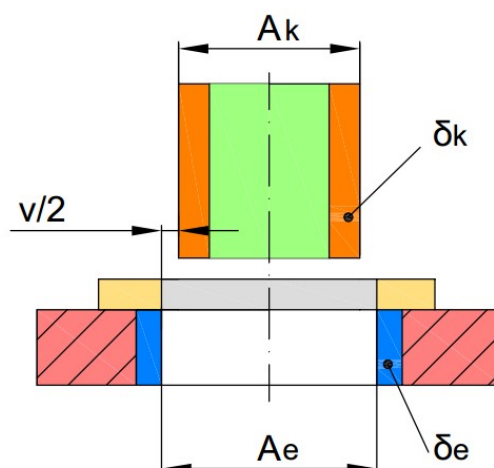
Pokud je požadována minimální střížná síla, volí se vyšší hodnoty součinitele ' c_m '. Pokud je požadovaná kvalitní plocha, je nutné volit nižší hodnoty tohoto součinitele.

Jelikož je nutné vyrobít výstřížky podle předepsaných tolerancí, je zapotřebí zvolit správné rozměry střížníku a střížnice. K volbě správných rozměrů lze přistupovat ze dvou pohledů, buď se jedná o vystříhování, nebo o děrování. Při vystříhování propadá střížnicí hotový výstřížek, při děrování naopak propadá odpad. Toto lze také vidět na obr. 27. Obě metody včetně tolerancí jsou ukázány na obr. 28 a 29.

- Určení rozměrů při děrování:



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



Obr. 28 Tolerance nástrojů při děrování [24]

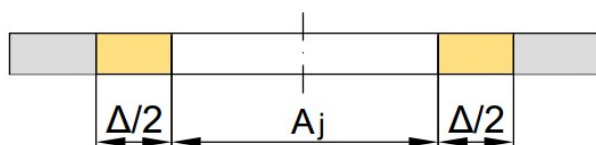
Výpočet rozměru střížnice:

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} [mm], \quad (2.10)$$

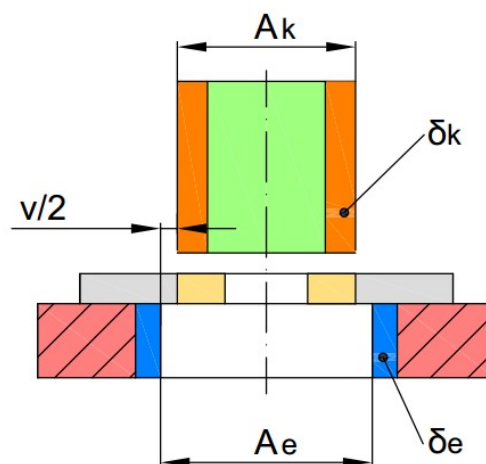
Výpočet rozměru střížníku:

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} [mm], \quad (2.11)$$

- Určení rozměrů při vystřihování:



kde: A_j – jmenovitý rozměr výstřížku
 Δ – výrobní tolerance výstřížku
 A_e – jmenovitý rozměr střížnice
 A_k – jmenovitý rozměr střížníku
 δ_e – výrobní tolerance střížnice
 δ_k – výrobní tolerance střížníku



Obr. 29 Tolerance nástrojů při vystřihování [24]

Výpočet rozměru střížnice:

$$A_e = (A_j - \Delta)^{+\delta_e} [mm] \quad (2.12)$$

Výpočet rozměru střížníku:

$$A_k = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k} [mm] \quad (2.13)$$

2.1.4 Přesnost a kvalita při stříhu [2, 3, 9, 15, 22, 29]

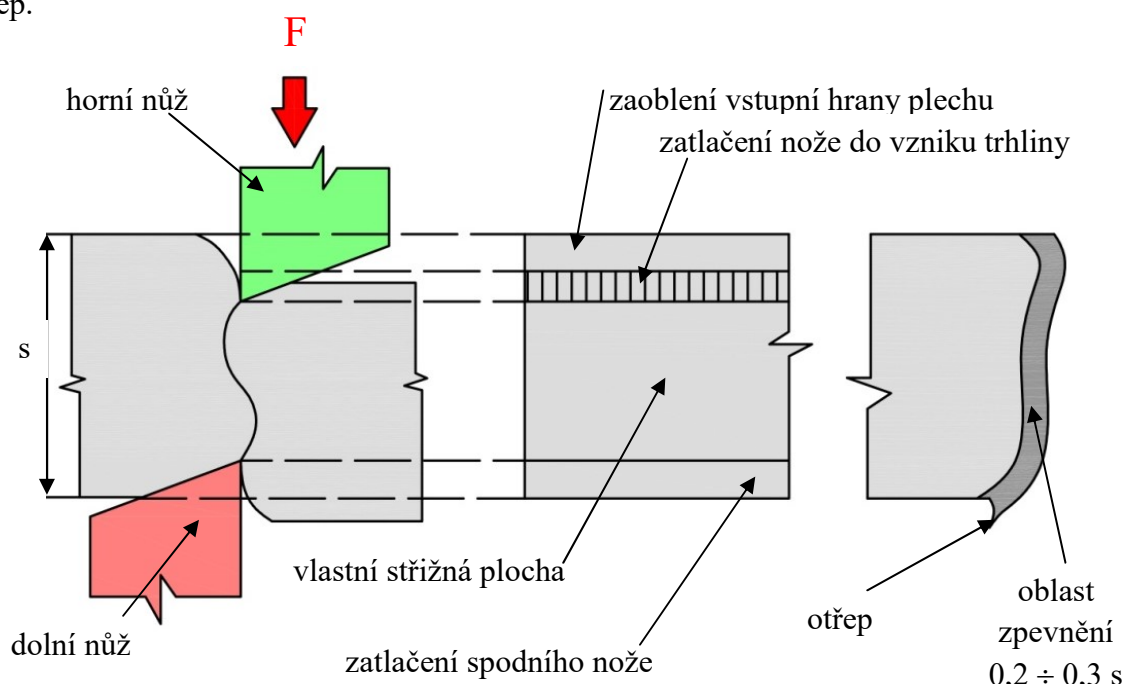
Přesnost součástí, které jsou zhotoveny stříháním, závisí na mnoha faktorech. Tolerance při stříhání se obvykle pohybuje od IT6 do IT12. Nejvyšší přesnost tj. IT 6 – IT 8 se dosahuje u stříhadel pro přesné stříhání. Celková dosahovaná přesnost stříhu je shrnuta v tab. 2.4.

Tab. 2.4 Dosahovaná přesnost stříhu. [2]

Příklady stříhání	Přesnost
Speciální stříhadla pro přesné stříhání	IT 6 – IT 8
Stříhadla s vyšší přesností, s vodícími stojánky a s přidržovači stříhaného materiálu v okamžiku stříhání	IT 9 – IT 11
Plechý o rozměrech menších jak 200 mm a tloušťce do 4 mm	IT 12 – IT 14

Při běžném způsobu stříhání nedosahuje kvalita střížné plochy dobré kvality. Střížná plocha je zkosená a její povrch dosahuje vysoké drsnosti. Dosahovaná drsnost střížného povrchu se pohybuje v rozmezí $Ra\ 2,5 - 6,3$. Navíc u stříhaných součástí vzniká na střížné hraně otřep. Otřep není na většině vyráběných součástí žádoucí, a proto se provádí opatření pro jeho minimalizaci. Na velikost vzniklého otřepu má zásadní vliv stav střížníku a střížnice a také druh maziva.

Na střížné ploše, která má většinou tvar písmene ‘S’ lze nalézt 4 pásma (obr. 30). První pásmo je pásmo zaoblení vstupní hrany plechu. Druhé pásmo je nazýváno jako pásmo plastického stříhu a při něm dochází k zatlačení nože až do vzniku trhliny. Třetí pásmo nazývané jako pásmo utržení je v podstatě vlastní střížná plocha a poslední pásmo je tzv. pásmo otlačení od spodního nože. Na konci čtvrtého pásma může vznikat zmíněný otřep.



Obr. 30 Schéma stříhu [9]

Jako další faktor, který má vliv na kvalitu povrchu je zpevnění materiálu v oblasti stříhu. Materiál se zpevňuje v důsledku vznikající plastické deformace. Zpevnění má také přímý vliv na mechanické vlastnosti stříhaného materiálu. V oblasti stříhu se zvyšuje mez kluzu a také

pevnost, a zároveň klesá tažnost. Zpevnění nastává v hloubce 0,2 – 0,3 z tloušťky stříhaného materiálu.

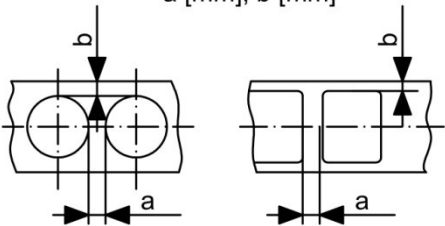
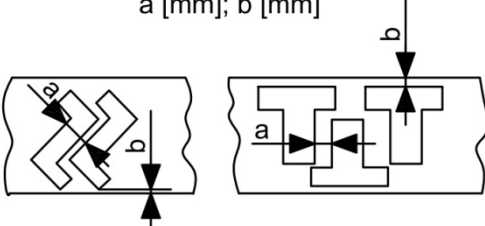
Další vlivy na kvalitu a přesnost:

- přesnost zhotovení střížníku a střížnice,
- konstrukce nástroje,
- druh a stav stříhaného materiálu,
- druh a stav stříhadla,
- velikost střížné vůle,
- pružné deformace při stříhání,
- tloušťka a přesnost rozměru stříhaného materiálu.

2.1.5 Nástřihový plán [3, 20, 22, 29, 42]

Nástřihový plán slouží k umístění výstřížků na tabuli či svitek plechu. Při jeho navrhování se musí dodržet několik důležitých hledisek. Důležitým faktorem je ekonomické hledisko, při němž je snaha umístit výstřížky tak, aby byl vzniklý odpad minimální. Při navrhování se musí přihlížet na velikost střížné mezery mezi výstřížky a také na velikost okraje mezi hranou plechu a hotovým výstřížkem. Hodnoty jsou v tab. 2.4.

Tab. 2.5 Ukázka vzdáleností mezi výstřížky [29]

Tloušťka materiálu 's' [mm]	a [mm]; b [mm]		a [mm]; b [mm]	
				
0,3	1,4		2,3	
0,5	1,0		1,8	
1	1,2		2,0	
1,5	1,4		2,2	
2	1,6		2,5	
2,5	1,8		2,8	
3	2		3	
3,5	2,2		3,2	
4	2,5		3,5	
5	3		4	
6	3,5		4,5	
7	4		5	
8	4,5		5,5	
9	5,5		6	

Procentuální využití materiálu se vypočítá dle vzorce:

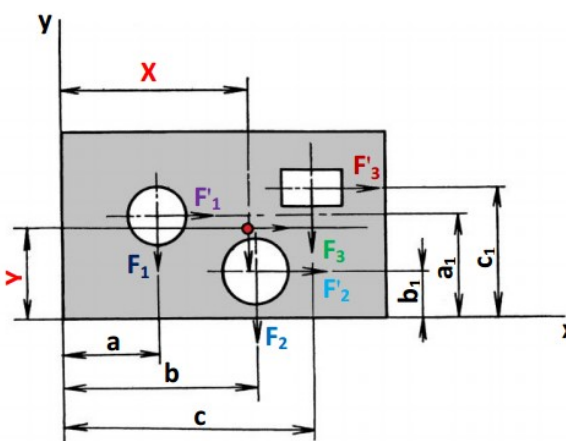
$$\eta = \frac{n_{so} \cdot S_0}{S_p} \cdot 100 [\%], \quad (2.14)$$

kde: n_{so} – počet součástí z jednoho svitku [-]
 S_0 – plocha součásti [mm²]
 S_p – plocha polotovaru [mm²]

2.1.6 Těžiště střížných sil [20, 29, 42]

Těžiště střížných sil u nástrojů je potřeba znát, protože nástroj musí být upnut do výslednice střížných sil. Což znamená, že výslednice musí ležet v ose lisu souhlasně s osou upínací stopky. Pokud bude těžiště nesprávně zvolené, bude beran lisu zatížen klopným momentem. Z toho důvodu by výrobky mohly být nepřesně vyrobené a snížila by se trvanlivost břitů. Také by docházelo k dřívějšímu opotřebení beranu lisu.

U jednoduchých součástí se poloha těžiště určí velmi snadno, protože těžiště leží v těžišti obvodu součásti. U složitějších součástí jsou 3 metody jak určit polohu těžiště. První je grafická metoda. Tato metoda je poměrně náročná, zdoluhavá a nejméně přesná. Druhou metodou je početní metoda (obr. 31), která je spíše využívána než metoda předchozí. Jak již název říká, těžiště se počítá dle jednoduchých vzorců. Třetí metoda je nejsnazší, k určení těžiště se používají konstrukční programy jako je Inventor nebo SolidWorks. Tyto programy také vychází z početní metody.



Obr. 31 Výpočet těžiště střížných sil [29]

Početní metoda určení těžiště:

$$F_y \cdot Y = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c + \dots + F_n \cdot z \quad (2.15)$$

kde: F_y – součet dílčích střížných sil [N]
 Y – vzdálenost výslednice sil od osy x [mm]
 $a, b, c, \dots$ – vzdálenosti sil F_1, F_2, F_3 od osy x [mm]

$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c + \dots + F_n \cdot z}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n} [mm] \quad (2.16)$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot a_1 + F_2' \cdot b_1 + F_3' \cdot c_1 + \dots + F_n' \cdot z_1}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n} [mm] \quad (2.17)$$

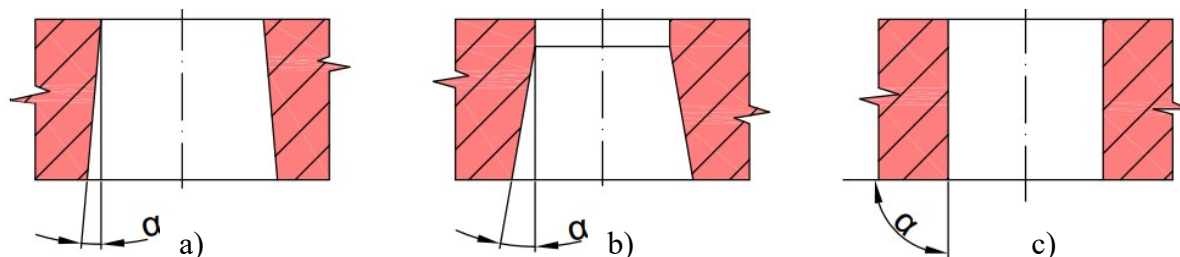
kde: a_1, b_1, c_1 – vzdálenosti sil F_1', F_2', F_3' od osy x [mm]
 X – vzdálenost výslednice sil od osy y

2.1.7 Střížný nástroj [3, 16, 20, 24, 28, 29, 39, 42]

Střížný nástroj se skládá ze dvou hlavních částí – střížnice a střížníku, dále z částí sloužící k upevnění nástroje, k vedení materiálu a k vedení horní a dolní části nástroje proti sobě. Funkce a konstrukce střížnice a střížníku zde bude postupně podrobně popsána.

Střížnice je činná část střížného nástroje, která bývá upevněná na základové desce buď přímo, nebo nepřímo. Střížnice je vyrobena buď jako celistvá, nebo skládaná. To závisí na velikosti, tvaru a technologii výroby. Skládaná střížnice se hlavně používá pro stříhání složitějších výstřížků a pro tváření ve více operacích. Tvar střížné hrany může mít tři podoby a to kónickou, kónickou s fazetkou a válcovou. Střížnice s kónickou hranou (obr. 32 a) slouží pro stříhání malých součástí střední přesnosti a úhel je v rozmezí od 10' do 1° (dle tloušťky

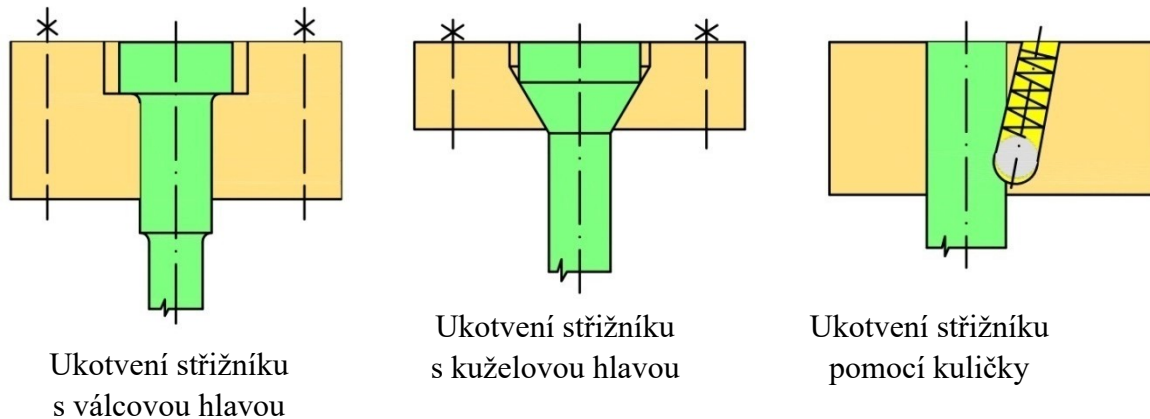
stříhaného plechu), tento tvar se používá pro malé série, jelikož se jakýmkoliv přebroušením střížné plochy zvětšuje otvor ve střížnici. Tvar střížné hrany kónický s fazetkou (obr. 32 b) slouží pro přesné tvarově složité součásti a šířka fazetky je v rozmezí 3 – 15 mm a úhel konusu je mezi 3 – 5 °. Tento tvar se používá nejčastěji, protože při velké sérii lze přebrousit otvor ve střížnici, fazetka se sníží a opět vznikne ostrá hrana na střížnici s přesným otvorem. Válcový tvar střížné hrany se používá pro střížnice, které se používají s vyhazovačem a pro přesné stříhání s nátlacnou hranou. Tento typ je ukázán na obr. 32 c.



Obr. 32 Tvary střížné hrany [24]

Střížnice mimo střížné otvory ještě obsahují otvory pro dorazy, boční ostříhovače a připevňovací a středící elementy. Celistvé střížnice se používají pro jednodušší a menší součásti. Střížnice složitého tvaru a větší jak 200 mm se vyrábí jako dělené. To znamená, že se obvod střížnice rozdělí na řadu segmentů, které se buď zalisují do měkké nekalené střížnice, nebo se připevní na základovou desku šrouby a pojistí kolíky, což je častější způsob upínání. Střížnice se obvykle vyrábí z tzv. nástrojových ocelí třídy 19, např. 19 191, 19 312, 19 346 a bývají kaleny na hodnoty HRC 61 – 63.

Střížník je další činná část střížného nástroje a tvoří protikus střížnice. Střížníky se upevňují do kotevní desky pomocí tří základních způsobů. Nejčastěji se používá střížník s válcovou hlavou (obr. 33 a), hlavně u větších průměrů a rotačních a prizmatických tvarů. Další způsoby ukotvení jsou s kuželovou hlavou (obr. 33 b), které se používá pro menší průměry a posledním způsobem je ukotvení střížníku pomocí kuličky (obr. 33 c). Způsob kotvení je závislý na druhu polotovaru a tvarové složitosti střížníku.



Obr. 33 Ukotvení střížníků [24]

Kotvení zajišťuje střížník proti vytažení z kotevní desky stírací silou, která bývá kolem 20 % střížné síly. Střížníky dále mohou být buď bez vedení, nebo s vedením pomocí vodící desky. Toto má také vliv na vzpěrnou stabilitu střížníku, přičemž je daleko výhodnější vedený střížník. Střížníky se jako střížnice vyrábí z nástrojové oceli třídy 19, např. 19 191, 19 312, 19 346 a bývají kaleny na hodnoty HRC 61 – 63.

Mezi základní kontroly střížníků patří kontrola na otláčení a kontrola vzpěrné délky. Při kontrole na otláčení se zjistí velikost napětí na dosedací ploše střížníku. Kontrola se provádí následujícím výpočtem:

$$\sigma = \frac{F_s}{S} [\text{MPa}], \quad (2.18)$$

kde: S – plocha průřezu střížníku [mm^2]

Vypočtené napětí ' σ ' musí dosahovat menších hodnot, než je maximální dovolené napětí materiálu upínací desky. Pokud dovolené napětí přesáhne maximální hodnotu, je potřeba použít kalenou ocelovou opěrnou desku, která má v tlaku vyšší dovolené napětí. Tím nedojde k otláčení dosedací plochy upínací desky ani střížníku.

Další kontrolou je kontrola vzpěrné délky. Pokud by byla délka střížníku velká a začala by na ní působit střížná síla, mohlo by dojít k vybočení střížníku mimo jeho osu. Vzpěrná délka vychází z Eulerova vztahu pro vzpěrnou pevnost, kde se kritická síla vypočte ze vzorce:

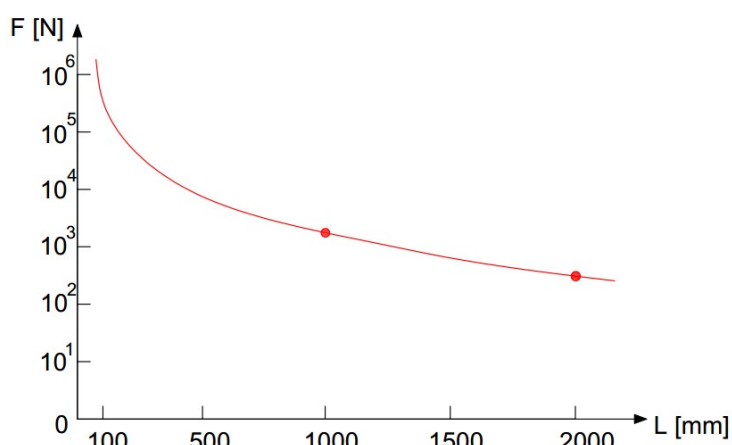
$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} [\text{N}], \quad (2.19)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa]

J_{min} – minimální kvadratický moment průřezu [mm^4]

L – redukovaná délka prutu [mm]

Ze vzorce je na první pohled patrné, že velikost kritické síly ' F_{kr} ' je nepřímo úměrná na druhé mocnině délky prutu (střížníku). Pokud se bude do vzorce dosazovat stále vyšší hodnota a vypočtené síly se vynesou do grafu, vytvoří hyperbolickou závislost, zvanou Eulerova hyperbola, obr. 34.



Obr. 34 Eulerova hyperbola [28]

Z grafu je vidět, že u dlouhých prutů je kritická síla velmi malá a se zvětšující se délkou se blíží nule. Stabilita prutu by mohla být narušena již účinkem vlastní tíhy. U malých délek prutů naopak roste kritická síla do nekonečně vysokých hodnot a prut by se porušil překročením meze pevnosti v tlaku již dávno před dosažením hodnoty kritické síly. Mezi těmito případy leží oblast praktického použití výpočtu na vzpěr dle Euleru.

Kromě toho je prozatím předpoklad, že modul pružnosti materiálu v tahu ' E ' je konstantní. Výpočet se pohybuje v oblasti platnosti Hookeova zákona, tedy po mez kluzu materiálu ' σ_k '. Podíl kritické síly ' F_{kr} ' a velikosti průřezu ' S ' představuje kritické napětí, které je vlastně napětím v tlaku, ovšem s určitými specifickými zvláštnostmi. Z toho vyplývá rovnice:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{S} < \sigma_k, \quad (2.20)$$

kde: σ_{kr} – napětí na mezi vzpěrné pevnosti [MPa]

Dalším faktorem, který je důležitý pro výpočet vzpěrné stability, je štíhlost prutu, která se označuje 'λ'. Obecný vzorec pro výpočet štíhlosti prutu je:

$$\lambda = \frac{L}{j_{min}} [-], \quad (2.21)$$

kde: j_{min} – kvadratický poloměr průřezu [mm^2] ($j_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{S}}$)

Kritické napětí a tedy i vybočení, závisí pouze na modulu pružnosti materiálu v tahu 'E' a na mezi kluzu 'σ_k', nikoli na mezi pevnosti 'σ_p'. Eulerova rovnice platí pouze v oblasti pružného vzpěru, tj. pokud:

$$\lambda \geq \lambda_m, \quad (2.22)$$

kde: λ_m – mezní štíhlost prutu [-], je volena dle tab. 2.6

Tab. 2.6 Mezní štíhlost prutu 'λ_m' [99]

Materiál	'λ _m '
Uhlíkové oceli	90 – 105
Niklové oceli	86
Pružinové oceli	60
Šedá litina	80
Dřevo	100

Pokud je platný vztah 2.22, jedná se o pružný vzpěr, a tudíž je v platnosti kritická síla 'F_{kr}' dle Euleru. Pro praktický výpočet se místo kritické síly do výchozího vzorce 2.19 dosadí sřížná síla. Poté se vyjádří délka sřížníku. Jak již bylo zmíněno, používají se sřížníky nevedené a vedené. To také ovlivňuje vzpěrnou délku (obr. 35). Jak je vidět na obrázku tak pokud je sřížník nevedený, jedná se o volný konec a za redukovanou délku prutu 'L' se dosadí dvojnásobek délky sřížníku. Pokud je sřížník vedený, dosadí se $0,75 \approx \sqrt{2}$ délky sřížníku. Z toho vyplývají vzorce pro délky sřížníku.

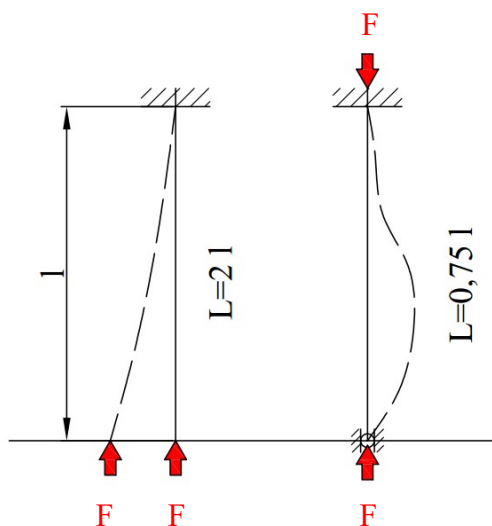
Délka sřížníku pro nevedený sřížník:

$$l = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{4 \cdot F_s}} [mm] \quad (2.23)$$

Délka sřížníku pro vedený sřížník:

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{F_s}} [mm] \quad (2.24)$$

Pokud by neplatila rovnost 2.22, tj. při menších hodnotách štíhlosti 'λ', nastává oblast nepružného vzpěru, kde neplatí Eulerova závislost. V této oblasti je Eulerova závislost



Obr. 35 Vzpěrné délky sřížníků [16]

nahrazena závislostí Tetmajerovou. Pro výpočet dle Tetmajera je potřeba znát již vypočtenou štíhlost ' λ ' a poté dle tab. 2.7 vypočítat napětí na mezi vzpěrné pevnosti ' σ_{kr} '.

Tab. 2.7 Výpočet dle Tetmajera [28]

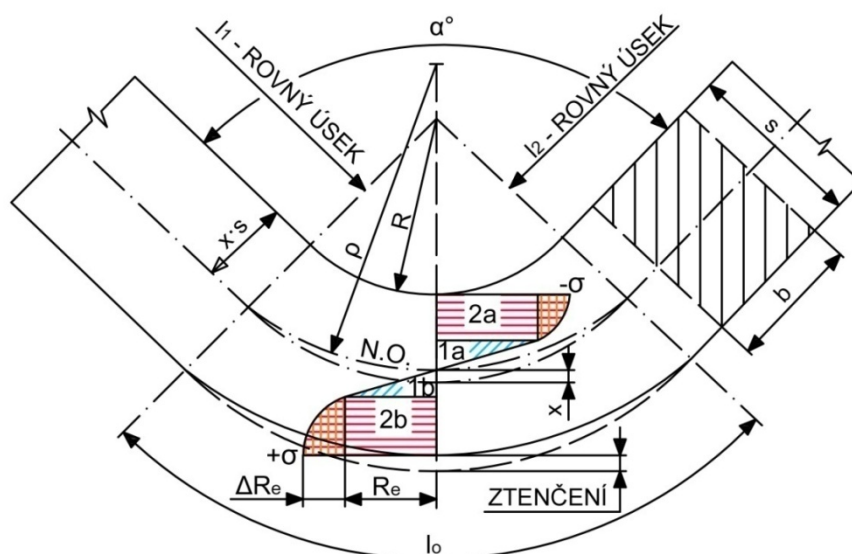
Materiál	σ_{kr}	Štíhlost λ	
		Od	Do
Ocel 11 423	$289 - 0,28\lambda$	60	100
Ocel 11 500	$335 - 0,62\lambda$	60	100
Slitinová ocel	$589 - 3,82\lambda$	22	86
Šedá litina	$776 - 12\lambda + 0,053\lambda^2$	0	80

2.2 Technologie ohýbání

Ohýbání je tvářecí proces, při němž dochází k trvalé plastické deformaci materiálu. Proces ohýbání lze realizovat za studena nebo za tepla. Většinou se však provádí za studena. Ohýbání za tepla se používá u tvrdých a křehkých materiálů. K ohýbání plechů se používají ohýbadla, což jsou nástroje s hlavními funkčními částmi, ohybnicí a ohybníkem. Přetvoření tělesa do požadovaného tvaru využívá stejné zákony plasticity jako u ostatních způsobů tváření. To znamená, že prvně nastává elastická deformace, a po překročení meze kluzu nastává plastická deformace. Jelikož je u procesu přítomna právě elastická deformace, vzniká po ukončení tváření změna tvaru součásti. Tento proces se nazývá odpružení a je nutné mu věnovat zvýšenou pozornost. Základní způsoby ohýbání plechů jsou ohýbání do tvaru U a tvaru V, které budou často zmiňovány a následně popsány.

2.2.1 Proces ohýbání [1, 18, 23, 30, 34, 36]

V průběhu ohýbání dochází k přetvoření specifického objemu součásti, kde deformace i napětí mění svůj smysl i velikost (obr. 36). Ohýbání je elasticky-plastická deformace. Jelikož jsou přítomny elastické deformace, dochází k odpružení ohýbané součásti po ukončení tváření. Elastické deformace působí pouze do meze kluzu, pokud má být součást ohnuta trvalými deformacemi, musí mez kluzu překročit.



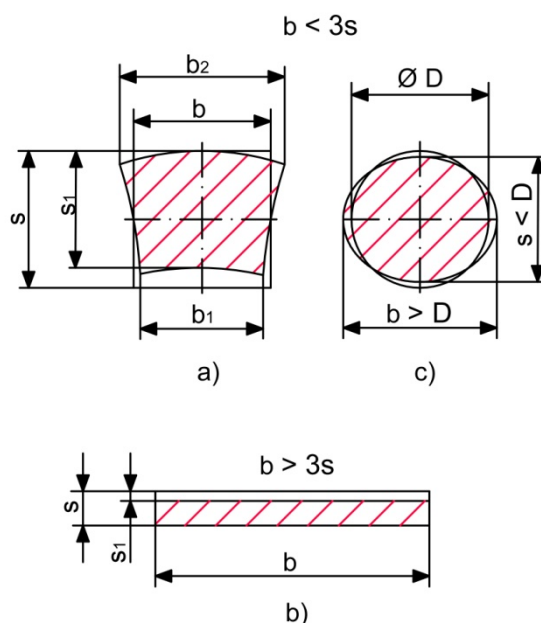
Obr. 36 Velikost a rozložení napětí v materiálu [30]

Pokud se dále zvětšuje ohybová síla, do hloubky průřezu se rozšiřují pásma trvalých deformací. Jsou rozlišována tři určitá pásma, která v místě ohybu vznikají. Na vnitřní straně je to pásmo trvalého spěchování, uprostřed se nachází pásmo pružných deformací a na vnější straně vzniká pásmo trvalého prodloužení. Napětí v tahu je rozhodující pro kvalitu ohýbané části. Napětí svojí hodnotou nesmí přesáhnout mez pevnosti v tahu pro daný materiál. Pokud by napětí přesáhlo mez pevnosti, dojde k porušení soudržnosti materiálu.

Vlivem rozložení napětí se může měnit tvar průřezu A-A. Například u úzkých pásů se pravoúhlý tvar změní na lichoběžníkový tvar obr. 37 a.

Se zvětšující se šířkou ohýbaného pásu se zmenšuje příčná deformace. Nakonec se stane malou kvůli značnému odporu, který je způsoben velkou šířkou pásu. U širokých pásů se deformace projeví mírným zaoblením tažných hran. V praxi se tato deformace zanedbává a považuje se za rovinnou, obr. 37 b. Deformace jsou shrnuty v tab. 2.8.

Kruhové průřezy jsou závislé na poloměru ohybu a nastávají u nich dva stavy. Jestliže je poloměr ohybu $R \geq 1,5d$, průřez se nemění a v podstatě zůstává kruhový. Jestliže je poloměr ohybu $R \leq 1,5d$, změní se kruhový průřez buď na oválný, nebo na vejčitý průřez, obr. 37 c.



Obr. 37 Deformace profilů [34]

Tab. 2.8 – Schéma napjatosti a deformace při ohybu [34]

Pásky nebo polotovary	Pásmo příčného řezu	Schématu stavu napjatosti	Schématu stavu deformace	Rovnice plynoucí ze zákona zachování objemu
Úzké ($b < t$)	Stlačované			$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$
	Natahované			
Široké ($b > 3t$)	Stlačované			$\pm \varepsilon_1 = \pm \varepsilon_3$
	Natahované			

2.2.2 Odpružení při ohybu [1, 10, 22, 23, 30, 36, 42]

Jak již bylo zmíněno, odpružení vzniká v důsledku elastické deformace a to při tváření za studena. Když přestane na ohýbanou součást působit vnější síla, elastická deformace zapříčiní odpružení. Ohýbaná součást má náchylnost vracet se o úhel odpružení ' γ ' do původního stavu (obr. 38). Význam úhlu odpružení narůstá s délkou ramen. Velikost odpružení je závislé na tloušťce polotovaru, kvalitě materiálu, úhlu ohybu, poloměru ohybu a způsobu provedení ohybu. Odpružení se většinou pohybuje v rozmezí 3 – 15°.



Obr. 38 Odpružení materiálu pro ohyb do tvaru U a V [22]

Velikost úhlu odpružení ' γ ' bývá určována buď podle empirických vztahů, nebo z tabulek (tab. 2.9). U výpočtu úhlu odpružení se rozeznává ohyb do tvaru U a tvaru V:

Úhel odpružení pro tvar V:

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,375 \cdot \frac{l_o}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.25)$$

Úhel odpružení pro tvar U:

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.26)$$

kde: γ – úhel odpružení [°]

l_o – vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]

l_m – rameno ohybu $l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s$ [mm]

kde: r_m – poloměr zaoblení hran ohybnice [mm]

r_p – poloměr zaoblení hran ohybníku [mm]

k_o – součinitel určující polohu neutrální osy $k = 0,5 - 0,68$ [-]

R_e – mez kluzu tvářeného materiálu [MPa]

Tab. 2.9 – Hodnoty úhlu odpružení [22]

Materiál	R/s	
	0,8 ÷ 2	> 2
< 320 MPa Ocel σ_{pt} 320 ÷ 400 MPa > 400 MPa	1°	3°
	3°	5°
	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

Velikost odpružení lze snížit určitými způsoby. Prvním ze způsobů je, že ohyb bude proveden o požadovaný úhel ohnutí a navíc o úhel odpružení. Druhým způsobem ke snížení odpružení je kalibrace. Kalibrace se provádí až po samotném ohybu tak, že se ohýbací síla zvýší na kalibrační sílu, zpravidla je toto navýšení o 30 %. Dalšími způsoby ke snížení odpružení je zpevnit materiál v rozích rázem, postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu, podbrousit pohyblivé čelisti, zaoblit dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem 'R', vytvořit vyztužovací žebra v místech ohybu, zpevněním materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech.

2.2.3 Výchozí délka polotovaru [1, 10, 18,22, 23,30, 34, 36, 38, 42]

Polotovar, jehož střední osa před deformací ohybem prochází středem tloušťky nebo osou polotovaru není při ohybu totožná s neutrální osou. Neutrální osa se při ohýbání posouvá směrem k vnitřní straně ohýbaného polotovaru (obr. 39). Na neutrální ose je místo či vrstva, kde jsou nulové hodnoty napětí a deformace. Navíc neutrální osa odděluje oblast zatíženou tahem od oblasti zatíženou tlakem.

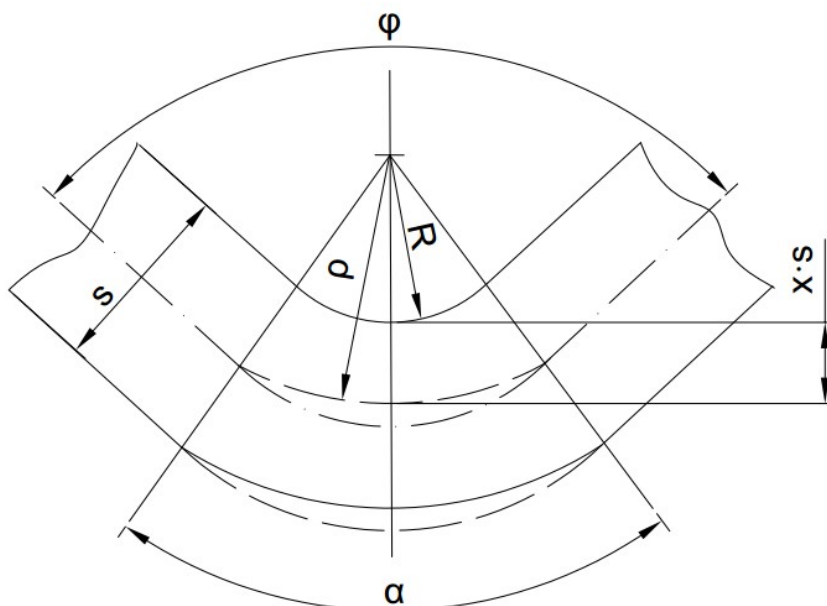
Při výpočtu polohy neutrální osy se uvažují dva případy:

Ohyb na velké poloměry ohybu, kdy: $R/s \geq 12$

Poloměr neutrální osy se vypočte jako: $\rho = R + s/2$, jelikož dochází pouze k malým deformacím. V tomto případě se uvažuje, že neutrální osa se neposune a z toho vyplývá, že neutrální osa zůstane uprostřed tloušťky tvářeného materiálu.

Ohyb na malé poloměry ohybu, kdy: $R/s \leq 6$

Poloměr neutrální osy se vypočte jako: $\rho = R + x \cdot s$, jelikož se při ohýbání neutrální osa posouvá k vnitřnímu poloměru, vzniká poměrně velká deformace. Dále se stlačují vlákna a dochází ke změně tloušťky průřezu tvářeného materiálu.



Obr. 39 Posunutí neutrální osy [36]

Výpočet výchozí délky polotovaru, vychází z délky neutrální osy. Vyráběná součást se rozdělí na ohnuté a rovné úseky. Délka rovných úseků se nezmění. U ohnutých úseků

se prvně vypočítá poloměr neutrální osy a poté se vypočte délka neutrální osy. Poloměr neutrální osy se vypočte dle vztahu:

$$\rho = R + x \cdot s \quad (2.27)$$

kde: R – poloměr ohybu [mm]
 x – součinitel posunutí neutrální osy [mm], volen dle tab. 2. 10

Tab. 2.10 – Hodnoty součinitele 'x' [2]

Pevnost materiálu σ_{pt} [MPa]	Poměr R/s										
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
Do 400	0,25	0,3	0,37	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,5
Nad 400				0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,46

Poté se vypočte délka neutrální osy dle vztahu:

$$l_n = \frac{2 \cdot \pi}{360} \cdot \varphi \cdot \rho = \frac{\pi}{180} \cdot \varphi \cdot (R + x \cdot s) [mm] \quad (2.28)$$

kde: l_n – délka neutrální osy [mm]
 φ – úhel oblouku neutrální osy [°]

Délku neutrální osy ovlivňuje řada faktorů, jako např. poloměr ohybu 'R', tloušťka tvářeného materiálu a úhel oblouku neutrální osy.

Konečná délka polotovaru se v poslední fázi staví jakou součet všech délek, jak ohnutých úseků, tak přímých úseků:

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^n l_{oi} [mm] \quad (2.29)$$

kde: l_c – délka polotovaru [mm]
 l_i – délka rovného úseku [mm]
 l_{oi} – délka ohnutého úseku [mm]

2.2.4 Minimální a maximální poloměry ohybu [1, 10, 15, 18, 22, 30, 36, 42]

Minimální poloměr ohybu ' R_{min} ' je minimální poloměr, kterého lze dosáhnout. Pokud by nastalo další zatěžování s ohybem, vznikla by na vnější straně prasklina. Minimální poloměr ohybu je závislý na řadě faktorů, jako jsou:

- plastičnost a anizotropie použitého materiálu,
- způsob ohýbání,
- úhel ohýbání,
- kvalita povrchu,
- šířka a tloušťka ohýbaného polotovaru.

Vzorec pro početní stanovení minimálního poloměru ' R_{min} ':

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = C \cdot s = \frac{s}{2} \cdot \frac{1 - A}{A} [mm], \quad (2.30)$$

kde: ε_{max} – trvalá poměrná deformace [MPa]
 C – materiálová konstanta [-], která se volí dle materiálu (tab. 2.11)
 A – tažnost ze zkoušky tahem [%]

Tab. 2.11 Určení materiálové konstanty 'C' [15]

Materiál	Měkká ocel	Měkká mosaz	Hliník	Dural	Měkká měď
Součinitel C	0,5÷0,6	0,3÷0,4	0,35	3÷6	0,25

Velikost materiálové konstanty 'C' je závislá na kvalitě plechu, tloušťce tvářeného polotovaru a zároveň se mění se směrem vláken.

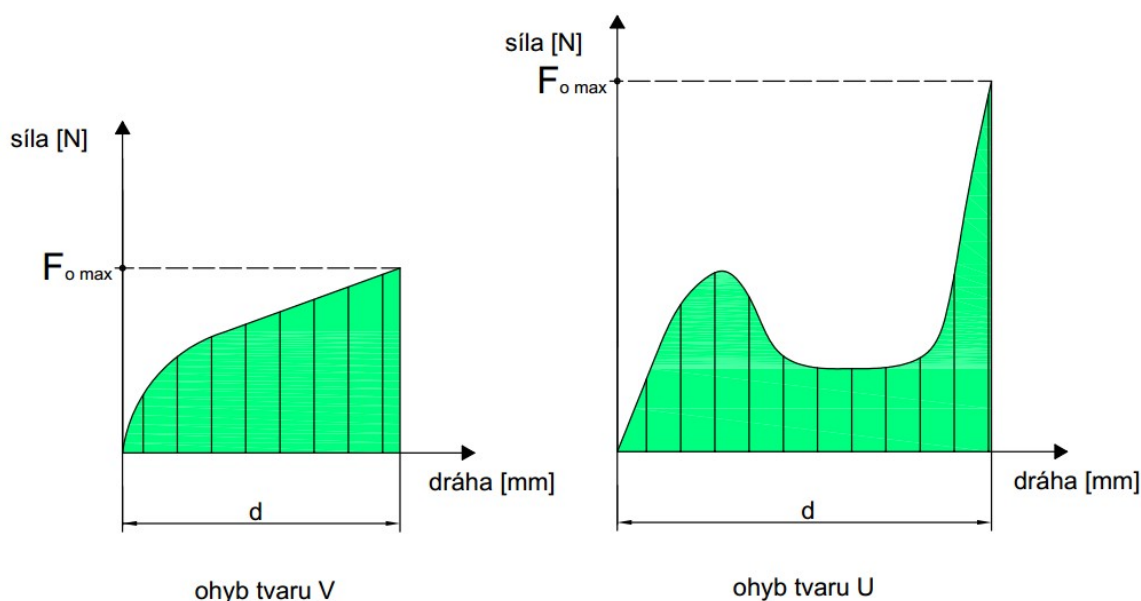
Nejllepší je provádět ohyb napříč směru vláken v daném polotovaru. U nedostatečně plastických materiálů může docházet ke vzniku trhlin na vnější straně díky intenzivnímu deformačnímu zpevnění. Hodnoty minimálního poloměru se v praxi zpravidla volí o 20 % větší.

Maximální poloměr ' R_{max} ' je naopak největší poloměr, kterého lze dosáhnout. Vznikne v první fázi ohýbání, kdy napětí překročí mez kluzu a vnější vlákna jsou již trvale deformovaná plastickou deformací. Aby došlo k tomuto procesu, tudíž aby zůstal polotovar ohnutý, je nutné splnit podmínku danou rovnicí:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) [mm], \quad (2.31)$$

2.2.5 Ohýbací síla a práce [1, 9, 15, 34, 42]

Jak již bylo řečeno, mezi základní způsoby ohýbání materiálu patří ohyb do tvaru U a V. Průběhy ohýbací síly, pro oba způsoby jsou na obr. 40.



Obr. 40 Průběh ohýbací síly [9]

Velikost ohýbací síly závisí na tvaru ohybu. Při výpočtu do tvaru V si lze představit materiál jako nosník na dvou podporách zatížený uprostřed silou. Ohýbací síla ' F_o ' pro ohyb do tvaru V se vypočte:

$$F_o = \frac{R_e \cdot b \cdot s^2}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_o}{2} [N] \quad (2.32)$$

kde: b – šířka materiálu [mm]
 α_o – úhel ohybu [°]

Při výpočtu ohybové síly do tvaru U si lze materiál opět představit jako nosník na dvou podporách, ale který je zatížený dvěma silami. Ohýbací síla pro ohyb do tvaru U se vypočte:

$$F_o = (1 + 7 \cdot f_t) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{r_p + s} [N], \quad (2.33)$$

kde: f_t – součinitel tření [-]
 r_p – poloměr ohybníku [mm]

Jelikož působí síla na plech a vtlačuje ho do ohybnice, musí se zajistit, aby nedocházelo k posunutí materiálu a byly vyrobeny přesné součásti, k tomuto se používá přidržovač. Ohýbací síla se tedy musí zvýšit o sílu přidržovače ' F_p ':

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o [N], \quad (2.34)$$

Práce také záleží na tvaru ohybu. Ohybová práce ' A_o ' vyžadovaná pro ohyb do tvaru V:

$$A_o = \frac{F_o \cdot h \cdot k_v}{1000} [J], \quad (2.35)$$

kde: h – zdvih [mm]
 k_v – součinitel respektující průběh ohýbací síly [-], $k_v = 1/3s$

Ohybová práce vyžadovaná pro ohyb do tvaru U:

$$A_o = \frac{(F_o + F_p) \cdot h}{2 \cdot 1000} [J], \quad (2.36)$$

2.2.6 Ohýbací nástroje [20, 28, 38]

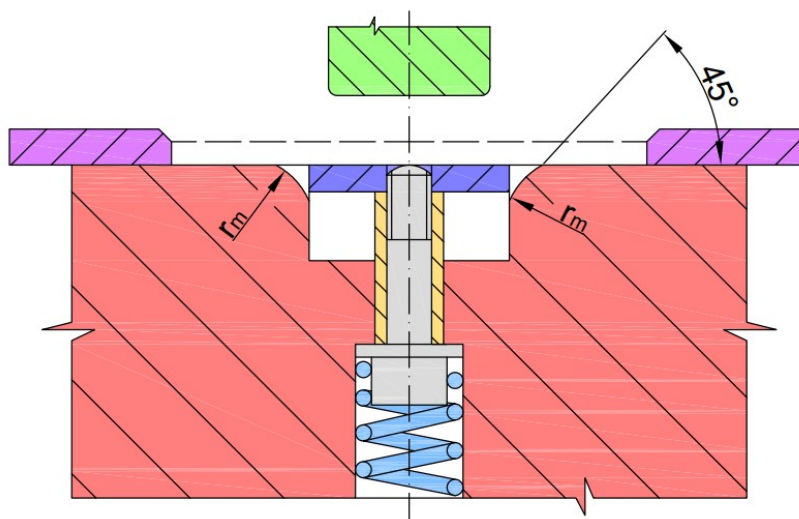
Ohýbací proces probíhá ohýbáním polotovaru mezi dvěma činnými částmi nástroje, ohybníkem a ohybnicí. Dále se nástroj obvykle skládá z vodící desky, dorazu a vyhazovače. Konstrukce ohýbacích nástrojů je závislá na tvaru a rozměrech součástí, na použitém tvářecím stroji a na počtu vyráběných kusů. Funkce a konstrukce ohybnice a ohybníku zde bude postupně podrobně popsána.

Ohybnice, čili pevná ohýbací čelist je činná část ohybového nástroje, která bývá upevněná na základové desce. Ohybnice se vyrábí buď celistvě, nebo skládané. Dále mohou být bez vyhazovače, nebo vybaveny vyhazovačem. Jak bylo naznačeno při výpočtu, občas se ohybnice vybavují přidržovači.

Poloměr zaoblení činné části pevné čelisti ' r_m ' ovlivňuje velikost ohýbací síly, obr. 41. Poloměr zaoblení se volí v rozmezí:

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

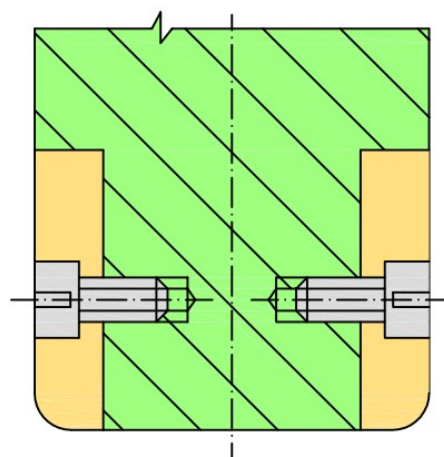
Pokud je tloušťka plechu $s > 3$ mm, je výhodnější srazit hrany pod úhlem 45° a přechody zaoblit poloměrem ' r_m '. Výška sražené hrany má přibližně odpovídat poloměru, kterým je hrana zaoblana. Sražené náběhové hrany se dají použít pouze při dostatečně dlouhých ramenech. Nestejné poloměry náběhových hran způsobují nestejně dlouhá ramena vyrobené součásti.



Obr. 41 Ohybnice [28]

Pokud není zabráněno posuvu materiálu při ohýbání, materiál klouže směrem k menšímu poloměru ohýbací hrany. Ohybnice se jako předchozí nástroje (střížníky a střížnice) vyrábí z tzv. nástrojových ocelí třídy 19, např. 19 191, 19 221, 19 346 a bývají kaleny na hodnoty HRC 60 – 63.

Ohybník, čili pohyblivá ohýbací čelist, je protilehlou částí ohybnice. Ohybník je opatřen stopkou, která je zajištěna proti pootočení. Pro malé nástroje může být stopka s ohybníkem z jednoho kusu. Vzhledem k tomu, že nástroje bývají jednoduché, provádějí se nevložkované. Pouze pro případy rozměrnějších ohybů se ohybníky vložkují (obr. 42) obdobně jako střížníky kalenými deskami. Šířka ohybníku je nejméně taková jako šířka ohýbané součásti. Ohýbací hrany jsou kaleny a leštěny. Poloměr zaoblení ohybníku ' r_p ' je totožný s poloměrem ohybu ohýbané součásti. Ohybníky se také vyrábí z tzv. nástrojových ocelí třídy 19, např. 19 191, 19 221, 19 346 a bývají kaleny na hodnoty HRC 60 – 63.



Obr. 42 Vložkovaný ohybník [20]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

V první kapitole této práce byla jako nejvhodnější technologie výroby zvolena výroba pomocí sdruženého postupového nástroje. Hlavním důvodem této volby byla možnost realizace technologie stříhání a ohýbání pomocí jednoho nástroje a stroje. K samotné výrobě je nutné navrhnout rozvinutý tvar součásti. Poté se navrhne vhodný nástřihový plán, což v tomto případě bude celý postup výroby. Nakonec se navrhne celý nástroj, který by měl být co nejjednodušší a ekonomicky výhodný. Zadaná součást je vyráběna z plechu o tloušťce 1 mm a má délku 200 mm. Po celé délce, z obou stran, je ohnuta v pravém úhlu, což vytvoří výsledný tvar U. Ohnutí je v nejvyšším bodě vysoké 18 mm. Materiál součásti je jakostní ocel 11 321.1. Součást je vyobrazena na obr. 43.

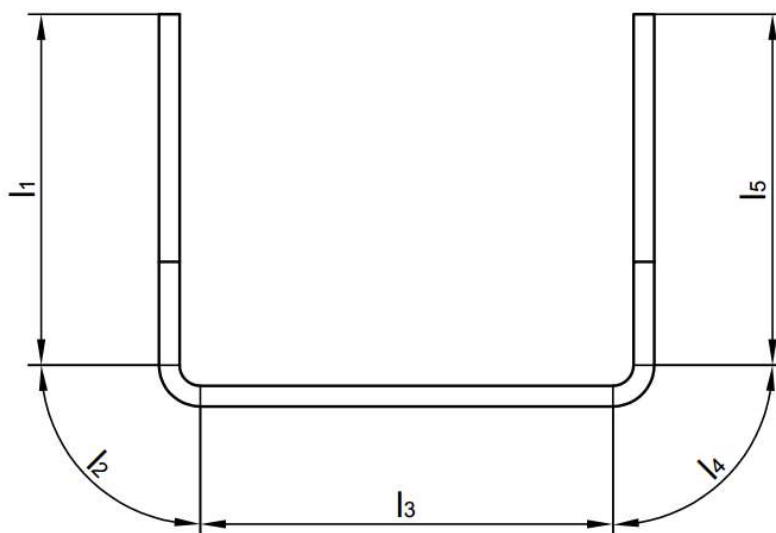


Obr. 43 Model součásti

3.1 Rozvinutý tvar součásti

Aby bylo možné určit celkovou délku rozvinutého tvaru, je nutné znát jednotlivé délky všech úseků. Náčrt těchto délek je na obr. 44. Kvůli přesnosti bude rozvinutý tvar součásti počítán prvně ručně a poté k tomu určeným CAD programem, v tomto případě bude použit program Inventor.

- Délky rovných úseků:
 $l_1 = l_5 = 17 \text{ mm}$
 $l_3 = 20 \text{ mm}$
- Délky ohnutých úseků - pro výpočet délky oblouků u ohnutých úseků se použijí vzorce z kapitoly 2.2.3. Nejprve je zapotřebí zjistit, zda je nutné počítat



Obr. 44 Délky úseků součásti

s posunutím neutrální osy. Jelikož $R/s = 2/1 = 2 < 6$, jedná se o ohyb na malé poloměry ohybu, a tudíž je nutné počítat s posunutím neutrální osy.

Pro výpočet posunu neutrální osy se použije vzorec 2.27, kde je nutné znát součinitel ‘x’ tj. součinitel posunutí neutrální osy. Tento součinitel se vyhledá v tabulce 2.10 a jeho hodnota je stanovena na $x = 0,45 \text{ mm}$. Posunutí neutrální osy tedy je:

$$\rho = R + x \cdot s = 2 + 0,45 \cdot 1 = 2,45 \text{ mm}$$

Nyní lze spočítat délku neutrální osy, což je potřebná délka l_2 . Tato délka se stanoví ze vzorce 2.28:

$$l_2 = \frac{\pi}{180} \cdot \varphi \cdot \rho = \frac{\pi}{180} \cdot 90 \cdot 2,45 = 3,84 \text{ mm}$$

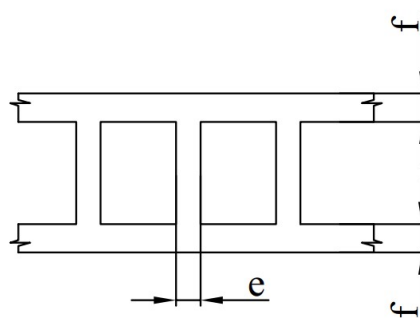
- Konečná délka polotovaru - se stanoví dle vzorce 2.29. Je to v podstatě součet všech vypočtených délek na polotovaru:

$$l_c = \sum_1^n l_i + \sum_1^n l_{oi} = 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3 = 2 \cdot 17 + 2 \cdot 3,84 + 20 = 61,68 \text{ mm}$$

Dle programu Inventor byla stanovena konečná délka polotovaru $l_c = 61,95 \text{ mm}$. Jelikož jsou obě hodnoty přibližně stejné a kvůli dalšímu postupu, je konečná délka polotovaru stanovena na 62 mm.

3.2 Varianty uspořádání výstřižku na plech

Pro výrobu bude použit svitek plechu. Jelikož rozvinutá součást má přibližně obdélníkový tvar, je možné ji na plech umístit buď podélně, nebo příčně. K šířce polotovaru je nutné připočíst velikost okrajů a z toho určit šířku použitého svitku plechu. Dalším parametrem je můstek mezi jednotlivými výstřižky. Velikosti okrajů i můstku se stanoví z tab. 3.1, náčrt pro stanovení velikosti okrajů ‘f’ a velikosti můstku ‘e’ je vyobrazen na obr. 45.



Obr. 45 Velikosti okrajů a můstku

Tab. 3.1 – Volba můstků a okraje plechu[39]

Tloušťka materiálu	Šířka pásu											
	do 15		15 - 50		50 – 100		100 – 200		200 – 300		300 - 400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1 – 0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2,0	2,0	2,5	3,0	3,7	4,0	4,8	4,8	6,0
1,3	1,4	1,7	2,0	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7,0
2,0	2,0	2,5	2,5	3,1	3,0	3,7	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4,0	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4,0	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3,0	3,7	3,2	4,0	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3,0	3	3,7	3,2	4,0	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	8,5
4,0			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8,0	8,0	9,3

- Varianta 1 - výstřižky budou uspořádány na pásu plechu příčně (obr. 46).

Velikost okraje:

$$f = 9,6 \text{ mm}$$

Velikost můstku:

$$e = 4,0 \text{ mm}$$

Délka pásu plechu (voleno pro výpočet):

$$L_p = 10\,000 \text{ mm}$$

Šířka svitku plechu:

$$b = š + f = 200 + 9,6$$

$$b = 209,6 \text{ mm}$$

Délka kroku:

$$K = l + e = 62 + 4$$

$$K = 66 \text{ mm}$$

Počet výstřižků na danou délku:

$$n_v = \frac{L - e}{k} = \frac{10\,000 - 4}{66}$$

$$n_v \approx 151 \text{ ks}$$

Plocha výstřižku (vypočtena programem Inventor):

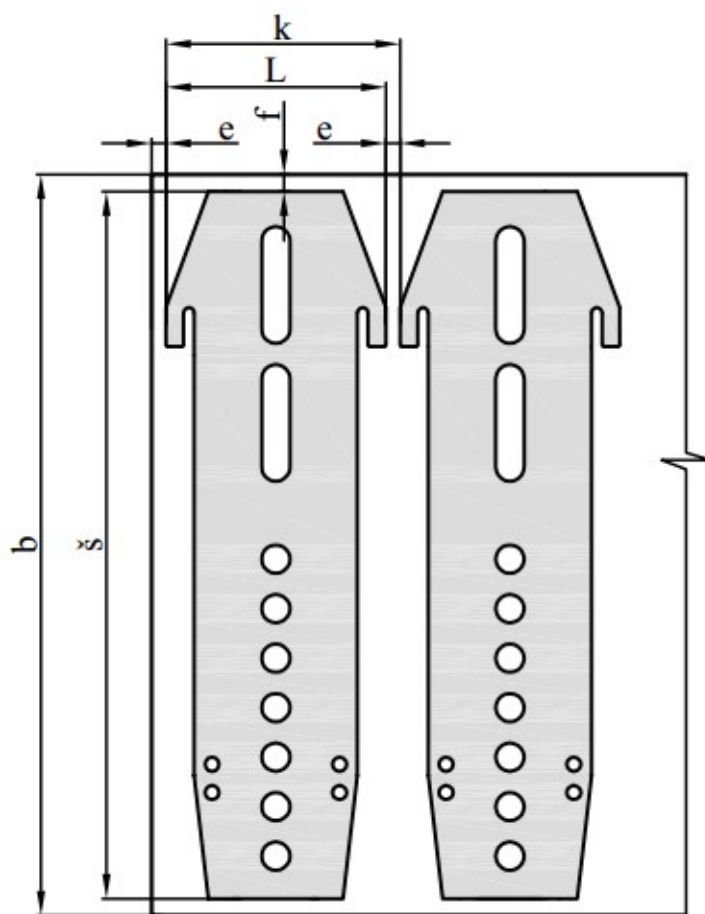
$$S_v = 7704,15 \text{ mm}^2$$

Plocha pásu plechu:

$$S_p = L \cdot b = 10000 \cdot 209,6 = 2096000 \text{ mm}^2$$

Využití pásu plechu:

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{151 \cdot 7704,15}{2096000} \cdot 100 = 55,5 \%$$



Obr. 46 Příčné uspořádání

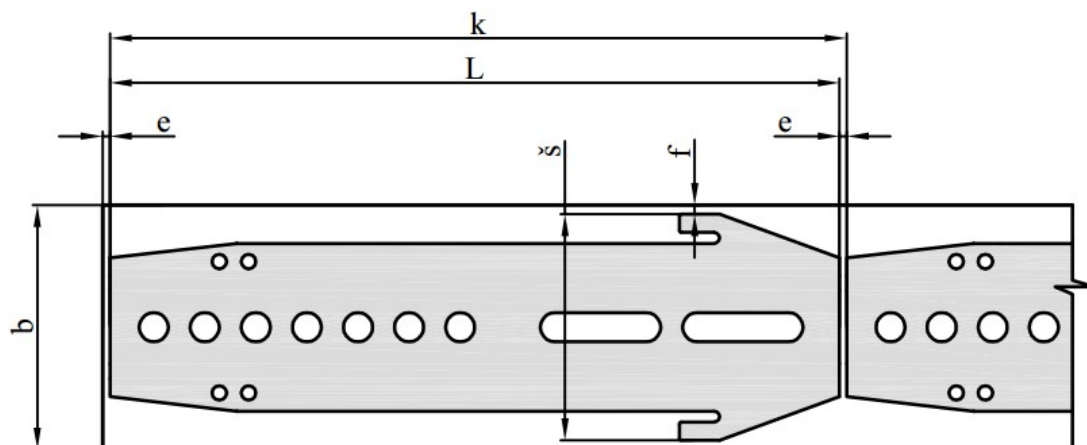
- Varianta 2 - výstřižky budou uspořádány na pásu plechu podélně (obr. 47).

Velikost okraje:

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

Velikost můstku:

$$e = 2,0 \text{ mm}$$



Obr. 47 Podélné uspořádání

Délka pásu plechu (voleno pro výpočet):

$$L_p = 10\,000\text{ mm}$$

Šířka svitku plechu:

$$b = š + f = 62 + 5 = 67\text{ mm}$$

Délka kroku:

$$K = l + e = 200 + 2 = 202\text{ mm}$$

Počet výstřížků na danou délku:

$$n_v = \frac{L - e}{k} = \frac{10\,000 - 2}{202} \approx 49\text{ ks}$$

Plocha výstřížku (vypočtena programem Inventor):

$$S_v = 7704,15\text{ mm}^2$$

Plocha pásu plechu:

$$S_p = L \cdot b = 10000 \cdot 67 = 670000\text{ mm}^2$$

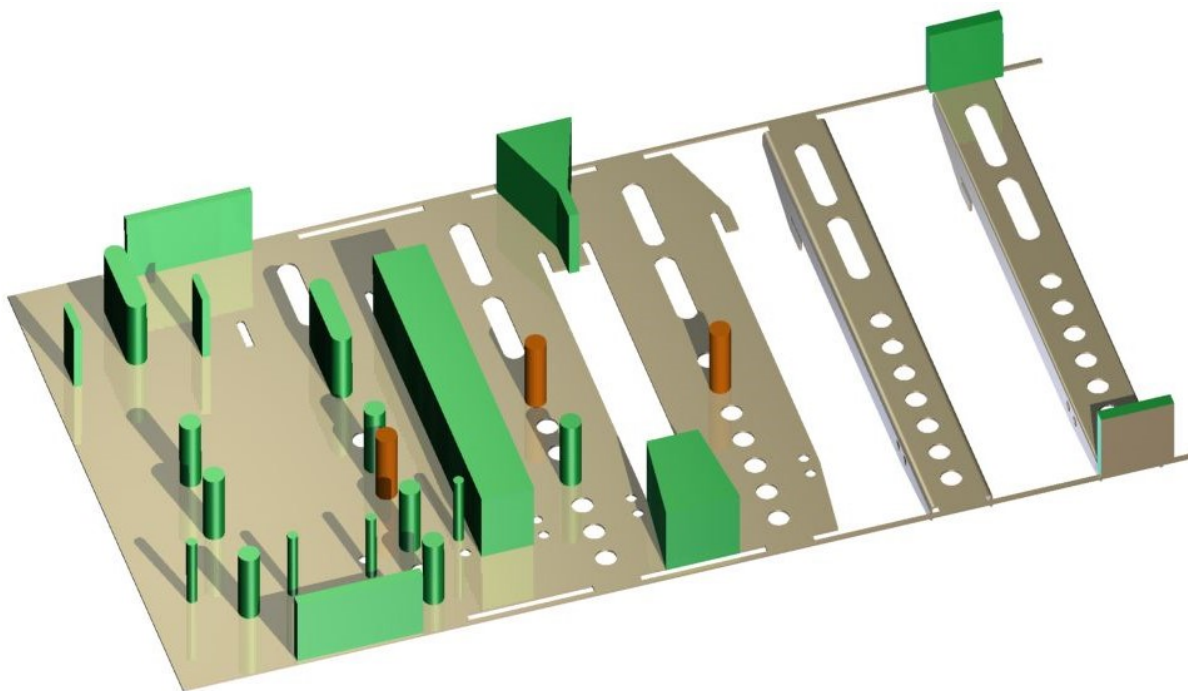
Využití pásu plechu:

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{49 \cdot 7704,15}{670000} \cdot 100 = 56,3\%$$

3.3 Varianty výroby ve sdruženém nástroji

Jak již bylo řečeno, výhodou výroby ve sdruženém nástroji je možnost uskutečnit více technologických operací. V tomto případě se jedná o technologie stříhání a ohýbání. Součást bude procházet nástrojem, kde bude prvně vystřížena obrys součásti s otvory, poté bude součást ohnuta do požadovaného tvaru a na konci bude oddělena od pásu plechu. Opět se zde nabízí dvě možné varianty výroby.

- Varianta A - vychází z varianty 1 z předchozí kapitoly, tj. součásti jsou na páse uspořádány příčně. Součást by byla vyrobena v šesti krocích (obr. 48).

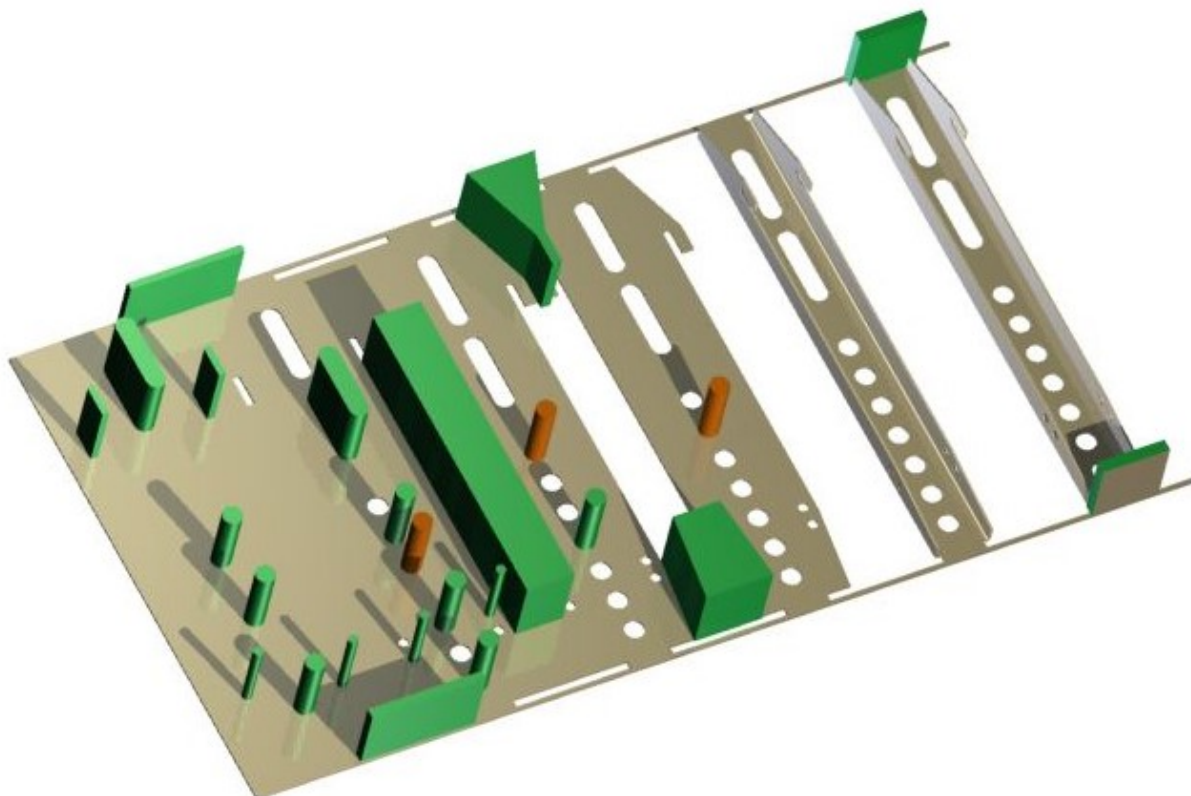


Obr. 48 Varianta A

Sled operací v jednotlivých krocích:

- Krok 1: Vystřižení pěti kruhových otvorů,
vystřižení podlouhlého otvoru,
vystřižení dvou otvorů pro část okraje,
vystřižení horní a dolní stěny součásti.
- Krok 2: Zahledání,
vystřižených pěti kruhových otvorů,
vystřižení podlouhlého otvoru,
vystřižení bočních stěn vedle sebe ležících součástí.
- Krok 3: Zahledání
vystřižení jednoho kruhového otvoru,
vystřižení šikmých částí součásti.
- Krok 4: Zahledání,
vystřižení šikmých částí součásti a oddělení dvou součástí.
- Krok 5: Ohnutí součásti.
- Krok 6: Odstřižení součásti od pásu plechu.

- Varianta B - vychází opět z varianty 1 z předchozí kapitoly, tj. součásti jsou na páse uspořádány příčně. Součást by byla vyrobena v šesti krocích (obr. 50).

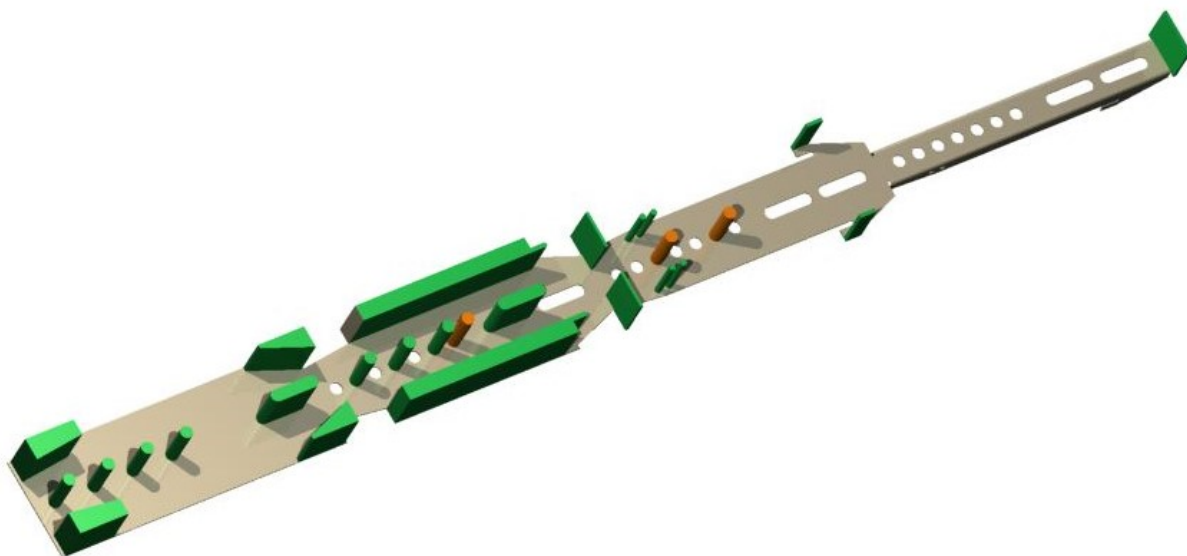


Obr. 49 Varianta B

Sled operací v jednotlivých krocích:

- Krok 1: Vystřížení pěti kruhových otvorů,
vystřížení podlouhlého otvoru,
vystřížení dvou otvorů pro část okraje,
vystřížení horní a dolní stěny součásti.
- Krok 2: Zahledání,
vystřížených pěti kruhových otvorů,
vystřížení podlouhlého otvoru,
vystřížení bočních stěn vedle sebe ležících součástí.
- Krok 3: Zahledání,
vystřížení jednoho kruhového otvoru,
vystřížení šikmých částí součásti.
- Krok 4: Zahledání,
vystřížení šikmých částí součásti a oddělení dvou součástí.
- Krok 5: Ohnutí součásti.
- Krok 6: Odstřížení součásti od pásu plechu.

- Varianta C - vychází z varianty 2 z předchozí kapitoly, tj. součásti jsou na pásu uspořádány podélně. Součást by byla vyrobena v pěti krocích (obr. 50).



Obr. 50 Varianta C

Sled operací v jednotlivých krocích:

- Krok 1: Vystřížení čtyř kruhových otvorů,
vystřížení podlouhlého otvoru,
vystřížení čtyř šikmých částí okraje.
- Krok 2: Zahledání,
vystřížení tří kruhových otvorů,
vystřížení podlouhlého otvoru,
vystřížení bočních stěn součásti.
- Krok 3: Zahledání,
vystřížení čtyř kruhových otvorů,
nastřížení pásu mezi jednotlivými součástmi,
odstřížení poslední části obvodu.
- Krok 4: Ohnutí součásti.
- Krok 5: Odstřížení součásti od pásu plechu.

3.4 Zhodnocení navrhovaných variant

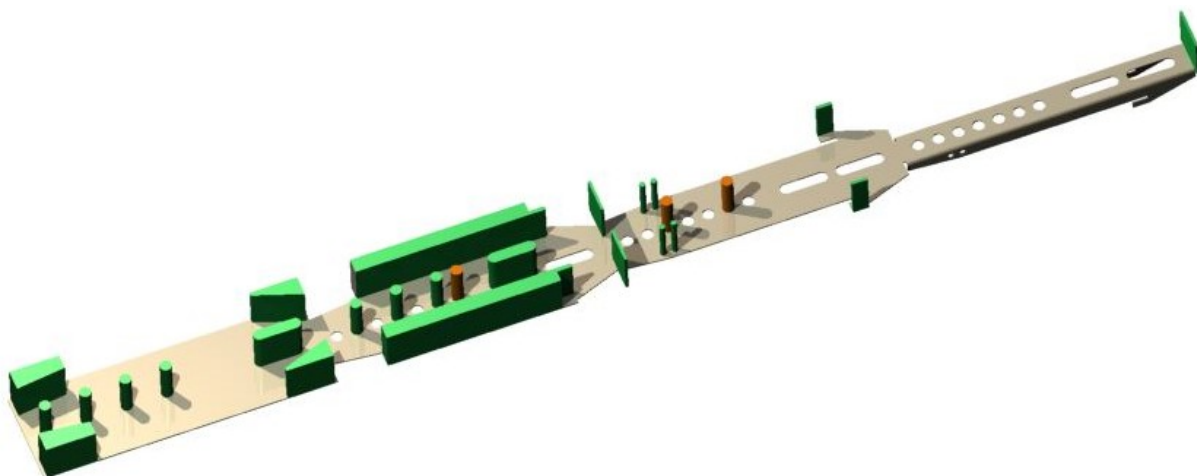
Varianty, jakými lze uspořádat výstřižky na pás plechu, jsou buď podélně, nebo příčně. Obě varianty mají z ekonomického hlediska přibližně stejné procentuální využití pásu plechu. Z toho lze usoudit, že by byla vhodnější varianta 2, tudíž příčné uspořádání výstřižku z pásu plechu. Jelikož je zde výhoda kratšího nástroje.

Další varianty se týkají uspořádání v nástroji. Příčné uspořádání výstřižků řeší varianta A a varianta B. Výrobek by, v obou variantách, byl vyroben v šesti krocích. Výhoda obou variant je již zmíněná kratší délka nástroje. Další výhodou je možnost pracovat na obrysech dvou vedle sebe ležících součástí, tudíž střižníky jsou širší a tím i tužší. Poslední velmi důležitou výhodou je předpoklad ohybu kolmo na směr vláken materiálu. Nevýhodou obou

variant je možnost řešení pro ohyb. Ve variantě A je pod pásem plechu umístěn pevný ohybník, a tudíž se pohybuje ohybnice, a to shora. V tomto případě je problém následný pohyb, protože součást je nasunuta na ohybníku. Řešením by bylo použít silné odpružení, ale to by celý nástroj prodražilo. Ve variantě B je pod pásem uložena pevná ohybnice a shora se pohybuje ohybník. Zde je problém ten, že při ohýbání materiálu dovnitř do ohybnice by docházelo ke vtahování okolního materiálu. Mohlo by docházet v některé z částí k nežádoucímu odtržení součásti od pásu plechu.

U varianty C, jak již bylo řečeno, je nevýhodou delší nástroj. Další nevýhoda je předpokládaný ohyb ve směru vláken materiálu. Ale toto uspořádání má značné výhody oproti předchozím variantám. První výhodou je výroba v pěti krocích. Další důležitou výhodou je řešení ohybu. Pevně uložený ohybník pod pásem plechu a shora přijíždějící ohybnice zajistí potřebný ohyb. Vyhazovač, který je řešený pouze pomocí pružiny, vyhodí materiál z ohybnice. Ve stejném kroku s ohybem je rovnou součást oddělena od pásu plechu a drží pouze za jeden konec. Tudíž se může pohybovat plynule s pásem plechu dál, navíc je vedena po spodní části nástroje. Součást je úplně oddělena až s ohybem následující součásti.

Varianta C nemá žádný problém s pohybem či porušením materiálu během tvářecího procesu. Celkové rozmístění tvářecích operací, čili rozmístění střížníků a ohybnice, se zdá být dobré. Spolu s dalšími výhodami se tato varianta (obr. 51) jeví jako optimální.



Obr. 51 Zvolená varianta postupu

4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

V této kapitole jsou uvedeny potřebné výpočty týkající se problematiky stříhání a ohýbání, přičemž byly detailně vysvětleny a popsány v kapitole 2. Výpočty jsou provedeny pro variantu postupu výroby, která byla zvolena v kapitole 3.

4.1 Výpočty pro technologii stříhání

- Střížný odpor - neboli mez pevnosti ve stříhu se stanoví dle vztahu (2.2). Ocel 11 321.1, která je navržena pro tuto součást, má mez pevnosti v tahu v rozmezí 270 – 400 MPa. Pro větší toleranci se pro výpočet použije hodnota meze pevnosti v tahu $R_m = 380$ MPa.

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m = 0,77 \cdot 380 = 292,6 \text{ MPa}$$

- Střížná síla - se spočítá součtem z dílčích střížných sil od jednotlivých střížníků ze vztahu (2.3). Jednotlivé střížné plochy jsou určeny programem Inventor. Opravný koeficient je volen $n = 1,2$.

Kruhový střížník o průměru 8 mm:

$$F_{s1} = n \cdot \tau_s \cdot S_1 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 25,133 = 8\,824,7 \text{ N}$$

Kruhový střížník o průměru 4 mm:

$$F_{s2} = n \cdot \tau_s \cdot S_2 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 12,566 = 4\,412,2 \text{ N}$$

Podlouhlý střížník o šířce 8 mm a délce 33 mm:

$$F_{s3} = n \cdot \tau_s \cdot S_3 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 75,133 = 26\,380,7 \text{ N}$$

Šikmý střížník na stranu 35 mm na spodním okraji:

$$F_{s4} = n \cdot \tau_s \cdot S_4 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 94,742 = 33\,265,8 \text{ N}$$

Šikmý střížník na stranu 35 mm na horním okraji:

$$F_{s5} = n \cdot \tau_s \cdot S_5 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 84,879 = 29\,802,6 \text{ N}$$

Obvodový střížník o délce 132 mm:

$$F_{s6} = n \cdot \tau_s \cdot S_6 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 284,356 = 99\,843,1 \text{ N}$$

Střížník na můstek o délce 25,5 mm:

$$F_{s7} = n \cdot \tau_s \cdot S_7 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 55,0 = 19\,311,6 \text{ N}$$

Střížník na odstřížení poslední části obvodu o délce 11 mm:

$$F_{s8} = n \cdot \tau_s \cdot S_8 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 27,0 = 9\,480,2 \text{ N}$$

Střížník na oddělení součásti od pásu plechu o délce 26 mm:

$$F_{s9} = n \cdot \tau_s \cdot S_9 = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 56,0 = 19\,662,7 \text{ N}$$

Celková střížná síla:

$$F_s = F_{s1} \cdot 7 + F_{s2} \cdot 4 + F_{s3} \cdot 2 + F_{s4} \cdot 2 + F_{s5} \cdot 2 + F_{s6} \cdot 2 + F_{s7} \cdot 2 + F_{s8} \cdot 2 + F_{s9} \quad (4.1)$$

$$F_s = 8824,7 \cdot 7 + 4412,2 \cdot 4 + 26380,7 \cdot 2 + 33265,8 \cdot 2 + 29802,6 \cdot 2 + 99843,1 \cdot 2 + \\ + 19311,6 \cdot 2 + 9480,2 \cdot 2 + 19662,7$$

$$F_s = 535\,252 \text{ N} \doteq 535,25 \text{ kN}$$

- Střížná práce – se vypočte dle vzorce (2.4), součinitel k je volen dle tab. 2.2, jeho hodnota je $k = 0,55$

$$A_s = \frac{k \cdot F_s \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 535\,252 \cdot 1}{1000} = 294,4 \text{ J}$$

- Stírací síla – se vypočte dle vzorce (2.6), součinitel k_{eu} je volen dle tab. 2.3, jeho hodnota je $k_{eu} = 0,05$

$$F_{su} = k_{eu} \cdot F_s = 0,05 \cdot 535,25 = 26,8 \text{ kN}$$

- Celková střížná síla - je součtem střížné a stírací síly.

$$F_{cs} = F_s + F_{su} = 535,25 + 26,8 = 562,05 \text{ kN}$$

- Střížná vůle - se počítá dle vzorce (2.8), jelikož se jedná o tloušťku materiálu 1 mm. Pro tento výpočet je třeba zvolit součinitel $c_m = 0,02$.

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c_m \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot \sqrt{292,6} = 0,22 \text{ mm}$$

- Kontrola střížníků na otlačení - se provádí dle vzorce (2.18). Velikost jednotlivých ploch je určena pomocí programu Inventor. Pro střížníky s hodnotou větší než 180 MPa je nutné použít opěrnou desku.

Kruhový střížník o průměru 8 mm:

$$\sigma_1 = \frac{F_{s1}}{S_1} = \frac{8\,824,7}{50,265} = 175,6 \text{ MPa}$$

Kruhový střížník o průměru 4 mm:

$$\sigma_2 = \frac{F_{s2}}{S_2} = \frac{4\,412,2}{12,566} = 351,1 \text{ MPa}$$

Podlouhlý střížník o šířce 8 mm a délce 33 mm:

$$\sigma_3 = \frac{F_{s3}}{S_3} = \frac{26\,380,7}{250,265} = 105,4 \text{ MPa}$$

Šikmý střížník na stranu 35 mm na spodním okraji:

$$\sigma_4 = \frac{F_{s4}}{S_4} = \frac{33\,265,8}{434,396} = 76,6 \text{ MPa}$$

Šikmý střížník na stranu 35 mm na horním okraji:

$$\sigma_5 = \frac{F_{s5}}{S_5} = \frac{29\,802,6}{279,468} = 106,6 \text{ MPa}$$

Obvodový střížník o délce 132 mm:

$$\sigma_6 = \frac{F_{s6}}{S_6} = \frac{99\,843,1}{1306,914} = 76,4 \text{ MPa}$$

Střížník na můstek o délce 24,5 mm:

$$\sigma_7 = \frac{F_{s7}}{S_7} = \frac{18609,4}{49} = 379,8 \text{ MPa}$$

Střížník na odstřižení poslední části obvodu o délce 11 mm:

$$\sigma_8 = \frac{F_{s8}}{S_8} = \frac{9\,480,2}{27,5} = 344,73 \text{ MPa}$$

Střížník na oddělení součásti od pásu plechu o délce 30 mm:

$$\sigma_9 = \frac{F_{s9}}{S_9} = \frac{19\,662,7}{56} = 351,1 \text{ MPa}$$

Z výpočtů je zřejmé, že opěrná deska je potřebná pro polovinu střížníků. Možností je i použití jedné celistvé kalené desky pro všechny střížníky.

- Kontrola střížníku na vzpěr - jelikož ještě není přesně navržen nástroj, dá se ke kontrole vzpěru přistupovat dvěma způsoby. První způsob je navrhnout délku a postupovat dle kapitoly 2.10. To by znamenalo spočítat štíhlost a porovnat ji s mezní štíhlostí. Zde se rozhodne, jestli se jedná o nepružný či pružný vzpěr. Pokud se štíhlost nachází v oblasti nepružného vzpěru, v dalších výpočtech se postupuje dle Tetmajera. Pokud se štíhlost nachází v oblasti pružného vzpěru, v dalších výpočtech se postupuje dle Eulera. Druhým způsobem je předpoklad, že se střížník bude nacházet v oblasti pružného vzpěru, a tudíž se rovnou použije vztah 2.24, který vychází z výpočtu podle Eulera.

Výpočet se provede u střížníku s nejmenším průřezem, což je kruhový střížník s průměrem 4 mm. Výpočet se provede prvním popsáním způsobem. První věc, kterou je nutno vzít v úvahu je, zda se jedná o vedený či nevedený střížník. Kvůli precizní kontrole zde budou kontrolovány obě možnosti. Střížníku je navrhována délka $l = 100 \text{ mm}$.

- Nevedený střížník – kde redukovaná délka vychází z obr. 36.

$$L = 2 \cdot l = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm}$$

Minimální kvadratický moment průřezu:

$$J_{min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4^4}{64} = 12,566 \text{ mm}^4$$

Průřez střížníku:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,566 \text{ mm}^2$$

Minimální kvadratický poloměr průřezu:

$$j_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{S}} = \sqrt{\frac{12,566}{12,566}} = 1 \text{ mm}$$

Štíhlost střížníku dle vztahu (2.21):

$$\lambda = \frac{L}{j_{min}} = \frac{200}{1} = 200$$

Mezní štíhlost vychází z 2.6 a pro uhlíkové oceli se nachází v rozmezí $\lambda_m = 90 - 105$.

$$\lambda > \lambda_m$$

Z toho vyplývá, že se jedná o pružný vzpěr. Výpočet kritické síly je odvozen Eulerem, jedná se o vztah (2.19). K jeho výpočtu je ještě nutné znát modul pružnosti v tahu, jehož hodnota pro ocel je $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 12,566}{200^2} = 651,1 \text{ N}$$

Jelikož na střížník působí střížná síla $F_{s2} = 4\,412,2\text{ N}$, tento střížník na vzpěr nevyhovuje, tudíž by při vniknutí do materiálu vybočil. Řešením je střížník vedený pomocí vodící desky, tento střížník je výpočtem opět zkontrolován.

- Vedený střížník, kde redukovaná délka vychází z obr. 36.

$$L = 0,75 \cdot l = 0,75 \cdot 100 = 75\text{ mm}$$

Minimální kvadratický moment průřezu:

$$J_{min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4^4}{64} = 12,566\text{ mm}^4$$

Průřez střížníku:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,566\text{ mm}^2$$

Minimální kvadratický poloměr průřezu:

$$j_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{S}} = \sqrt{\frac{12,566}{12,566}} = 1\text{ mm}$$

Štíhlost střížníku dle vztahu (2.21):

$$\lambda = \frac{L}{j_{min}} = \frac{75}{1} = 75$$

Mezní štíhlost vychází z 2.6 a pro uhlíkové oceli se nachází v rozmezí $\lambda_m = 90 - 105$.

$$\lambda < \lambda_m$$

Jelikož je mezní štíhlost větší, jedná se o nepružný vzpěr, tudíž se dále postupuje dle Tetmajera.

Kritické napětí tab. 2.7:

$$\sigma_{kr} = 589 - 3,82 \cdot \lambda = 589 - 3,82 \cdot 75 = 302,5\text{ MPa}$$

Kritická síla vychází ze vztahu (2.20):

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S = 302,5 \cdot 12,566 = 3\,801,215\text{ N}$$

Jelikož na střížník působí střížná síla $F_{s2} = 4\,412,2\text{ N}$, tento střížník na vzpěr vyhovuje.

- V sestavě se nachází obdélníkový střížník, který není vedený. Slouží k ostříhu součásti od plechu a jeho velikost (obdélník o rozměrech 26 x 2 mm) by mohla být také kritická, proto zde bude také zkontrolován. Pro nevedený střížník vychází redukovaná délka z obr. 36.

$$L = 2 \cdot l = 2 \cdot 100 = 200\text{ mm}$$

Minimální kvadratický moment průřezu:

$$J_{min} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{26 \cdot 2^3}{12} = 17,3\text{ mm}^4$$

Průřez střížníku:

$$S = b \cdot h = 26 \cdot 2 = 52\text{ mm}^2$$

Minimální kvadratický poloměr průřezu:

$$j_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{S}} = \sqrt{\frac{17,3}{52}} = 0,577\text{ mm}$$

Štíhlost střížníku dle vztahu (2.21):

$$\lambda = \frac{L}{j_{min}} = \frac{200}{0,577} = 346,62$$

Porovnání mezní štíhlosti:

$$\lambda > \lambda_m$$

Kritická síla:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 17,3}{200^2} = 896,4 \text{ N}$$

Jelikož na střížník působí střížná síla $F_{s9} = 19\,662,7 \text{ N}$, tento střížník na vzpěr nevyhovuje, tudíž by při vniknutí do materiálu vybočil. Zároveň tento střížník nemůže být vedený. Je zde tedy řešení, navrhnout střížník kratší a odstupňovaný. Tudíž funkční část bude dlouhá pouze 10 mm a poté se střížník zvětší na šířku 5 mm.

- V sestavě se ještě nachází obdélníkový střížník, který sice je vedený, ale jeho velikost (obdélník o rozměrech 25,5 x 2 mm) by mohla být také kritická, proto zde bude také zkontrolován. Pro vedený střížník vychází redukovaná délka z obr. 36.

$$L = 0,75 \cdot l = 0,75 \cdot 100 = 75 \text{ mm}$$

Minimální kvadratický moment průřezu:

$$J_{min} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{25,5 \cdot 2^3}{12} = 17 \text{ mm}^4$$

Průřez střížníku:

$$S = b \cdot h = 25,5 \cdot 2 = 51 \text{ mm}^2$$

Minimální kvadratický poloměr průřezu:

$$j_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{S}} = \sqrt{\frac{17}{51}} = 0,577 \text{ mm}$$

Štíhlost střížníku dle vztahu (2.21):

$$\lambda = \frac{L}{j_{min}} = \frac{75}{0,577} = 129,98$$

Porovnání mezní štíhlosti:

$$\lambda > \lambda_m$$

Kritická síla:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 17}{75^2} = 6\,263,9 \text{ N}$$

Jelikož na střížník působí střížná síla $F_{s7} = 19\,311,6 \text{ N}$, tento střížník na vzpěr nevyhovuje, tudíž by při vniknutí do materiálu vybočil. Řešení tu je shodné jako u předchozího kontrolovaného střížníku, tj. funkční část bude dlouhá pouze 10 mm a poté se střížník zvětší na šířku 5 mm.

4.2 Výpočty pro technologii ohýbání

Na součásti se nachází jeden ohyb a to do tvaru U. Proto se všechny výpočty zabývají tímto ohybem.

- Odpružení při ohybu - Pro výpočet odpružení je použit vztah (2.26). Pro tento výpočet je třeba zvolit součinitel polohy neutrální osy $k = 0,55$. Mez kluzu pro daný materiál je $R_e = 220 \text{ MPa}$. Dále je nutné vypočítat rameno ohybu:

$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s = 2 + 1 + 1,2 \cdot 1 = 4,2 \text{ mm}$$

Úhel odpružení pro tvar U:

$$tg \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{4,2}{0,55 \cdot 1} \cdot \frac{220}{2,1 \cdot 10^5} = 6 \cdot 10^{-3}$$

$$\rightarrow \gamma = 0,3438^\circ = 0^\circ 20'$$

Odpružení bude eliminováno kalibrováním.

- Minimální poloměr ohybu – se vypočítá dle vztahu (2.30), tažnost materiálu je 28%.

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \frac{1 - A}{A} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 0,28}{0,28} = 1,28 \text{ mm}$$

- Maximální poloměr ohybu – se vypočítá dle vztahu (2.31).

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{220} - 1 \right) = 476,8 \text{ mm}$$

Jelikož je na součásti poloměr ohybu $R = 2 \text{ mm}$, nemělo by hrozit poškození vnějších vláken a zároveň nehrozí, že by se součást neohnula.

- Ohýbací síla - se vypočte dle vztahu (2.33), hodnota součinitele tření $f = 0,15$. Šířka materiálu je $b = 200 \text{ mm}$.

$$F_o = (1 + 7 \cdot f_t) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{r_p + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{200 \cdot 1^2 \cdot 220}{1 + 1} = 45\,100 \text{ N}$$

- Kalibrační síla - jak bylo napsáno, na konci procesu se síla navýší na kalibrační o 30%. Takže se kalibrační síla vypočte:

$$F_k = 1,3 \cdot F_o = 1,3 \cdot 45\,100 = 58\,630 \text{ N}$$

- Ohybová práce - pro výpočet je třeba znát potřebný zdvih. V tomto případě je minimální zdvih $h = 19 \text{ mm}$. Výpočet vychází ze vztahu (2.36).

$$A = \frac{(F_o + F_k) \cdot h}{2 \cdot 1000} = \frac{(45\,100 + 58\,630) \cdot 19}{2 \cdot 1000} = 985,4 \text{ J}$$

- Celková tvářecí síla - je součtem celkové střížné síly, ohybové síly a kalibrační síly.

$$F = F_{cs} + F_o + F_k = 533\,848 + 45\,100 + 58\,630 = 637\,578 \text{ N} = 637,58 \text{ kN}$$

Celková tvářecí síla byla výpočtem stanovena na 637,58 kN.

5 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE

Tvářecí stroj je důležité navrhnout na základě parametrů navrženého nástroje, především jeho rozměrů. Dále celkové tvářecí síly a výšky nástroje. Jmenovitá síla daného stroje by měla být mnohem větší, než vypočtená potřebná tvářecí síla.

5.1 Návrh typu stroje[44]

V předchozí kapitole byla určena celková tvářecí síla pro stříhání a ohýbání $F = 667,23$ kN. Na základě tvářecí síly byl zvolen lis LKDR 200 (obr. 52), jehož jmenovitá síla je 2000 kN. Tato síla je dostatečná pro výrobu navrhované součásti. Jelikož se bude součást vyrábět v pěti krocích a její délka činí 200 mm, je nutné, aby minimální šířka stolu lisu byla nejméně 1000 mm. Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 5.1. Jedná se o klikový dvoubodový lis, který je především určen pro postupové tváření z pásu plechu ve sdružených nástrojích.

Tab. 5.1 Parametry stroje [44]

Pracovní rozsah		
Jmenovitá síla lisu	kN	2000
Sevřená výška	mm	500
Stůl		
Upínací plocha lisu – šířka x hloubka	mm	1100 x 800
Beran		
Upínací plocha beranu – šířka x hloubka	mm	1100 x 800
Přestavení beranu	mm	100
Zdvih v rozmezí	mm	20 – 160
Počet zdvihů při trvalém chodu	min ⁻¹	25 – 80
Výkon hlavního motoru	kW	37
Stroj		
Rozměry		
šířka	mm	2800
hloubka	mm	2850
výška	mm	5200



Obr. 52 lis LKDR 200 [44]

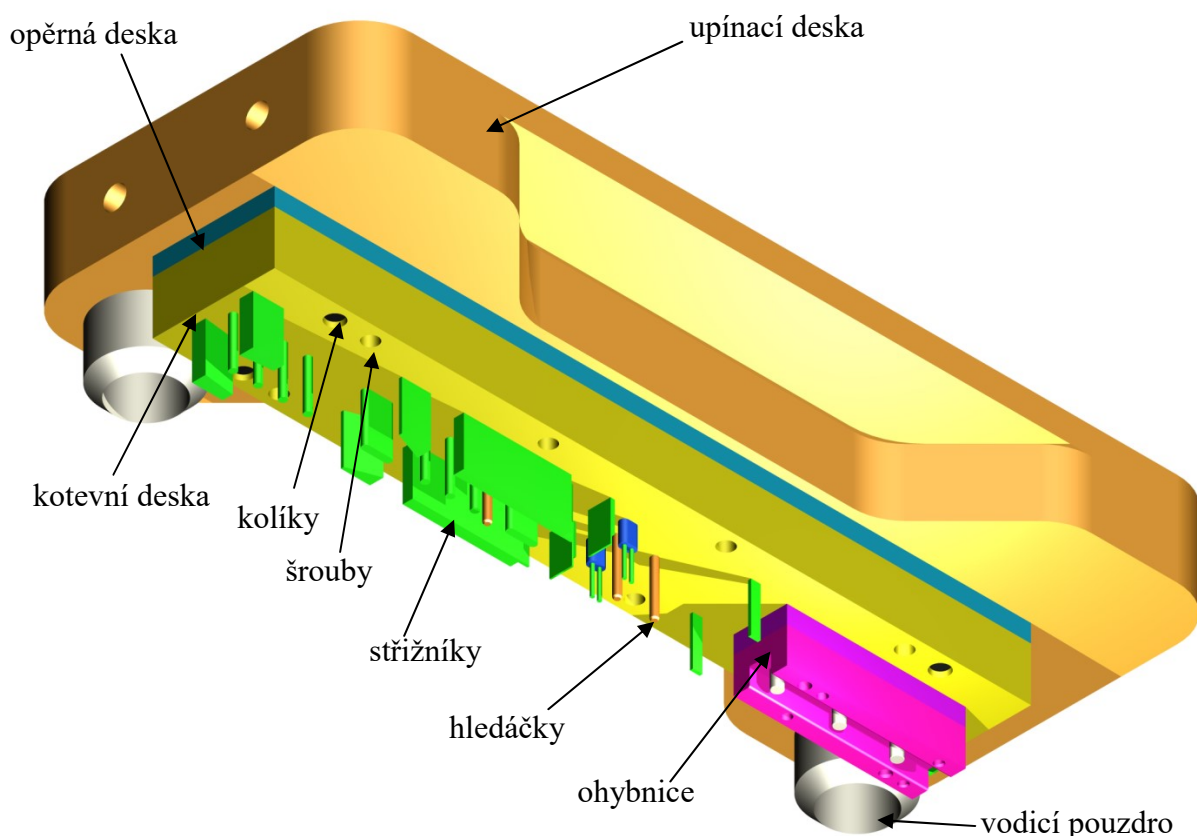
Součást se bude vyrábět na automatizované lince. Tato linka se skládá z odvíječe svitku plechu, rovnačky s funkcí podavače a lisu s nástrojem. Na popsanou linku je potřeba pouze jeden pracovník, který může obsluhovat více strojů najednou. Jeho pracovní náplní by byla výměna svitku plechu a manipulace s hotovými díly a odpadem.

5.2 Popis nástroje

Sdružený nástroj je tvořený ze dvou částí. Horní část je pohyblivá a je připevněna k beranu lisu pomocí upínek. Spodní část je pevná a je připevněna na stůl lisu. Obě části jsou spojeny vedením. Horní část se pohybuje dolů k dolní části, během tohoto pohybu dochází k oběma tvářecím operacím, tj. ke stříhání a ohýbání. Při pohybu dojde prvně ke kontaktu hledáček s materiálem, hledáčky zahledají již vystřižené otvory (kroky 2 a 3). Pohyb pokračuje dolů a ohybnice začíná ohýbat materiál (krok 4). Nakonec se materiál stříhá (kroky 1, 2 a 3),

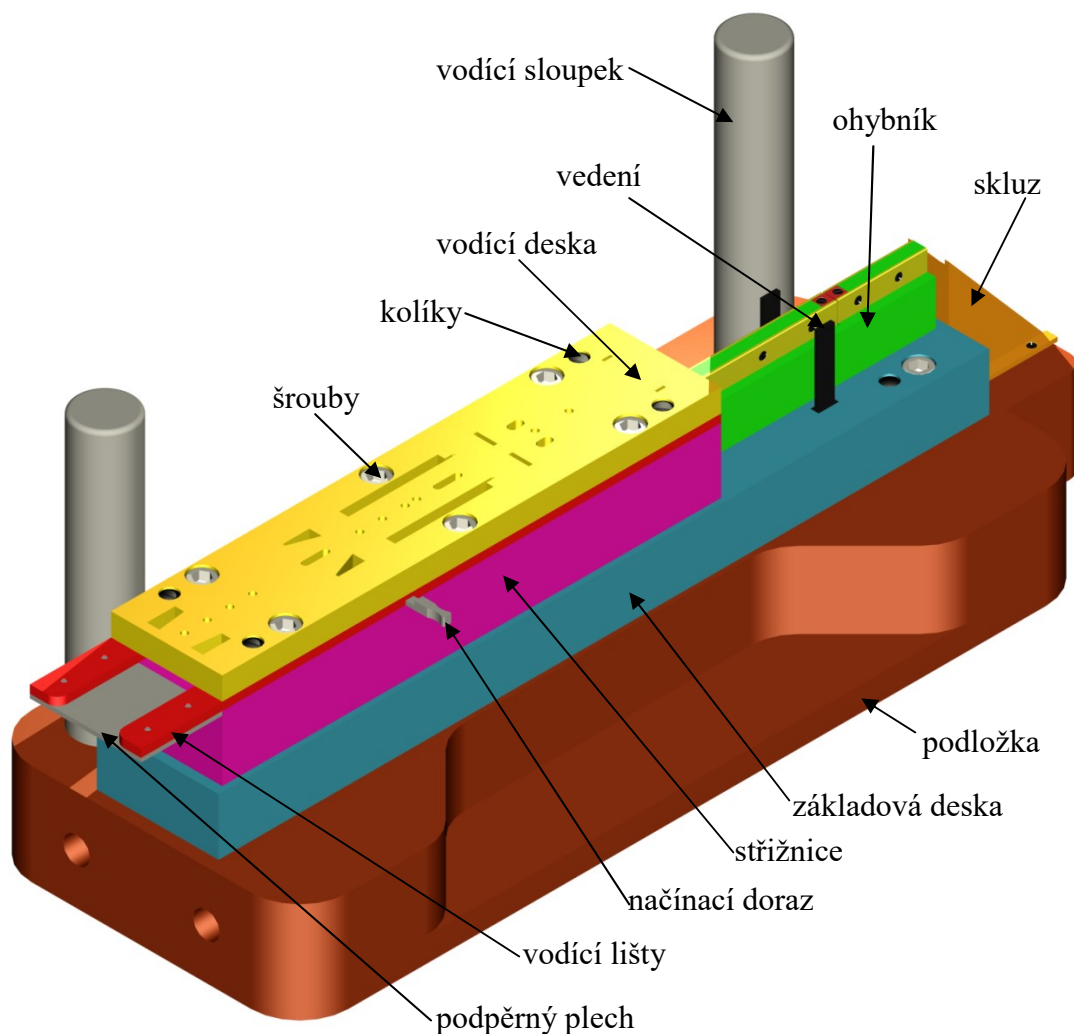
příčemž určité střížníky jsou kratší a tudíž do materiálu vniknou až nakonec (krok 5). Celý nástroj je poměrně rozměrný, jeho délka činí 1080 mm, šířka 390 mm, výška v horní úvrati 522 mm a výška v dolní úvrati 500 mm.

Horní část nástroje (obr. 53) se skládá z upínací desky, pomocí které se přidělová nástroj k beranu. V upínací desce jsou také nalisována kluzná pouzdra, která slouží k vedení vodících sloupků. Další částí nástroje je opěrná deska, která je kalená a slouží k zamezení otláčení a zároveň opření střížníků, hledáček, ohybnice a také kotevní desky. Ta je další částí nástroje, v ní jsou ustaveny střížníky, hledáčky a ohybnice. Všechny desky jsou dohromady sešroubovány a vůle ve šroubech je vymezena kolíky.



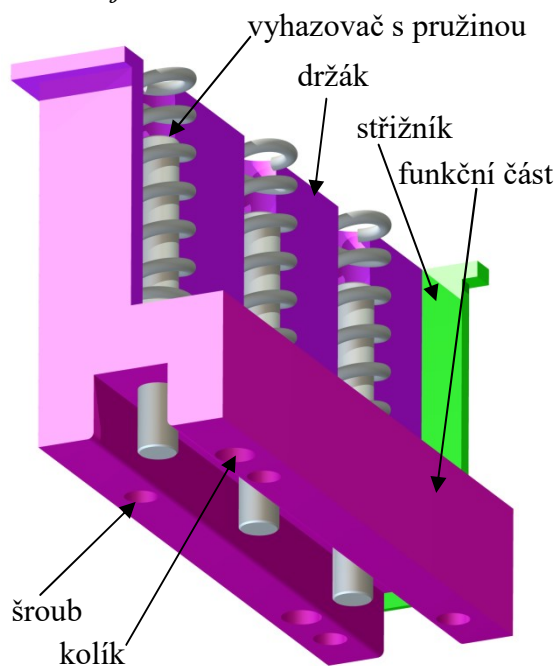
Obr. 53 Horní část nástroje

Dolní část nástroje (obr. 54) se skládá z podložky, pomocí které se nástroj upevňuje na stůl, a také v ní jsou nalisovány vodící sloupky. Podložka slouží i ke svedení odpadu do otvoru ve stole. Další částí je základová deska, ve které jsou vyfrézovány obdélníkové otvory pro přesnější upevnění střížnice a ohybníku. Střížnice je opatřena propady na odpad. Na střížnici jsou vodící lišty, které slouží k vedení materiálu nástrojem. Na vstupu je k vodícím lištám připevněn podpěrný plech, dále se v liště nachází nařinací doraz pro zavedení plechu. Na vodících lištách je připevněná vodící deska, která slouží k zabezpečení střížníků proti vybočení. Vedle ohybníku se nachází vedení plechu pro boční ustavení, vedení slouží k přesnému ohnutí součásti. Poslední částí je skluz pro odvedení vyrobené součásti z tvářecího stroje. Všechny části jsou spojeny šrouby a vůle v závitech je vymezena kolíky. Jednotlivé funkční části budou popsány dále.



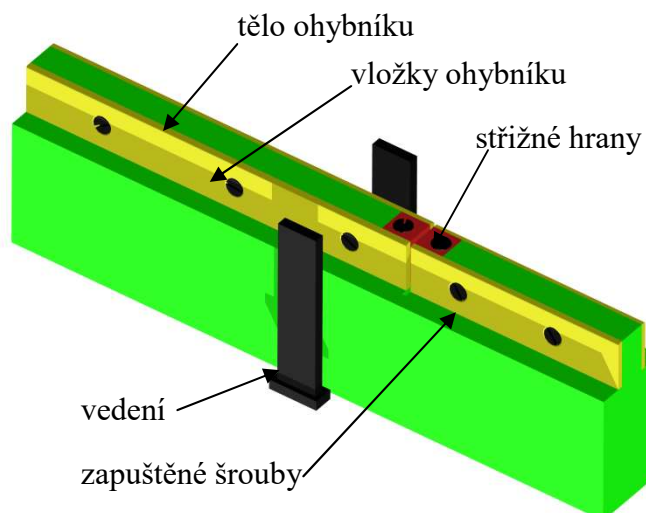
Obr. 54 Dolní část nástroje

- Ohybnice (obr. 55) se skládá z více částí. První je samotná funkční část, která je opatřena potřebnými rádiusy a otvory pro vyhazovače. Druhá část je držák s osazením, aby se dal uchytit do kotevní desky, také je vybaven otvory pro vyhazovače. Ohybnice je takto rozdělena z ekonomických a výrobních důvodů, jelikož její délka činí 200 mm a její výška 120 mm. Funkční část je vyrobena z legované nástrojové oceli a držák z uhlíkové konstrukční oceli. Aby materiál neulpíval na stěnách ohybnice, je proto vybavena třemi kruhovými odpruženými vyhazovači. Obě části jsou sešroubovány a pomocí kolíků je vymezena vůle v závitech šroubů. Na ohybnici přímo doléhá poslední střižník, který odstříhne hotovou součást od plechu.



Obr. 55 Ohybnice

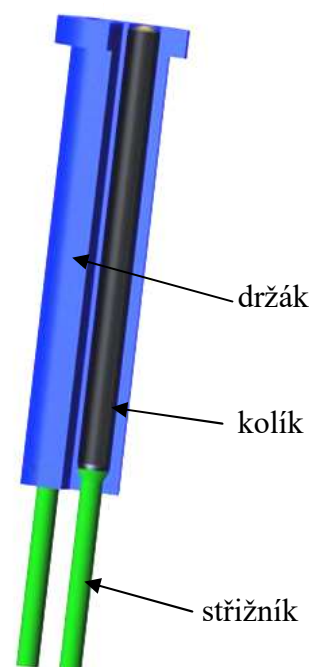
- Ohybník se také skládá z více částí (obr. 56). Jedná se o vlozkovaný ohybník. Na tělo ohybníku, které je vyrobeno z uhlíkové konstrukční oceli, jsou z boku přišroubovány vložky z legované nástrojové oceli. Celá jeho délka činí 313 mm a výška 90 mm. Ohybník slouží také jako střížnice, proto k němu jsou přidělané střížné hrany. Po ohnutí výrobku ještě kousek vede materiál (v této části je zúžený), než je materiál oddělen od plechu a poté přepadne díky své váze na skluzavku. Vedle ohybníku



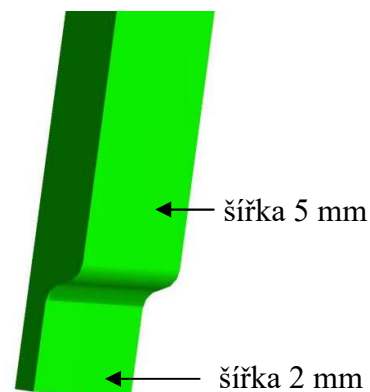
Obr. 56 Ohybník

se nachází vedení pro plech, to zajišťuje přesné umístění součásti na ohybníku s následným přesným ohybem. Vedení je zkonstruováno tak, aby měla ohybnice prostor k ohnutí součásti. Celý ohybník je zespodu přišroubován k základové desce pomocí dvou šroubů a dvou kolíků.

- Střížník, jehož průměr je 4 mm, by měl být poměrně tenký a dlouhý, navíc mají být vystřiženy dva stejné otvory vedle sebe. Z těchto důvodů byl navržen pro tento tenký střížník (obr. 56) držák, jehož horní část je upnuta v kotevní desce. Držákem prochází dva otvory, ve kterých jsou s vůlí vloženy kolíky, tolerance tohoto uložení je H11/h6. Samotný střížník má nahoře zkosení, aby mohl být upevněn v držáku.
- Střížníky, u nichž byla výpočtem zjištěna možnost vybočení, musí být odstupňovány (obr. 57). Jedná se o dva střížníky, jejichž plocha je obdélníková. V prvním případě jde o střížník, který ostříhne kus můstku a jeho velikost je 25,5 x 2 mm (krok 2), druhý střížník je nevedený a slouží k oddělení součásti od pásu plechu, jeho velikost je 26 x 2 mm (krok 5). Jak již bylo uvedeno u výpočtů, konstrukce střížníku je taková, že funkční rozměr je v délce pouhých 10 mm, poté se střížník rozšiřuje na šířku 5 mm. Navíc jsou oba střížníky oproti ostatním zkrácené. Samozřejmě byla zkontrolována jejich konstrukce, aby nenarazily do střížnice (popřípadě ohybníku).
- Střížnice je celistvá i přes její velikost. Její délka činí 615 mm, její šířka 137 mm a výška 90 mm. Funkční plocha je tvořena přesnými otvory, které mají výšku 7 mm a poté se pod sklonem 3° rozšiřují. Toto řešení se u velkosériové výroby používá poměrně často a to

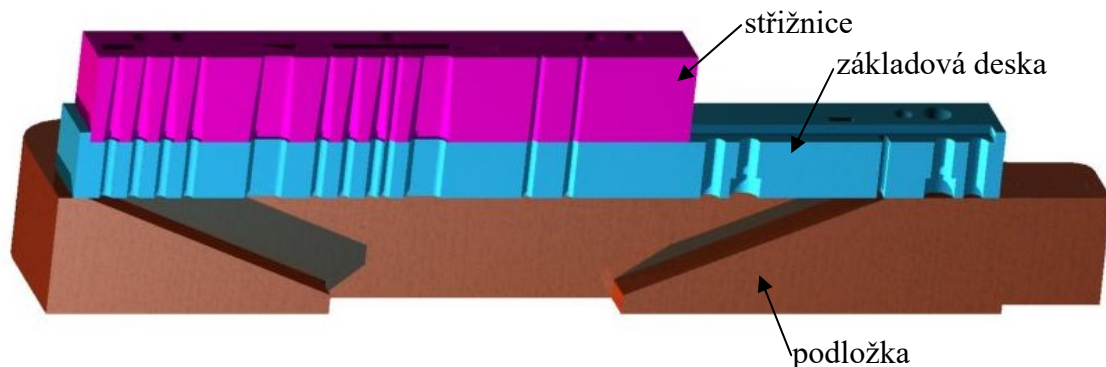


Obr. 57 Tenký střížník



Obr. 58 Odstupňovaný střížník

především z důvodů obnovy funkčních ploch broušením. Odpad propadne střížnicí, základovou deskou a tvarem podložky je sveden do otvoru ve stole lisu.



Obr. 59 Střížnice s podložkou

5.3 Volba materiálu

- Funkční části – ohybnice, vložky ohybníku, střížníky a střížnice. Pro tyto části byla zvolena nástrojová ocel 19 436 s tepelným zpracováním, kalením a popuštěním na tvrdost 60 – 62 HRC. Materiál by měl být dostačující, protože tloušťka součástky je pouze 1 mm. Navíc u tohoto materiálu je vysoká odolnost řezné hrany, vysoká pevnost v tlaku a jeho pevnost může dosáhnout až 850 MPa. Tato ocel je také vhodná k nitridaci a je zejména určena pro práci za studena.
- Hledáčky, vyhazovače a kotevní deska: pro tyto části byla zvolena ocel 19 421 s úpravou kalení a popouštění na 56 – 60 HRC. Jelikož se jedná o chrom-vanadovou nástrojovou ocel, měl by být materiál vyhovující. Tento materiál se vyznačuje dobrou ořezuvzdorností a houževnatostí, je obtížně tvárný za tepla a dobře se obrábí.
- Upínací deska, základová deska, podložka: pro tyto části byla zvolena ocel 11 523, která je mechanickými vlastnostmi plně vyhovující. Jedná se o nelegovanou konstrukční ocel s vysokou vrubovou houževnatostí. Její pevnost dosahuje až 630 MPa.
- Vodicí deska: jelikož deska vede střížníky, byla zvolena vysoce legovaná chrom - molybden - vanadová ocel 19 573 s úpravou kalení a popouštění na tvrdost 55 – 58 HRC. Tato ocel se vyznačuje vysokou ořezuvzdorností, odolností pro opotřebení a dobrou houževnatostí. Její pevnost dosahuje až 800 MPa.
- Opěrná deska: jelikož se o desku opírají střížníky a ohybnice, byla zvolena uhlíková nástrojová ocel 19 083 s úpravou kalení a popouštění 55 – 58 HRC. Tato ocel se vyznačuje vysokou houževnatostí, pevností, odolností vůči rázům při dostatečné povrchové tvrdosti.
- Vodicí sloupky, pouzdra, lišty: tyto části budou vyrobeny z ušlechtilé konstrukční oceli 14 220 s tepelným zpracováním cementací a následným kalením. Tato ocel má dobrou odolnost proti opotřebení a vysokou povrchovou tvrdost při houževnatosti jádra.
- Tělo ohybníku, držáky ohybnice a střížníků – pro tyto pomocné součásti byla zvolena nelegovaná ocel 12 061. U této oceli lze dosáhnout vyšší pevnosti s vyšší odolností proti opotřebení.

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Pro zhodnocení efektivnosti navrženého způsobu výroby je nutné provést technicko-ekonomické zhodnocení. Mezi ukazatele tohoto zhodnocení patří stanovení bodu zvratu, který udává dobu, kdy se nástroj stává výdělečným. Výpočet se provádí stručně na základě běžně dostupných dat.

- **Výpočet spotřeby materiálu**

- Hmotnost svitku:

$$m_{sv} = \rho_{oc} \cdot \frac{D_m^2 - d_m^2}{4} \cdot \pi \cdot B_m = 7850 \cdot \frac{1,2^2 - 0,508^2}{4} \cdot \pi \cdot 0,067 = 488,2 \text{ kg} \quad (6.1)$$

kde: ρ_{oc} – hustota materiálu [kg/m^3]

D_m – vnější průměr svitku [m]

d_m – vnitřní průměr svitku [m]

B_m – šířka svitku [m]

- Délka svitku:

$$l_{sv} = \frac{m_{sv}}{B_m \cdot s \cdot \rho_{oc}} = \frac{488,2}{0,067 \cdot 0,001 \cdot 7850} = 928,22 \text{ m} \quad (6.2)$$

- Počet součástí ze svitku:

$$n_{so} = \frac{l_{sv} - e}{K} = \frac{928,22 \cdot 10^3 - 2}{202} = 4595,1 \Rightarrow 4\,595 \text{ ks} \quad (6.3)$$

kde: e – velikost můstku [mm]

K – délka kroku [mm]

- Počet potřebných svitků:

$$n_{sv} = \frac{n_k}{n_{so}} = \frac{1\,200\,000}{4\,595} = 260,8 \Rightarrow 261 \text{ ks} \quad (6.4)$$

- Využití materiálu:

$$\eta = \frac{n_{so} \cdot S_o}{B_m \cdot l_{sv}} \cdot 100 = \frac{4\,595 \cdot 7\,704,15}{67 \cdot 928,22 \cdot 10^3} = 56,9 \% \quad (6.5)$$

- Hmotnost potřebných svitků:

$$m_c = m_{sv} \cdot n_{sv} = 488,2 \cdot 261 = 127\,420,2 \text{ kg} \quad (6.6)$$

- Hmotnost odpadu:

$$m_{ODP} = m_c \cdot (1 - \eta) = 127\,420,2 \cdot (1 - 0,569) = 54\,918,1 \text{ kg} \quad (6.7)$$

- **Materiálové náklady**

- Cena potřebných svitků:

$$N_{sv} = m_c \cdot C_{sv} = 127\,420,2 \cdot 16 = 2\,038\,723 \text{ Kč} \quad (6.8)$$

kde: C_{sv} – cena 1 kg materiálu [Kč]

- Zhodnocení odpadu:

$$N_{ODP} = m_{ODP} \cdot C_o = 54\,918,1 \cdot 3,7 = 203\,197 \text{ Kč} \quad (6.9)$$

kde: C_o – cena výkupu 1 kg materiálu [Kč]

- Celkové náklady na potřebný materiál:

$$N_m = N_{sv} - N_{ODP} = 2\,038\,723 - 203\,197 = 1\,835\,526 \text{ Kč} \quad (6.10)$$

- Materiálové náklady na jednu součást:

$$N_{ms} = \frac{N_m}{n_k} = \frac{1\,835\,526}{1\,200\,000} = 1,53 \text{ Kč} \quad (6.11)$$

• Mzdové náklady

- Počet vyrobených součástí za hodinu:

$$n_{hod} = 60 \cdot n_z = 60 \cdot 80 = 4\,800 \text{ ks} \quad (6.12)$$

kde: n_z – počet zdvihů stroje [-]

- Počet vyrobených součástí za směnu:

$$n_s = n_{hod} \cdot t_s = 4\,800 \cdot 6,5 = 31\,200 \text{ ks} \quad (6.13)$$

kde: t_s – výrobní čas práce zaměstnance [hod]

- Počet potřebných směn:

$$N_s = \frac{n_k}{n_s} = \frac{1\,200\,000}{31\,200} = 38,46 \Rightarrow 39 \text{ směn} \quad (6.14)$$

- Počet potřebných hodin:

$$N_{hod} = N_s \cdot t_h = 39 \cdot 7,5 = 293 \text{ hod} \quad (6.15)$$

kde: t_h – odpracovaný čas zaměstnance ve směně [hod]

- Přímé mzdové náklady:

$$N_{mz} = N_{hod} \cdot 110 \cdot SZP = 293 \cdot 110 \cdot 1,34 = 43\,188 \text{ Kč} \quad (6.16)$$

kde: SZP – sociální (25 %) a zdravotní (9 %) pojištění [-]

- Mzdové náklady na jednu součást:

$$N_{mzs} = \frac{N_{mz}}{n_k} = \frac{43\,188}{1\,200\,000} = 0,036 \text{ Kč} \quad (6.17)$$

• Výrobní a správní režie

$$N_{mr} = N_{mz} \cdot (V_r + S_r) = 43\,188 \cdot (4 + 1,2) = 224\,578 \text{ Kč} \quad (6.18)$$

kde: V_r – výrobní režie (400 %) [-]

S_r – správní režie (120 %) [-]

- **Cena nástroje**

Náklady na výrobu nástroje zahrnují ceny materiálů nástroje, normalizovaných dílů, tepelného zpracování, montáž atd. Jelikož je nástroj velmi složitý, bylo by obtížné určit jeho přesnou cenu. V rámci zjednodušení je cena nástroje stanovena odhadem $C_{NA} = 800\,000$ Kč.

- **Energetické náklady**

Příkon odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení: $P_Z = 4,25$ kW

Příkon lisu: $P_L = 37$ kW

$$\text{Celkový příkon: } P_C = P_Z + P_L = 4,25 + 37 = 41,25 \text{ kW} \quad (6.19)$$

○ Celkové náklady na energii:

$$N_e = N_{hod} \cdot P_C \cdot C_e = 293 \cdot 41,25 \cdot 3,2 = 38\,676 \text{ Kč} \quad (6.20)$$

kde: C_e – cena za 1 kWh [Kč]

○ Energetické náklady na jednu součást:

$$N_{es} = \frac{N_e}{n_k} = \frac{38\,676}{1\,200\,000} = 0,032 \text{ Kč} \quad (6.21)$$

- **Celkové náklady**

Tyto náklady jsou určeny součtem jednotlivých nákladů.

$$N_C = C_{NA} + N_{mr} + N_{mz} + N_m + N_e \quad (6.22)$$

$$N_C = 800\,000 + 224\,578 + 43\,188 + 1\,835\,526 + 38\,676 = 2\,941\,968 \text{ Kč}$$

○ Náklady na jednu součást:

$$N_{Cs} = \frac{N_C}{n_k} = \frac{2\,941\,968}{1\,200\,000} = 2,45 \text{ Kč} \quad (6.23)$$

- **Cena součásti**

Cena jedné součásti se vypočítá na základě celkových nákladů na jednu součást, která se navýší o ziskový koeficient. Ziskový koeficient je stanoven na 50 % ceny součásti.

$$C_S = N_{Cs} \cdot 1,5 = 2,45 \cdot 1,5 = 3,68 \text{ Kč} \quad (6.24)$$

○ Celkové tržby:

$$T_C = N_C \cdot 1,5 = 2\,941\,968 \cdot 1,5 = 4\,412\,952 \text{ Kč} \quad (6.25)$$

○ Zisk:

$$Z_i = T_C - N_C = 4\,412\,952 - 2\,941\,968 = 1\,470\,984 \text{ Kč} \quad (6.26)$$

- **Bod zvratu**

○ Variabilní náklady na jednu součást:

$$VN = N_{ms} + N_{mzs} + N_{es} = 1,53 + 0,036 + 0,032 = 1,598 \text{ Kč} \quad (6.27)$$

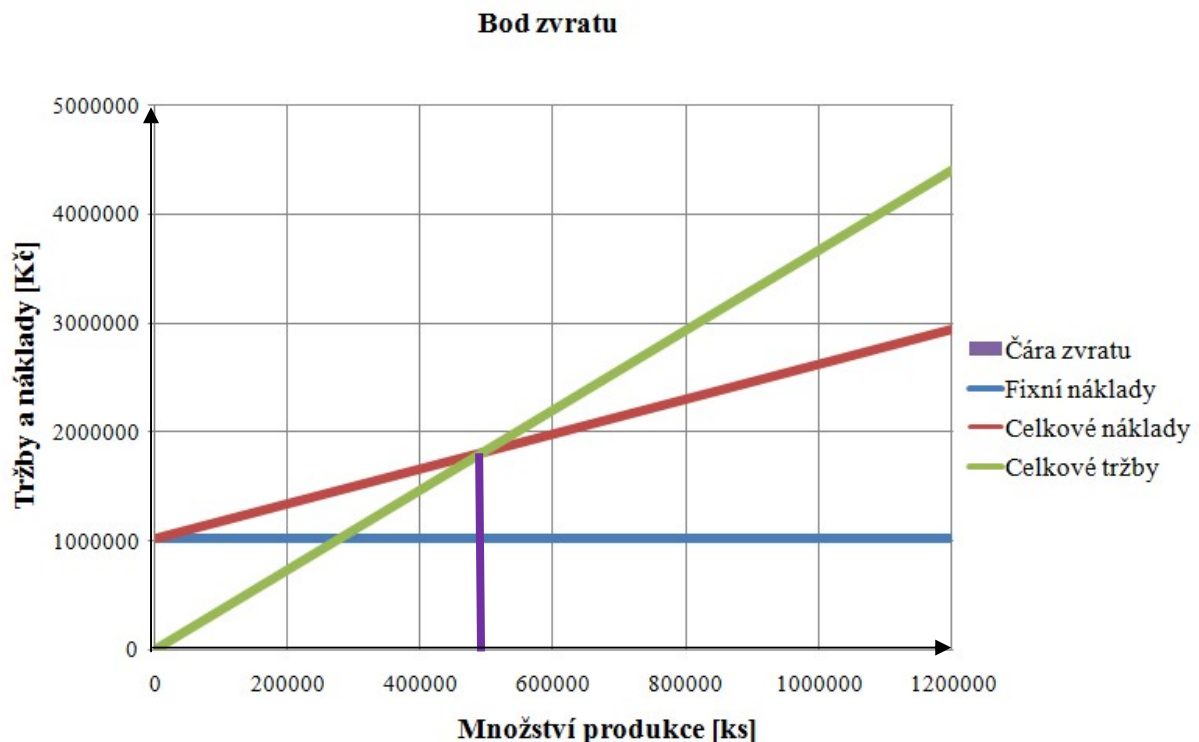
- Fixní náklady:

$$FN = C_{NA} + N_{mr} = 800\,000 + 224\,578 = 1\,024\,578 \text{ Kč} \quad (6.28)$$

- Bod zvratu:

$$Q_{BZ} = \frac{FN}{C_S - VN} = \frac{1\,024\,578}{3,68 - 1,598} = 492\,112 \text{ ks} \quad (6.29)$$

Nástroj se stane výdělečným po vyrobení 492 112 kusů součástek. Tato částka je přesně bod zvratu, mezi prodělečnou a výdělečnou výrobou. Celý výpočet technicko-ekonomického hodnocení je pouze orientační, jelikož ziskat některé údaje je velmi složité a obtížné. Na obr. 60 je graficky znázorněn bod zvratu.



Obr. 60 Schematické znázornění bodu zvratu

Při výrobě 1 200 000 ks je vypočten zisk 1 470 984 Kč. Ziskový koeficient je stanoven na 50 % z ceny nákladů. Vyšší zisk je možné získat zvýšením prodejní ceny součástky pomocí ziskového koeficientu nebo zvýšením výrobní série.

ZÁVĚRY

Řešená součást je lišta nástěnného držáku televizoru. Jako vstupní materiál je použita nelegovaná jakostní ocel 11 321 o tloušťce 1 mm. Jedná se o plechový díl o rozměrech, v ohnutém stavu, 200 x 24 x 19 mm. Předpokládaná produkce činí 1 200 000 kusů ročně.

Vzhledem ke snaze minimálních nákladů na výrobu, byly zhodnoceny možné technologie výroby a následné povrchové úpravy. Na základě rozboru byla jako nejvhodnější varianta vybrána výroba ve sdruženém postupovém nástroji. Následně bude součást ošetřena syntetickou nátěrovou hmotou v černé barvě. V této diplomové práci je řešena pouze první část a to výroba v nástroji.

Za účelem nalezení ideálního polotovaru byly provedeny kontrolní a technologické výpočty. Dle vypočteného rozvinutého tvaru byla nejvhodnější varianta výchozího materiálu ve formě svitku plechu o šířce $67 \pm 0,1$ mm. Součást bude vyrobena v pěti po sobě jdoucích krocích. Pro přesné ustanovení pásu plechu je využito hledáček a vedení pro ohyb. V prvních třech krocích dochází pouze ke stříhání, ve čtvrtém kroku dojde k ohnutí součásti a v posledním kroku je součást oddělena od pásu plechu. Kvůli automatizaci je pás plechu ze svitku podáván do nástroje pomocí odvíjecího a podávacího zařízení. Z celkové vypočtené tvářecí síly, která činí 667,23 kN, a z potřebné velikosti nástroje, byl pro výrobu zvolen klikový dvoubodový lis LKDR 200.

K posouzení vhodně zvolené varianty výroby na navrženém nástroji bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení. To zahrnuje náklady na materiál, cenu nástroje, náklady na energii a mzdové náklady. Cena finálního výrobku byla stanovena na 2,5 Kč s navrženým firemním ziskem ve výši 50 %. Investiční náklady se vrací po vyrobení 492 112 kusů součástek, kdy nastává bod zvratu. Zisk při dané sériovosti činí 1 470 984 Kč ročně.

Vzhledem k rozměrům součástky a následně i rozměrům a složitosti sdruženého nástroje by se mohla jevit jako výhodnější varianta stříh, eventuálně řezání laserem s následným ohybem na ohraňovacím lise. Ale toto je závislé na tom, jaké by měla firma vybavení k dispozici. Nicméně by bylo nejlepší porovnat jednotlivé způsoby výroby z technicko-ekonomického hlediska.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [4]

1. PECINOVÁ, Hana Elisabetha. *Výroba součástí z drátu* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2014 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/32520>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.
2. BAREŠ, Karel. *Lisování: Určeno [také] stud. nastř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
3. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s., tabulky, grafy.
4. *Citace PRO* [online]. Brno: VUT Brno, 2012 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
5. CONRAD ELECTRONICS SE. *Conrad* [online]. Hirschau: Conrad, 2015 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.conrad.de/>
6. CS PRODUKT. *Smaltované nádobí* [online]. Praha: CS Produkt, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.czprodukt.cz>
7. DENIP. *Zpracování plechu* [online]. Ostrava: Denip, 1992 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.denip.cz/>
8. DOLÁK S.R.O. *Autoservis* [online]. Písek: Dolák, 1997 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://dolak-sro.katalog-autoservisu.cz/>
9. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
11. ESAKO. *Černění* [online]. Pardubice: Esako, 2015 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.esako.cz/>
12. EUROARGINE. *Laserové gravírování* [online]. Olomouc: Euroargine, 2006 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.euroargine.cz/>
13. FERONA, A.S. *Velkoobchod hutním materiálem* [online]. Praha: Feron, 2001 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
14. FERRUM. *Výroba na ohraňovacím lisu* [online]. Moravské Budějovice: Ferrum, 1993 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.ferrum-mb.cz/>
15. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
16. FOREJT, Milan. *Vybrané statě z teorie tváření (Přednáška)*. Brno: VUT Brno, 2016.
17. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-858-6795-8.

18. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
19. INKONA. *Vývoj, výroba a konstrukce lisovacích nástrojů* [online]. Návší: Inkona, 1990 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.inkona.cz/>
20. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
21. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy*[online]. Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Brno: VUT Brno, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravy_kubicek.pdf
22. LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz>
23. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
24. LIDMILA, Zdeněk. *Tvářecí nástroje (přednáška)*. 1. Brno: VUT Brno, 2015.
25. MOSAGRES. *Řezání vodním paprskem* [online]. Bohuslavice: Mosagres, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.mosagres.cz/>
26. MRŇA, Libor. *Dělení a svařování plazmou*[online]. Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Brno: VUT Brno, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__deleni_a_svarovani_plasmou_2013__mrna.pdf
27. MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser*[online]. Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Brno: VUT Brno, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__rezani_laserem_2013__mrna.pdf
28. MRŇÁK, Ladislav a Alexander DRDLA. *Mechanika: Pružnost pevnost*. 3. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.
29. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
30. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0404-3.
31. NYPRO HUTNÍ PRODEJ, A.S. *Ocelové plechy válcované za studena* [online]. Přerov: Nypro, 2008 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
32. PKF METALLOIZDELIYA. *Povrchové úpravy* [online]. Moskva: PKF Metalloizdeliya, 2016 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://pkf-metall.all.biz/cs/>
33. PROMAT CZ, SPOL. S.R.O. *Vysekávání plechu* [online]. Božejov: Promat, 1996 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.promatcz.cz/index.html>
34. ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.

35. Řezání vodním paprskem. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2001- [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem
36. SAMEK Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ, Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření: Část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.
37. SCHINKMANN. *Svářecí technika* [online]. Kosmonosy: Schinkmann, 1991 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/>
38. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design: processes-machines-tools*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.
39. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Praha: VUT Brno, 1991. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0259-8.
40. SVAZIKO, S.R.O. *Galvanizace* [online]. Brno: Svaziko, 2010 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.svaziko.cz>
41. TECRO-TOOLS. *Sdružené nástroje* [online]. Bojkovice: Tecro-tools, 2013 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.tecro-tools.cz/>
42. TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practice: processes - machines - tools*. 1. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.
43. Z-PRECIS. *Povrchové úpravy kovů* [online]. Vsetín: Z-Precis, 1999 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.zprecis.cz/>
44. Žďas, a.s. *Lisy klikové dvoubodové* [online]. Žďár nad Sázavou: Žďas, 2004 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=80>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost ze zkoušky tahem	%
a, b, c	Vzdálenosti sil F_1 , F_2 , F_3 od osy x	mm
a_1 , b_1 , c_1	Vzdálenosti sil F_1' , F_2' , F_3' od osy x	mm
A_e	Rozměr střížnice	mm
A_j	Jmenovitý rozměr otvoru / výstřížku	mm
A_k	Rozměr střížníku	Mm
A_o	Práce vyžadovaná pro ohyb do tvaru V /U	J
A_s	Střížná práce	J
b	Šířka svitku plechu	mm
B	šířka materiálu	mm
B_m	Šířka svitku	m
C	materiálová konstanta	-
C_e	Cena za 1 kWhod	Kč
c_m	Součinitel pro výpočet střížné vůle	-
C_{NA}	Cena nástroje	Kč
C_o	Cena výkupu 1 kg materiálu	Kč
C_s	Cena součásti	Kč
C_{sv}	Cena 1 kg materiálu	Kč
d	průměr	mm
d_m	Vnitřní průměr svitku	m
D_m	Vnější průměr svitku	m
e	Velikost můstku	mm
E	Modul pružnosti v tahu	MPa
f	Velikost okraje	mm
f_t	součinitel tření	-
F_{kr}	Kritická síla	N
FN	Fixní náklady na jednu součást	Kč
F_o	Ohýbací síla	N
F_p	síla přidržovače	N
F_s	Střížná síla	N
F_{se}	Síla potřebná pro setření materiálu ze střížnice	N
F_{su}	Síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku	N
F_Y	Součet dílčích střížných sil	N
H	zdvih	mm
j_{min}	kvadratický poloměr průřezu	mm^2
J_{min}	Minimální kvadratický moment průřezu	mm^4
k	Součinitel (tab2.2)	-
K	Délka kroku	mm
k_{eu}	Koeficient (tab2.3)	-
k_{ev}	Koeficient (tab2.3)	-
k_o	součinitel určující polohu neutrální osy $k = 0,5 - 0,68$	-
k_v	součinitel respektující průběh ohýbací síly	-
l	Délka střížníku	mm
L	Redukovaná délka prutu	mm

l_c	délka polotovaru	mm
l_i	délka rovného úseku	mm
l_m	rameno ohybu	mm
l_n	Délka neutrální osy	mm
l_o	vzdálenost mezi opěrami ohybnice	mm
l_{oi}	délka ohnutého úseku	mm
L_p	Délka pásu plechu	mm
l_{sv}	Délka svitku	m
m	Střížná mezera	mm
m_c	Hmotnost potřebných svitků	kg
m_{ODP}	Hmotnost odpadu	kg
m_{sv}	Hmotnost svitku	kg
n	Opravný koeficient	-
n_k	Počet kusů	ks
N_C	Celkové náklady	Kč
N_{Cs}	Celkové náklady na jednu součást	Kč
N_e	Celkové náklady na energie	Kč
N_{es}	Energetické náklady na jednu součást	Kč
n_{hod}	Počet vyrobených kusů za hodinu	ks
N_{hod}	Počet potřebných hodin	hod
N_m	Celkové náklady na potřebný materiál	Kč
N_{mr}	Výrobní a správní režie	Kč
N_{ms}	Materiálové náklady na jednu součást	Kč
N_{mz}	Přímé mzdové náklady	Kč
N_{mzs}	Mzdové náklady na jednu součást	Kč
N_{ODP}	Zhodnocení odpadu	Kč
n_s	Počet vyrobených kusů za směnu	ks
N_s	Počet potřebných směn	směn
n_{so}	Počet součástí ze svitku	ks
n_{sv}	Počet potřebných svitků	ks
N_{sv}	Cena potřebných svitků	Kč
n_v	Počet výstřížků ve střížnici	-
n_v	Počet výstřížků na danou délku	ks
n_z	Počet zdvihů stroje	-
P_c	Celkový příkon	kW
P_L	Příkon lisu	kW
P_z	Příkon odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení	kW
Q_{BZ}	Bod zvratu	ks
R	poloměr ohybu	mm
R_e	mez kluzu tvářeného materiálu	MPa
r_m	Poloměr zaoblení činné části pevné čelisti	mm
R_m	Mez pevnosti	MPa
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	mm
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	mm
r_p	Poloměr zaoblení hran ohybníku	mm
s	Tloušťka materiálu	mm
S	Plocha průřezu střížníku	mm ²

S_0	Plocha součásti	mm^2
S_p	Plocha polotovaru	mm^2
S_r	Správní režie	-
S_s	Plocha stříhu	mm^2
S_v	Plocha výstřížku	mm
SZP	Sociální a zdravotní pojištění	-
$\bar{s}$	Šířka výstřížku	mm
T_C	Celkové tržby	Kč
t_h	Odpracovaný čas zaměstnance ve směně	hod
v	Střížná vůle	mm
V_N	Variabilní náklady na jednu součást	Kč
V_r	Výrobní režie	-
x	součinitel posunutí neutrální osy	mm
X	Vzdálenost výslednice sil od osy y	mm
Y	Vzdálenost výslednice sil od osy x	mm
Z_i	Zisk	Kč
Δ	Výrobní tolerance otvoru / výstřížku	mm
η	Využití materiálu	%
σ	Kontrola střížníku na otlačení	MPa
λ	štíhlost prutu	-
φ	úhel oblouku neutrální osy	°
δ_e	Výrobní tolerance střížnice	mm
δ_k	Výrobní tolerance střížníku	mm
σ_{kr}	Napětí na mezi vzpěrné pevnosti	MPa
λ_m	mezní štíhlost prutu	-
α_o	úhel ohybu	°
γ	úhel odpružení	°
$\varepsilon_{\max}$	trvalá poměrná deformace	MPa

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výrobky vyrobené plošným tvářením.....	9
Obr. 2 Model vyráběné součásti	10
Obr. 3 Polohovatelný držák	10
Obr. 4 Výsuvný držák	10
Obr. 5 Řezání laserem	11
Obr. 6 Řezání plazmou	11
Obr. 7 Řezání vodním paprskem	12
Obr. 8 Stříhání v postupovém nástroji	12
Obr. 9 Vysekávání	12
Obr. 10 Ohraňování	13
Obr. 11 Sdružený postupový nástroj	13
Obr. 12 Fosfátování	13
Obr. 13 Černění	14
Obr. 14 Niklování	14
Obr. 15 Chromování	14
Obr. 16 Mědění	15
Obr. 17 Zinkování	15
Obr. 18 Smaltování	15
Obr. 19 Nátěrové systémy	16
Obr. 20 První fáze stříhu.....	17
Obr. 22 Třetí fáze stříhu	18
Obr. 21 Druhá fáze stříhu	18
Obr. 23 Průběh střížné síly	19
Obr. 24 Porovnání sil	19
Obr. 25 Typy úprav střížných hran.....	20
Obr. 26 Vliv střížné vůle na kvalitu plochy	21
Obr. 27 Schéma střížné vůle	22
Obr. 28 Tolerance nástrojů při děrování	23
Obr. 29 Tolerance nástrojů při vystřihování	23
Obr. 30 Schéma stříhu	24
Obr. 31 Výpočet těžiště střížných sil	26
Obr. 32 Tvary střížné hrany	27
Obr. 33 Ukotvení střížníků	27
Obr. 34 Eulerova hyperbola	28
Obr. 35 Vzpěrné délky střížníků	29
Obr. 36 Velikost a rozložení napětí v materiálu.....	30
Obr. 37 Deformace profilů	31
Obr. 38 Odpružení materiálu pro ohyb do tvaru U a V	32
Obr. 39 Posunutí neutrální osy	33
Obr. 40 Průběh ohýbací síly	35
Obr. 41 Ohybnice	37
Obr. 42 Vložkový ohybník	37
Obr. 43 Model součásti.....	38
Obr. 44 Délky úseků součásti	38

Obr. 45 Velikosti okrajů a můstku.....	39
Obr. 46 Příčné uspořádání	40
Obr. 47 Podélné uspořádání.....	41
Obr. 48 Varianta A	42
Obr. 49 Varianta B.....	43
Obr. 50 Varianta C.....	44
Obr. 51 Zvolená varianta postupu	45
Obr. 52 lis LKDR 200	52
Obr. 53 Horní část nástroje.....	53
Obr. 54 Dolní část nástroje	54
Obr. 55 Ohybnice	54
Obr. 56 Ohybník	55
Obr. 57 Tenký střižník.....	55
Obr. 58 Odstupňovaný střižník.....	55
Obr. 59 Střižnice s podložkou	56
Obr. 60 Schematické znázornění bodu zvratu	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Chemické složení oceli 11 321.1	11
Tab. 2.1 Volba úhlu zkosení	20
Tab. 2.2 Hodnoty součinitele 'k'	20
Tab. 2.3 Hodnoty koeficientů ' k_{ev} ' a ' k_{eu} '	21
Tab. 2.4 Dosahovaná přesnost stříhu	24
Tab. 2.5 Ukázka vzdálenosti mezi výstřižky	25
Tab. 2.6 Mezní štíhlost prutu ' λ_m '	29
Tab. 2.7 Výpočet dle Tetmajera	30
Tab. 2.8 Schéma napjatosti a deformace při ohybu	31
Tab. 2.9 Hodnoty úhlu odpružení	32
Tab. 2.10 Hodnoty součinitele 'x'	33
Tab. 2.11 Určení materiálové konstanty 'C'	35
Tab. 3.1 Volba můstků a okraje plechu	39
Tab. 5.1 Parametry stroje	52

SEZNAM VÝKRESŮ

Lišta	DP_17_01_01
Lišta rozvin	DP_17_01_02
Sestava ohybnice	DP_17_02_00
Sestava ohybníku	DP_17_03_00
Střížný nástroj – 1. část	DP_17_04_00_S1
Střížný nástroj – 2. část	DP_17_04_00_S2
Střížný nástroj – kusovník	DP_17_04_00_K1
Střížnice	DP_17_04_04
Ohybnice	DP_17_04_10
Vložka ohybníku	DP_17_04_15
Střížník	DP_17_04_20