



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH OHÝBACÍHO NÁSTROJE PRO U-OHYB PLECHU

DESIGN OF A BENDING TOOL FOR U-BENDING OF SHEET METAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. Lenka KYSELÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Milan DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2014

Místo tohoto listu bude vloženo zadání (oboustranně). Zadání musí být vevázáno v obou vyhotoveních práce. Do druhého výtisku bude vložena kopie.

Tento list není třeba tisknut!

ABSTRAKT

Bakalářská práce s názvem *Návrh ohýbacího nástroje pro U-ohyb plechu*, zpracovaná v rámci bakalářského studia oboru B-STG, předkládá návrh technologie výroby lišty do tvaru U. Zadaná součást je vyrobena z konstrukční oceli S235 JR o tloušťce 2 mm. Navržený ohýbací nástroj bude sloužit k výrobě lišty z ocelového pozinkovaného plechu pro montáž regálů pro spotřebitelský průmysl. Součástí návrhu ohýbacího nástroje pro U-ohyb jsou technologické výpočty, výkresová dokumentace a technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

pozinkovaný plech, stříhání, nástřihový plán, ohýbání, U ohyb, ohýbací přípravek

ABSTRACT

The Bachelor thesis entitled *The proposal of bending tool for U-sheet-bending*, worked out under the bachelor studies of B-STG branch, presents a proposal of technology of production of a batten in U-form. The assigned part is made from construct steel S235 JR of 2 mm thickness. The proposed bending tool is designed to be used for production of a batten from galvanized steel sheet for assembly of shelves in consumer industry. This proposal of bending tool for U-bending includes technological calculations, drawing documents and technical-economic evaluation.

Key words

galvanized metal, shearing, notching plan, bending, U-bending, bending tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KYSELÁ, Lenka, Ing.. *Návrh ohýbacího nástroje pro U-ohyb plechu*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 60 s. 6 příloh, CD. Doc. Ing. Milan Dvořák, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh ohýbacího nástroje pro U-ohyb plechu** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Ing. Lenka Kyselá

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala Doc. Ing. Milanovi Dvořákovi, CSc. za vedení bakalářské práce a také za jeho podporu, trpělivost, cenné rady, inspiraci a diskuze nejen při vypracovávání této bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD.....	13
ANOTACE	14
1 TEORETICKÉ ASPEKTY VÝROBY SOUČÁSTI	15
1.1 Dělení materiálu.....	15
1.1.1 Třískové dělení	15
1.1.2 Beztřískové dělení.....	15
1.2 Základní metody rozdělení	15
1.2.1. Stříhání.....	15
1.2.2 Řezání	16
1.2.3 Sekání.....	16
1.2.4 Dělení řezáním kyslíkem	17
1.2.5 Dělení řezáním laserem	17
1.2.6 Dělení řezáním plazmou	18
1.2.7 Dělení vodním paprskem	18
1.3 Technologie tváření kovů	18
1.3.1 Tváření za studena	19
1.4.1 Tváření za tepla.....	19
1.5.1 Tváření za poloohřevu	19
1.4 Ohýbání.....	19
1.5 Technologické postupy ohýbání	21
1.6 Rozdělení technologických postupů podle stroje	21
1.7 Rozdělení technologických postupů podle poloměru zakřivení.....	24
1.8 Základní operace ohýbání.....	24
1.8.1 Prostý ohyb	24
1.8.2 Ohraňování.....	25
1.8.3 Zakružování	25
1.8.4 Lemování	26
1.8.5 Rovnání.....	26
1.8.6 Obrubování	27
1.8.7 Osazování a přesazování.....	27

1.8.8 Drápkování.....	28
1.8.9 Kontinuální ohýbání	28
1.9 Minimální a maximální poloměry ohybu	28
1.10 Deformace průřezu, neutrální osa	29
1.11 Odpružení.....	30
1.12 Rozložení napětí	32
1.13 Výpočet síly a práce.....	33
1.13.1 Ohyb do tvaru U	33
1.14 Technologické zásady pro ohýbání.....	34
1.15 Ostatní technologické problémy ohýbání	35
2 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI.....	37
2.1 Součást	37
2.2 Chemické složení materiálu	39
2.3 Mechanické vlastnosti materiálu	39
2.4 Technologie ohýbání.....	39
2.5 Výpočty potřebné před započítáním výroby zadané součástky	39
2.5.1 Minimální rádius pro ohýbání plechu	39
2.5.2 Maximální rádius pro ohýbání plechu	40
2.5.3 Odpružení při ohýbání	40
2.5.4 Poloha neutrální osy.....	41
2.5.5 Rozvinutá délka zadané součásti	41
2.5.6 Ohybová síla	43
2.5.7 Ohybová práce	43
2.6 Příprava polotovaru.....	43
2.7 Nástřihový plán.....	43
2.7.1 Délka pásu:	44
2.7.2 Stanovení plochy výstřižku a plechu	44
2.8 Výpočet hmotnosti tabule plechu	45
2.9 Ekonomické využití tabule plechu.....	45
2.10 Spotřeba materiálu	45
2.11 Celkový počet pásů	45
2.12 Celková hmotnost materiálu	45
2.13 Návrh postupu stříhání.....	45
2.14 Výpočet střižné síly a práce	46
2.10 Volba vhodného stroje	47

2.11 Technicko-ekonomické zhodnocení	48
2.11.1 Materiálové náklady součásti.....	48
2.11.2 Materiálové náklady přípravku	49
2.11.3 Celkové materiálové náklady.....	49
2.11.4 Ostatní náklady výroby	49
ZÁVĚR	51
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	
SEZNAM OBRÁZKŮ	
SEZNAM TABULEK	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	
SEZNAM PŘÍLOH	

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je nalezení optimální technologie ohýbání zadané součásti s respektováním vlastností zadaného materiálu a budoucího použití součástky. Je nutné zvážit výběr vhodné technologie včetně postupů zpracování výrobků.

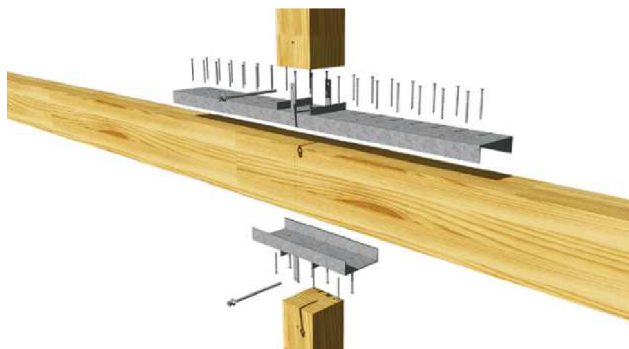
V současné době existuje na trhu velmi široké spektrum výrobků s různými vlastnostmi. Přesto se může stát, že požadavkům zákazníka neodpovídá žádný nabízený produkt. Následně nastupují konstruktéři společně s technologi, aby ruku v ruce vytvořili produkt, který bude svým tvarem, technologickým zpracováním a materiálovými vlastnostmi plně odpovídat požadavkům zákazníka.

Jestli bude mít výrobek výše zmiňované předpoklady, záleží v počáteční fázi jeho vývoje na výběru vhodného materiálu a na technologii zpracování. První fáze je nejen v ruce konstruktéra, ale i technologa.

V současné době máme mnoho technologií, které se neustále zdokonalují a vylepšují, nepřeborné množství materiálu, který můžeme použít. Je nutno vzít v úvahu nejen stránku technickou a technologickou, ale také stránku ekonomickou. Pro úspěch výrobku nestačí jen špičková kvalita zpracování a vhodně zvolená technologie. Náklady na vývoj a výrobu daného produktu by měly být pro výrobce z hlediska nákladů co nejmenší. Výrobek musí být pro uživatele i cenově přijatelný.



Obr. č. 1 – Příklad ohýbání [17]



Obr. č. 2 – Příklad ohýbání [18]



Obr. č. 3 – Příklad ohýbání [19]



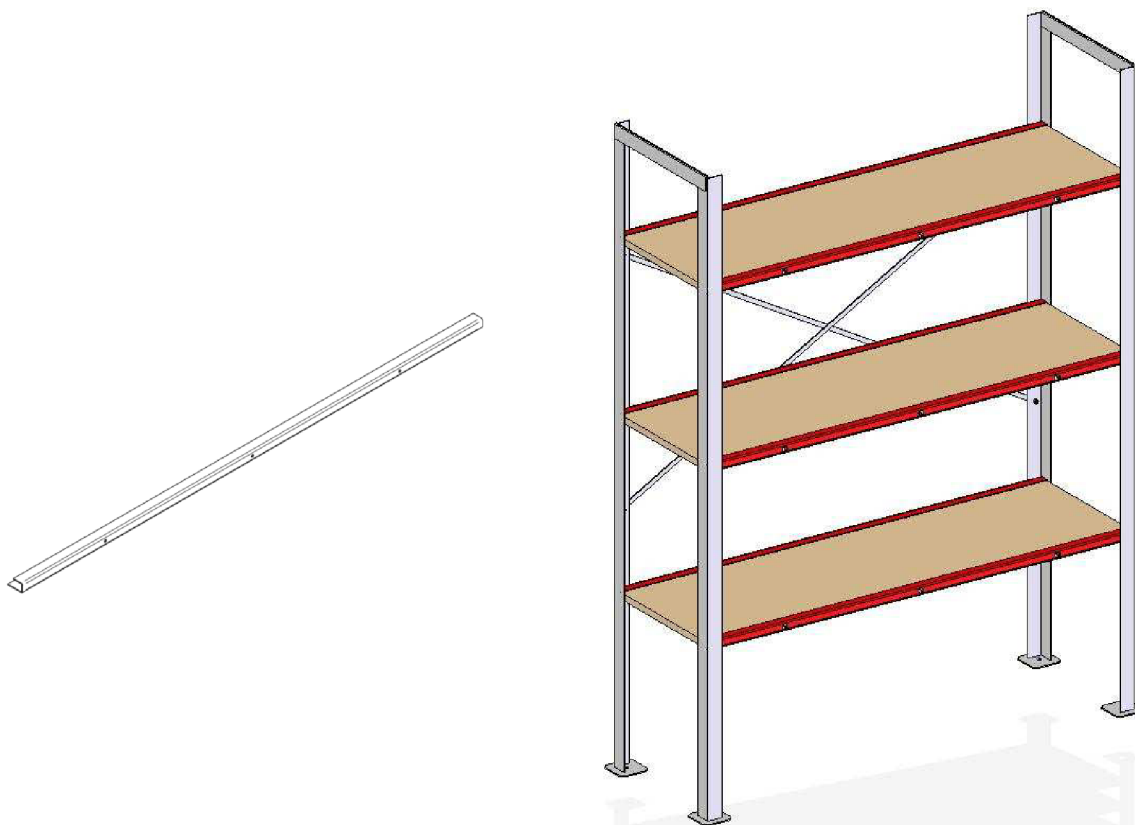
Obr. č. 4 – Příklad ohýbání [20]

ANOTACE

Projekt „NÁVRH OHÝBACÍHO NÁSTROJE PRO U-OHYB PLECHU“ byl vypracován v rámci bakalářského studia oboru B-STG a předkládá návrh ohýbacího nástroje pro U-ohyb plechu. Navržený ohýbací nástroj bude sloužit k výrobě strojních dílců z ocelových plechů pro montážní podskupiny strojních celků z plechu pro spotřebitelský průmysl.

Výrobce počítá s roční produkcí osmdesát tisíc kusů. Z množství osmdesát tisíc kusů finálních výrobků je určeno devadesát devět procent pro finální montáž a jedno procento pro servisní potřebu. Výrobek je zhotoven z oceli S235 JR o tloušťce dva milimetry. Součást je speciálně tvarovaná a není proto možné využít standardně prodávané U-profilu. Je tedy nutné vzít v úvahu i vhodný výběr přípravy polotovaru – stříhání a provést všechna ekonomicko-technická zhodnocení. Finální výrobek je součástí regálu pro spotřebitelský průmysl. Na jeden regál je použito šest komponentů, které slouží k uchycení laminátových desek. Nosnost jednotlivé desky je padesát kilogramů. Celková nosnost regálu je jedno sto padesát kilogramů.

Součástí návrhu ohýbacího nástroje pro U-ohyb jsou technologické výpočty, výkresová dokumentace a technickoekonomické zhodnocení.



Obr. č. 5 – Vyráběná součástka

Obr. č. 6 – Finální výrobek s použitím vyráběného dílce

1 TEORETICKÉ ASPEKTY VÝROBY SOUČÁSTI

Nejdříve je nutné zaměřit pozornost na výběr vhodné technologie přípravy materiálu. Součástku je možno vyrobit několika způsoby. Nakoupený ocelový plech o rozměrech 1250 x 2500 mm lze dělit za použití různých technologií.

1.1 Dělení materiálu

Dělení materiálu je technologický proces, při kterém je materiál dělen na menší kusy pomocí různých technologií.

1.1.1 Třískové dělení

Při třískovém dělení z materiálu odpadají ostré úlomky materiálu, takzvané třísky, které většinou zůstávají nevyužity.

1.1.2 Beztrískové dělení

Při beztrískovém dělení z materiálu třísky neodpadají. Lze tedy říct, že u tohoto způsobu dělení se zachová více materiálu, ale ne vždy je použitelný.

1.2 Základní metody rozdělení

- klasické metody dělení:
 - dělení stříháním,
 - dělení řezáním,
 - dělení sekáním.

- nekonvenční metody dělení:
 - dělení řezáním kyslíkem,
 - dělení řezáním laserem,
 - dělení řezáním plazmou.

1.2.1. Stříhání

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších technologických operací. Stříhání je beztrískové dělení materiálu, při kterém se materiál odděluje dvěma podélnými břity ve tvaru klínu působením smykového napětí. Limitující pro tuto technologii je pevnost a tloušťka stříhaného materiálu. Využívá se k přípravě polotovarů z tabulí nebo svitků plechů. Stříhání lze rozdělit:

- dle způsobu pohonu:
 - ruční,
 - strojní (mechanické, hydraulické).
- dle typu:
 - ruční,
 - pákové,
 - tabulové,
 - okružní,
 - křivkové,
 - kombinované. [22]

Výhody stříhání:

- vysoká produktivita,
- nízké provozní náklady,
- vysoká přesnost. [23]

Nevýhody stříhání:

- vznik otřepu a deformačního zpevnění okolí stříhu – významný vliv na následné plastické vlastnosti.

1.2.2 Řezání

Materiál se odděluje odebíráním třísek. Jedná se o třískový způsob dělení materiálu. Při řezání se část materiálu ztrácí ve formě třísek (nejde o tváření) a hmotnost odpadu závisí na šířce řezného nástroje.

Výhody řezání:

- řezáním lze zajistit hladký řez a přesnou hmotnost řezaného polotovaru a kolmost řezu, což je u některých technologiích dělení problematické.

Nevýhody řezání:

- řezat materiál lze jen do určité tvrdosti, jinak se musí předem vyžít. [26]

1.2.3 Sekání

Pomocí této metody se může ubrat určitá vrstva materiálu, rozdělit materiál nebo odstranit nerovnosti. Ostří sekáče vniká do materiálu působením úderů kladiva na plošku hlavy sekáče. Sekáč se přikládá k materiálu pod úhlem $30^\circ - 40^\circ$. Záleží na třisce, která je odebírána. Sekání se řadí ke hrubým způsobům opracování.

Výhody sekání:

- velmi hospodárný výrobní postup.

Nevýhody sekání:

- je nutné nechat přídavek na další opracování. [27]

1.2.4 Dělení řezáním kyslíkem

Řezání kyslíkem je relativně jednoduchá metoda, jejíž podstatou je spalování řezaného materiálu (předehřátého zahřívacím plamenem na zápalnou teplotu) v proudu kyslíku. Produkty hoření (oxidy) jsou vyfukovány ve formě strusky proudem kyslíku a vzniká řezná spára.

Výhody dělení řezáním kyslíkem:

- dělení nelegovaných ocelí velkých tloušťek.

Nevýhody dělení řezáním kyslíkem:

- je omezeno na dělení nelegovaných a podmíněně i nízkolegovaných ocelí. Toto omezení plyne z vlastního principu metody, který spočívá ve spalování řezaného materiálu kyslíkem.
- během řezání může dojít ke zpětnému šlehnutí plamene z důvodu předehřátí hořáku nebo odstřík žhavého kovu. [28]

1.2.5 Dělení řezáním laserem

Řezání a dělení laserem je nejrozšířenější laserovou technologií s možností použití pro širokou škálu materiálů, jako jsou například konstrukční či nerezové oceli.

Laserové dělení materiálu vyniká především vysokou rychlostí řezu, která při optimálních podmínkách dosahuje až $12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Dosažení této rychlosti je závislé na mnoha faktorech. Za zmínku stojí zejména jakost a tloušťka řezaného materiálu, tlak asistenčního plynu, průměr trysky a tvar výpalku.

Výhody dělení řezáním laserem:

- vysoká rychlost řezu,
- vysoká kvalita řezu,
- vysoká produktivita výroby,
- laserem je možné řezat celou řadu různých materiálů.

Nevýhody dělení řezáním laserem:

- omezení tloušťky řezaného materiálu (u nízkolegovaných ocelí, u nerezových ocelí a slitin hliníku),
- vysoká cena,
- nutnost využití asistenčních plynů požadované čistoty. [14]

1.2.6 Dělení řezáním plazmou

Tepelné dělení plazmou, nazývané též řezání plazmou, je tepelný proces, při kterém se kovové materiály, to jest všechny druhy ocelí, hliník, měď i nekovy v plazmovém paprsku dosahujícím teploty až 25 000 °C, taví a jsou vyfukovány z řezné spáry.

Výhody dělení řezáním plazmou:

- plazmové řezání nachází uplatnění zejména v oblasti středně silných materiálů.
- vysoká řezná rychlost.

Nevýhody dělení řezáním plazmou:

- hlučnost procesu a vývin velkého množství škodlivých emisí. Tyto nežádoucí účinky lze do značné míry eliminovat řezáním pod vodou.
- kvalitu řezu do jisté míry degraduje známé „podkosení“, které je způsobeno klesající kinetickou energií plazmatu v závislosti na tloušťce materiálu. [14]

1.2.7 Dělení vodním paprskem

Využívá se především k řezání přesných strojních dílů, kdy je využití klasické technologie dělení materiálu zdlouhavé nebo je-li potřeba dělit materiál bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu.

Výhody dělení vodním paprskem:

- studený řez,
- možnost řezání i těžko obrobitelných materiálů.

Nevýhody dělení vodním paprskem:

- kontakt s vodou a následná nutnost sušení řezaného materiálu.

1.3 Technologie tváření kovů

Tváření kovů je technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, případně vlastností, v důsledku působení vnějších sil. Podstatou

tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a přijatelná rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů, nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku. Nejdůležitější rozdělení technologií pro zpracování kovů je podle fyzikální podstaty dějů, to znamená podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě, rekrystalizace (přibližně 0,4 teploty tavení kovu).

1.3.1 Tváření za studena

Tváření za studena (tváření pod rekrystalizační teplotou, pod hodnotou přibližně 30 % teploty tavení tvářeného materiálu), kdy dochází ke zpevňování materiálu a zrna se deformují ve směru tváření, se vytváří textura. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty (mez pevnosti v tahu a mez kluzu) a klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch a zlepšení mechanických vlastností zpevněním. Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu.

1.4.1 Tváření za tepla

Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou. Materiál se nezpevňuje a k tváření stačí síly až desetkrát menší, než u tváření za studena. Nevzniká textura, ale povrch je nekvalitní vlivem okujení.

1.5.1 Tváření za poloohřevu

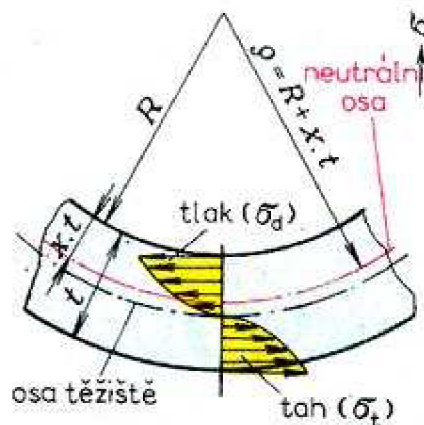
Tváření za poloohřevu představuje kompromis mezi tvářením za studena a tvářením za tepla. Probíhá od teplot těsně pod rekrystalizační oblastí. [15]

1.4 Ohýbání

Ohýbání je technologická operace, při které dochází k trvalé deformaci materiálu vlivem ohybového momentu od ohybové síly, při níž se materiál vzniklým napětím buď ohýbá nebo rovná.

Ohýbání je proces tváření, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran. K ohýbání jsou používány nástroje – ohýbadla, skládající se z ohybníku a ohybnice.

Ohýbáním se dosahuje požadované změny tvaru bez podstatné změny průřezu, a proto patří do oblasti plošného tváření. Ve většině případů se ohýbání provádí za studena, v případě velkých průřezů materiálů vyšší pevnosti za tepla. Lze rozlišit ohýbání úzkých polotovarů ($b < 3 t$) a širokých polotovarů ($b > 3 t$). Při ohýbání úzkých polotovarů se deformuje příčný průřez více než při ohýbání širokých polotovarů. Stroje, respektive zařízení, používaná pro ohýbání jsou různá a používají se podle způsobu a zejména s přihlédnutím k velikosti a množství ohýbaných součástí. Technologie ohýbání se užívá pro tváření mnoha polotovarů jako například plechů, pásů, trubek, profilů, tyčí a podobně. [16]



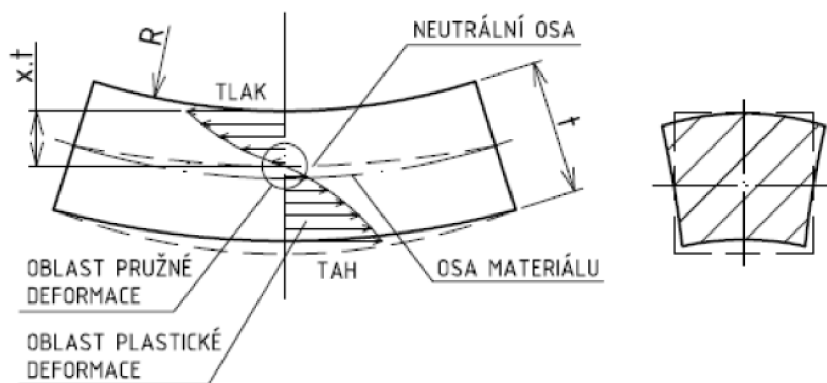
Obr. č. 7 – Rozložení a velikost napětí v materiálu [16]

Ohýbání je operace prováděná převážně zastudena. Při ohybu dochází k elasticko-plastické deformaci ohýbaného materiálu. Na velikost deformace má vliv jakost materiálu, tloušťka v místě ohybu a směr vláken v materiálu.

Orientace vláken v materiálu, vzniklých při výrobě, je rozhodující pro životnost a únosnost ohýbané součásti. Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu nebo minimálně pod úhlem 30°.

Charakteristickým znakem při ohýbání je změna tvaru plochy ohybu. Při ohýbání polotovarů užších se příčný průřez mění daleko víc než u širokých. Při ohybu širokých polotovarů dochází k zeslabení tloušťky, ale příčný průřez se téměř nemění.

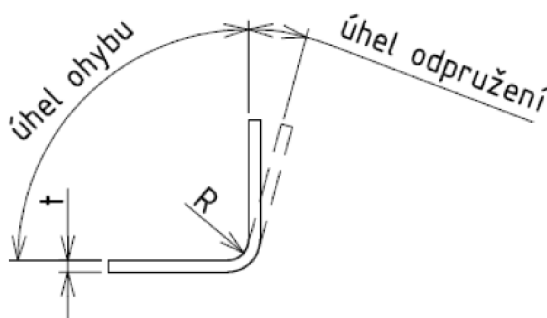
Při ohybu působí v příčném průřezu ohybové a tlakové napětí. V místě neutrální osy se nachází beznapěťový stav, což je přechod tahového a tlakového napětí. Tato osa je důležitá pro výpočet výchozí délky polotovaru, a to pomocí koeficientu ohybu (x). [16]



Obr. č. 8 – Průběh napětí a posunutí neutrální plochy [16]

Koeficient ohybu x má zásadní vliv na výpočet délky polotovaru při větší tloušťce základního materiálu. V praxi je nejčastěji používaný koeficient $x = 0,44$.

Dalším specifikem technologie ohýbání je odpružení ohnuté části. Jak je patrné z následujícího obrázku (obrázek číslo 9), při ohýbání je třeba vynaložit sílu na překonání pružné a následně plastické deformace. Po odlehčení zatěžující síly plastické deformace zůstanou a pružné deformace se vrátí. Proto je nutné součást ohnout o požadovaný úhel a úhel odpružení.



Obr. č. 9 – Úhel odpružení [16]

1.5 Technologické postupy ohýbání

Ohýbat se dá volně nebo v pevném nástroji. Technologické postupy ohýbání se dají rozdělit podle několika hledisek:

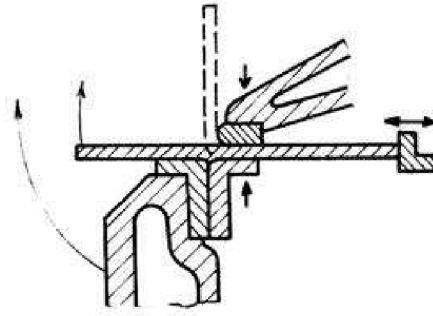
- podle použitého stroje,
- podle poloměru zakřivení,
- podle technologického způsobu.

1.6 Rozdělení technologických postupů podle stroje

Podle způsobu pohybu nástroje je možno rozdělit ohýbání následovně:

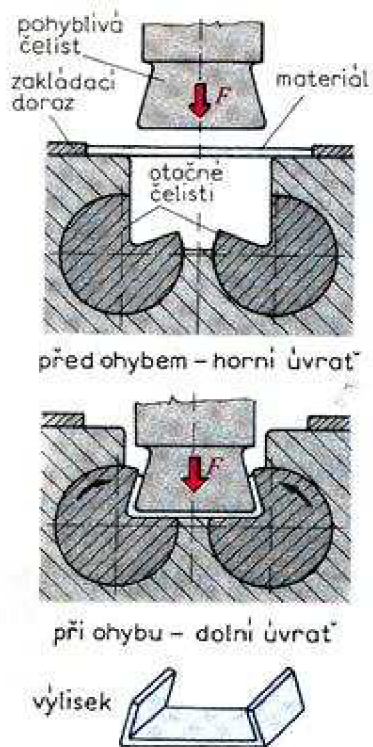
- ohýbání na lisech – materiál je ohýbán v nástroji – ohýbadle,
- ohýbání pomocí válců – ohýbací nástroj je tvořen válci, které vykonávají otáčivý pohyb.

Tak například pro ohyb dlouhých pruhů a plechů je uzpůsoben stroj s odklopnou deskou podle schématu na obrázku číslo 10.



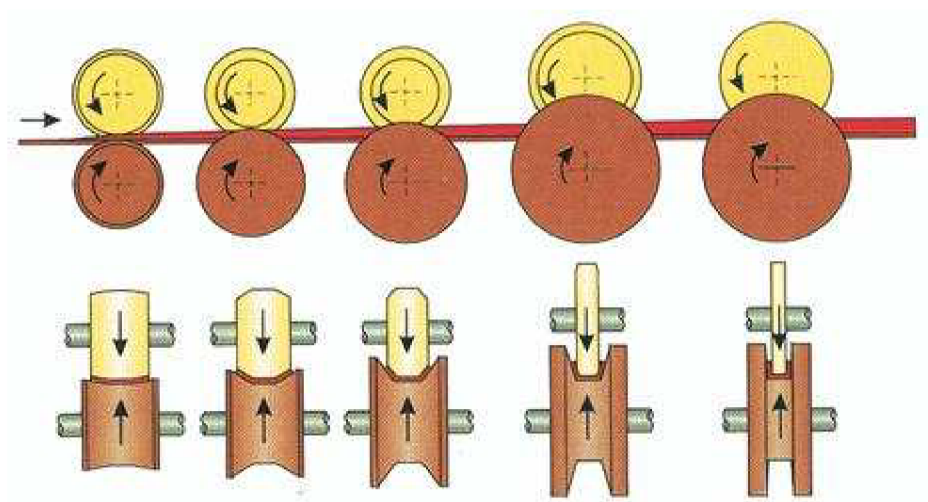
Obr. č. 10 – Ohýbací stroj s otočnou deskou [16]

Materiál určený k ohybu se podloží na stůl stroje a urovná na zarážku. Poté se sevře u ohybové hrany, která je na nástroji tvořena vyměnitelnou ocelovou kalenou lištou. Po sevření se materiál ohýbá odklápěním desky v celé délce najednou o libovolný úhel, který je možno předem nastavit pomocí zarážky. Ke stroji se dodává řada pomocných zařízení. Ohýbání na lisech v ohýbacím nástroji, ohýbadle, jehož pohyblivá čelist vykonává přímočaré vratné pohyby. Ohýbání se provádí na mechanických, hydraulických lisech, nebo na speciálních strojích, což je závislé na vlastním technologickém procesu. Ohýbadla pro aplikaci na lis se stavějí velmi jednoduchá, v porovnání s ostatními nástroji, často nemívají ani vlastní vedení. Na obrázku číslo 11 je ukázka konstrukce nástroje pro ohyb přes 90°. Válcové části nástroje jsou otočné kolem osy válců a do původní polohy je vracejí pružiny. Výrobek je vyjmut z nástroje sesunutím z ohybníku, směrem kolmo na rovinu ohybu. [16]



Obr. č. 11 – Ukázka nástroje pro ohyb jiný než pravý úhel [16]

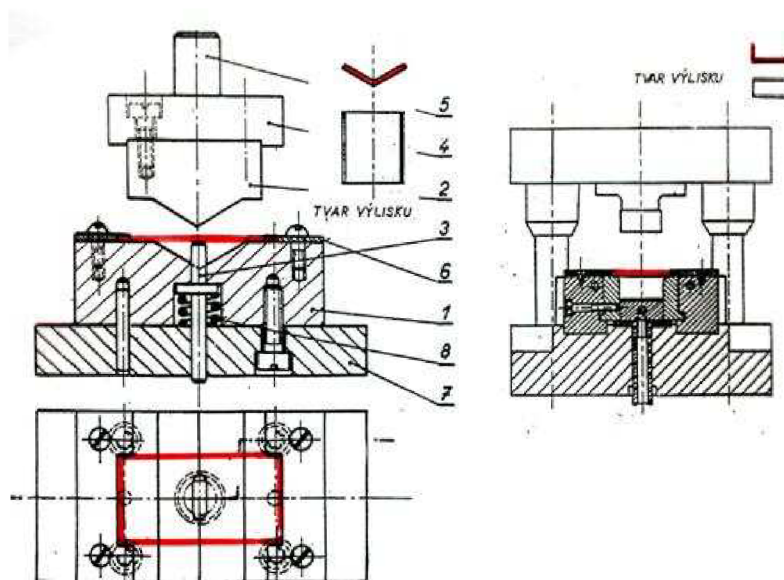
Ohýbání na válcích, kdy nástrojem jsou samotné válce, které vykonávají otáčivý pohyb. Příklad ohýbání válcováním je na následujícím obrázku (obrázek číslo 12).



Obr. č. 12 – Ohýbání válcováním pomocí profilových kladek [16]

1.7 Rozdělení technologických postupů podle poloměru zakřivení

Ohyb s malým poloměrem za vzniku velké plastické deformace, ohyb s velkým poloměrem zakřivení při poměrně malém stupni plastické deformace. [16]



Obr. č. 13 – Ukázka nástrojů pro ohyb do tvaru V (vlevo) a U (vpravo) [16]

1.8 Základní operace ohýbání

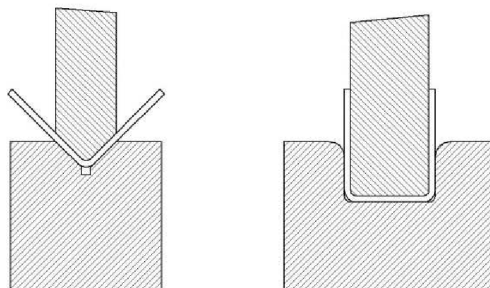
Ohýbání se rozděluje na následující základní technologické operace:

- prosté ohýbání (jednoduché),
- ohraňování,
- zakružování,
- lemování,
- rovnání,
- obrubování,
- osazování a přesazování,
- drápkování,
- kontinuální ohýbání.

1.8.1 Prostý ohyb

Při jednoduchém ohýbání jde o tváření rovinného polotovaru na výlisek s plochami vůči sobě různě orientovanými, a to vytvářením oblých hran s určitým poloměrem ohybu.

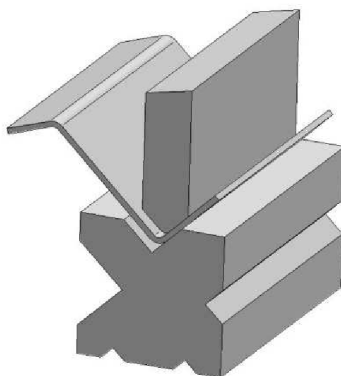
Prosté ohýbání se rozděluje na ohýbání polotovaru do tvaru V nebo do tvaru U. Tento typ ohýbání patří k základním způsobům ohýbání v praxi. Tento způsob ohýbání ukazuje obrázek číslo 14.



Obr. č. 14 – Ohyb V a U

1.8.2 Ohraňování

Jedná se o aplikaci základních způsobů ohýbání, tedy U a V ohybů za pomoci jednoúčelových strojů – ohraňovacích lisů. Tyto stroje mají ohraňovací lišty (ohybník a ohybnici), které mohou být dlouhé i několik metrů a umožňují tak ohýbání dlouhých dílců. Ohraňovací lišty u těchto strojů jsou vyměnitelné a umožňují tak rychlé přizpůsobení stroje tvaru ohýbaného dílce. Moderní ohraňovací lisové stroje jsou CNC řízeny a umožňují díky naprogramování poměrně jednoduše ohýbat i tvarově složitější dílce, automaticky přesouvat dorazy, korigovat potřebnou ohybovou sílu a eliminovat problematiku odpružení při ohýbáním nastavitelnou silou přitlaku. Schéma ohraňování je zobrazeno na obrázek číslo 15.

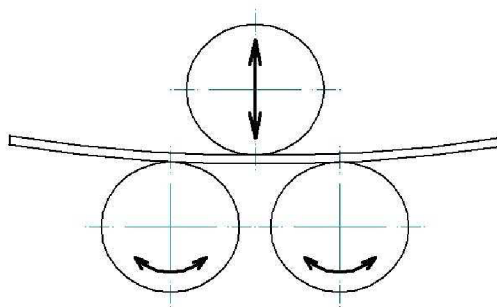


Obr. č. 15 – Schéma ohraňování

1.8.3 Zakružování

Zakružování je technologie, při které se z rovinného plechového polotovaru získávají válcové nebo kuželové součásti a to postupným a plynulým ohýbáním přístřihu mezi hladkými válci. Podle vzájemné polohy válců se zakružovačky dělí na symetrické nebo nesymetrické.

Další dělení zakružovaček je určeno počtem válců – dvou-, tří- a víceválcové. Například tenké plechy se zakružují za studena na čtyřválcových zakružovačkách nebo tříválcových nesymetrických, u kterých nehrozí ostré „proboření“ plechu. Tlusté plechy ($t > 40$ mm) se zakružují za tepla. Schéma zakružování je zobrazeno na obrázku číslo 16.



Obr. č. 16 – Zakružování

1.8.4 Lemování

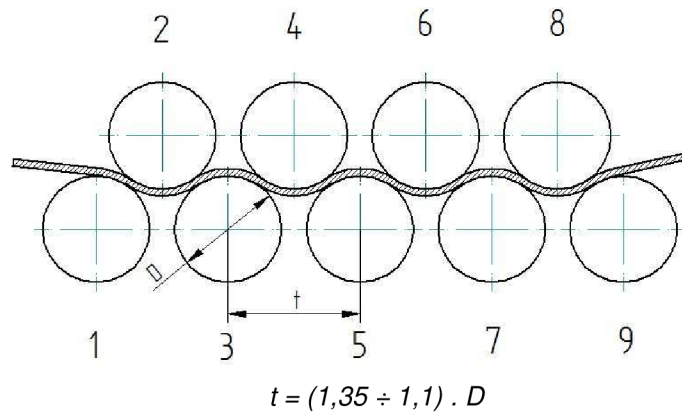
Lemování je metoda, při níž dochází k ohýbáním okraje rovinné nebo prostorové plochy za účelem získání zaobleného vzhledu a odstranění ostrých hran, ne však z funkčního hlediska. Touto technologií lze zvolit přímý, vydutý nebo vypuklý lem. Lemování je zobrazeno na obrázku číslo 17.



Obr. č. 17 – Příklady lemování

1.8.5 Rovnání

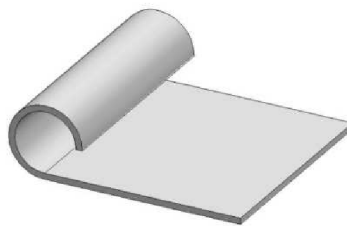
Jedná se o dodatečné rovnání plechu, přístřihu nebo profilového materiálu za účelem dosažení požadované rovinnosti. Technologie rovnání se rozlišuje na ruční a strojní. Ručně se rovnají plechy a tyče kladivem. Strojní rovnání tabulí či pásů plechů se provádí na rovnačkách. Nerovnosti plechu jsou tak eliminovány. Existují dva způsoby rovnání materiálu, a to rovnání mezi válci a rovnání lisováním. Technologie rovnání je zobrazena na obrázku číslo 18.



Obr. č. 18 – Schéma rovnacích válců

1.8.6 Obrubování

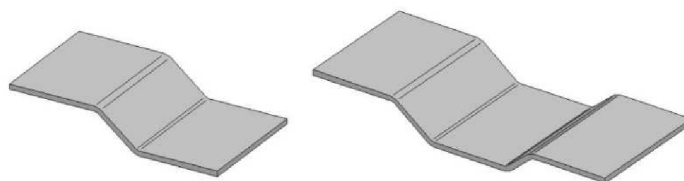
Obrubování je vyztužování rovinné nebo prostorové plochy za účelem zvýšení jakosti okrajů, vytvoření okrajů pro závěsy a podobně. Příklad obruby prostorového tvaru je na obrázku číslo 19.



Obr. č. 19 – Obroubení rovinného dílce

1.8.7 Osazování a přesazování

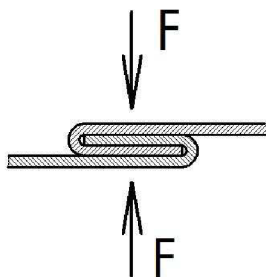
Je metoda, při níž dochází k ohýbání za účelem předsazení nebo odsazení rovinných ploch vůči sobě o určitou vzdálenost. Osazování je zobrazeno na obrázku číslo 20.



Obr. č. 20 – Osazení a přesazení

1.8.8 Drápkování

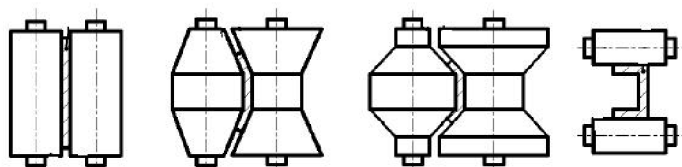
Hlavním cílem při ohýbání pomocí drápkování je pevné spojení plechů. Při této operaci jsou do sebe zasunuty plechy s připravenými předehtnými okraji a posléze se ohnou a pevně spojí. Schéma drápkování je na obrázku 21.



Obr. č. 21 – Schéma drápkování

1.8.9 Kontinuální ohýbání

Jde o postupné ohýbání dlouhého polotovaru mezi rotujícími válci na požadovaný tvar. Takovým způsobem se vyrábějí nejvíce tenkostěnné ohýbané výlisky a profily. Délka takto vyráběného profilu je neomezená. Omezení je pouze délkou polotovaru (svitku, pásu). Počet párů rotujících válců závisí na tvaru vyráběného výlisku nebo profilu. Schéma kontinuálního ohýbání je zobrazeno na obrázku 22.



Pozn.: Řezy otočeny o 90°

Obr. č. 22 – Kontinuální ohýbání U profilu

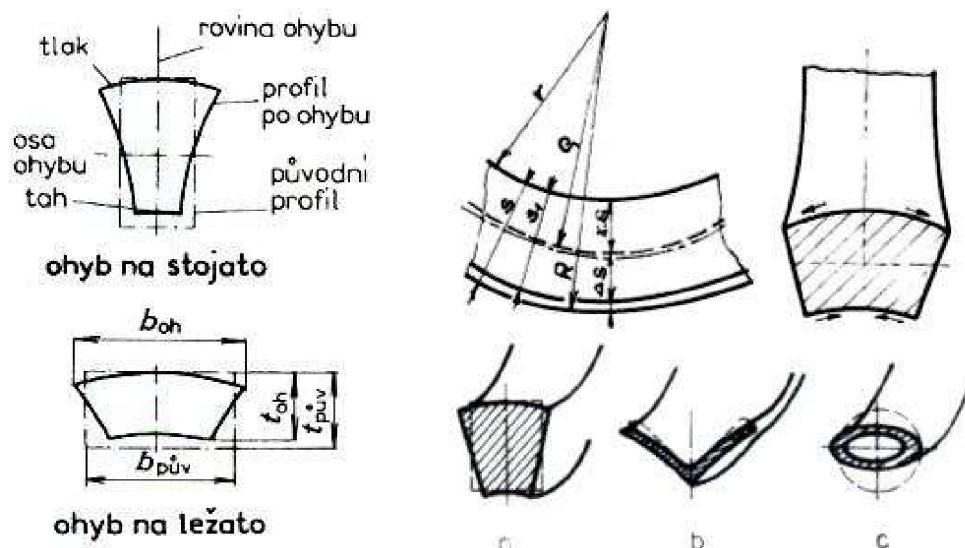
1.9 Minimální a maximální poloměry ohybu

Minimální poloměr ohybu R_{\min} závisí na plastičnosti a anizotropii použitého materiálu, na způsobu ohýbání, úhlu ohybu, šířce a tloušťce ohýbaného polotovaru a kvalitě povrchu. Zásadně je třeba ohyb provádět napříč směru vláken v polotovaru. Výstřižky z plechu je třeba zakládat do ohýbacího nástroje tak, aby ostřiny vzniklé při stříhání byly na vnitřní straně ohybu a při ohýbací operaci byly stlačovány a ne roztahovány. U málo plastických materiálů dochází v důsledku intenzivního deformačního zpevnění ke vzniku trhlin při ohybu. Je třeba zařadit vhodné tepelné zpracování (žihání). [7]

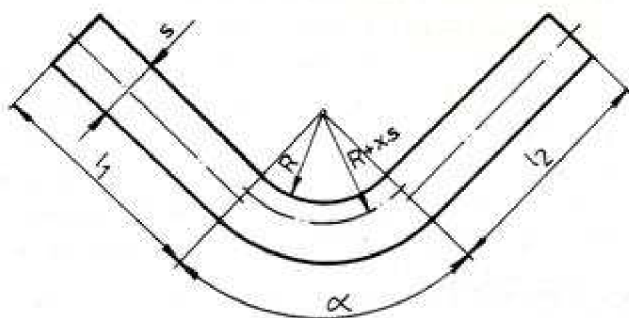
1.10 Deformace průřezu, neutrální osa

Při ohybu nastává deformace průřezu, vyšší průřezy jsou více deformovány, než průřezy nižší. U širokých pásů ($b \geq 3s$) nedochází k deformaci, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány, zkracovány a v příčném směru roztahovány. Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se v podélném směru roztahují a prodlužují v podélném a v příčném směru se stlačují.

Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu daného materiálu. V přechodu mezi těmito dvěma pásmy jsou vlákna bez napětí a bez deformace. Jejich spojnice tvoří takzvanou neutrální osu, ve které není napětí a která se při ohýbání neprodlouží ani nezkrátí. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.



Obr. č. 23 – Deformace průřezu během ohýbání pro rozdílné výšky a profily [16]



Obr. č. 24 – Posunutí neutrální osy v místě ohybu [16]

Tabulka č. 1 – Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály [24]

R/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	nad 5,0
X	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

Hodnoty součinitele x

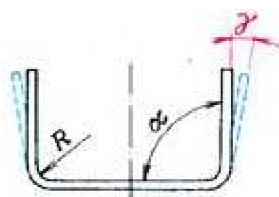
Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem. U tenkých plechů není tento rozdíl patrný, ale při ohýbání tlustých plechů se však s tímto musí počítat. Vzdálenost x , která charakterizuje polohu neutrální osy, závisí na poměru R/t – viz tabulka číslo 1, a poloměr ohybu neutrální osy je potom

$$\rho = R + x \cdot t \quad 1.1$$

kde R vnitřní poloměr ohybu [mm],
 x součinitel posunutí neutrální osy,
 t tloušťka materiálu [mm].

1.11 Odpružení

Pomine-li působení vnější síly na deformované těleso, rozměry tělesa se částečně vrátí do původního stavu – dojde k odpružení tělesa. Zatímco u některých technologií je odpružení zanedbatelné, při ohýbání má značný význam. Odpružení se při ohybu projevuje jako úhlová odchylka γ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na tvařitelnost materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání a bývá v rozsahu 3° až 15° .



ohyb tvaru U

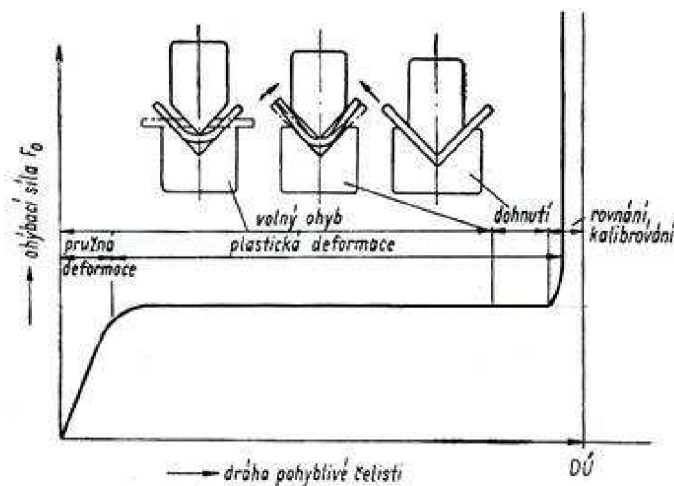
Obr. č. 25 – Odpružení materiálu pro ohyb tvaru U [16]

Tabulka č. 2 – Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály [14]

Materiál	R/t	
	0,8 až 2,0	> 2,0
320 Mpa	1°	3°
Ocel σ_{Pt} 320 až 400 Mpa	3°	5°
400 Mpa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

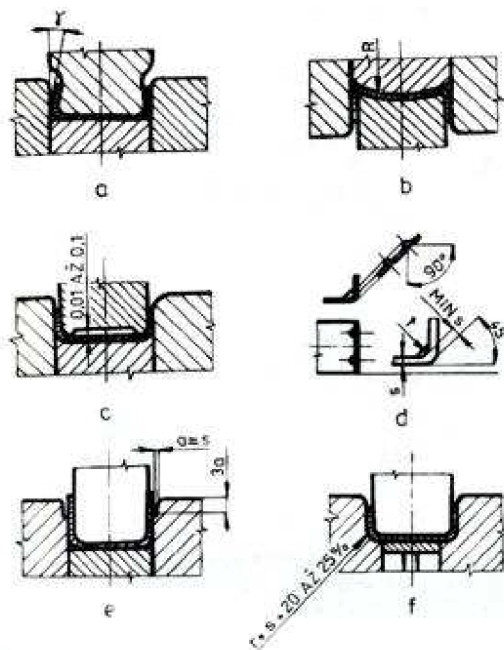
Odpružení se většinou omezuje tak, že:

- materiál se ohne více o hodnotu úhlu odpružení γ , který se určí buď podle empirických vzorců nebo z tabulek. Nástroj se musí navrhnout s korekcí o úhel γ , má-li mít výlisek požadovaný tvar,
- použije se kalibrace, to znamená, že se zvětší lisovací síla na konci lisovacího cyklu, dochází k místní plastické deformaci v místě ohybu a hodnota odpružení se snižuje, až případně vymizí úplně.



Obr. č. 26 – Průběh ohýbací síly včetně kalibrace [16]

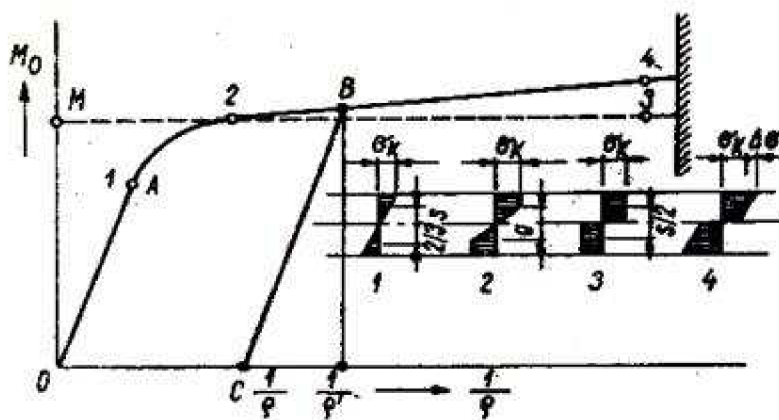
- použije se prolisů na výlisku, kdy se odpružení odstraní téměř úplně. Odpružení při ohybu je možné vyloučit například těmito opatřeními – podbroušením pohyblivé čelisti o úhel γ , zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem R, zpevněním materiálu v rozích rázem, vylišováním vyztužovacího žebra v místech ohybu, postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu a zpevněním materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech.



Obr. č. 27 – Konstrukční úpravy funkčních částí ohýbadla k omezení odpružení [16]

1.12 Rozložení napětí

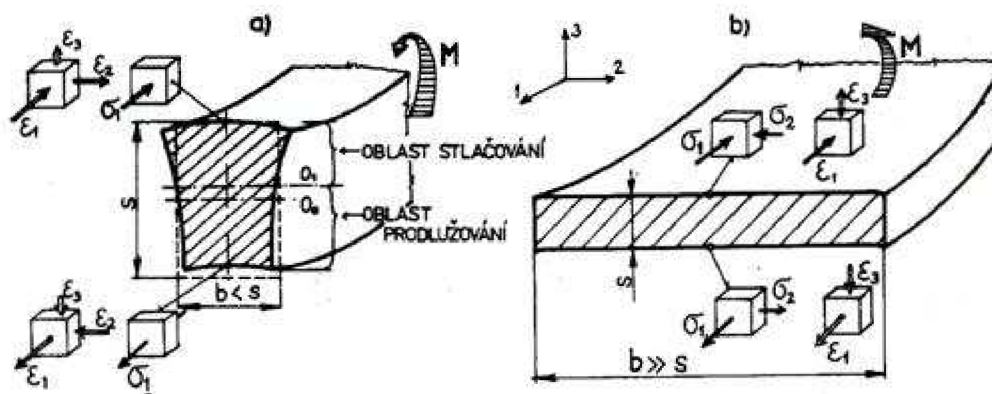
Při ohybu jsou napětí v krajních vláknech materiálu opačného směru (tah, tlak). Na obrázku číslo 27 v oblasti 1, je ukázáno rozložení napětí v příčném průřezu materiálu namáhaného ohybem, a to pod mezí kluzu. Vzroste-li napětí nad hodnotu meze kluzu, vyvolá to růst plastické deformace (uprostřed). Při tom se napětí v pásmech plasticky deformovaných nad hodnotu meze kluzu nezvětšuje – oblast 2. Zvětšuje-li se ohýbací moment, přestane pružné jádro existovat a velikost napětí se již nemění – oblast 3. Při zpevňování materiálu při tváření za studena, platí poměry podle schématu oblasti 4. V okolí neutrální osy je pásmo pružných deformací, které je příčinou odpružování po odlehčení.



Obr. č. 28 – Rozložení napětí v příčném průřezu při ohybu materiálu [16]

V místě ohybu vykazuje tedy ohýbaný materiál tři pásma. Napjatost v ohýbaném materiálu pro tenký plech je ukázána na obrázku:

- pásmo pružných deformací kolem neutrální osy,
- vnější pásmo trvalého prodloužení,
- vnitřní pásmo trvalého napěchování.



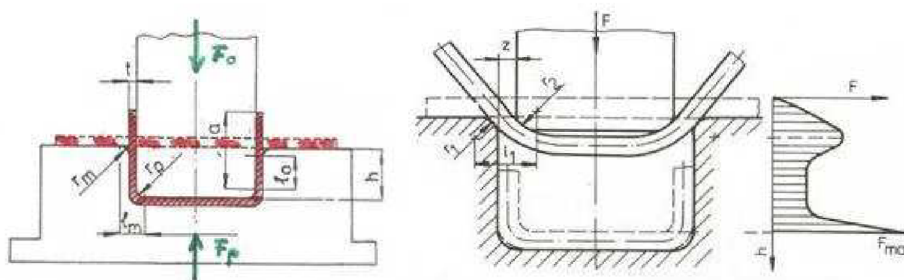
Obr. č. 29 – Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu [16]

1.13 Výpočet síly a práce

V případě výpočtů síly a práce je nutno znát finální tvar výrobku, to znamená, zda bude použito ohýbání do tvaru V nebo do tvaru U.

1.13.1 Ohyb do tvaru U

Pro ohyb do tvaru U se síla a práce vypočte následujícím způsobem (ohyb probíhá současně ve dvou průřezích):



Obr. č. 30 – Ohyb do tvaru U [16]

$$M = 2 \cdot M_o = \sigma_o \cdot W_o = b \cdot t^2 \cdot \sigma_o / 2 \Rightarrow F_o \quad 2.1$$

kde	F	ohýbací síla (pro kalibraci $F_c = F + F_p$) [N],
	F_p	síla přídržovače ($F_p = 0,25$ až $0,30 F$) [N],
	b	šířka polotovaru [mm],
	t	tloušťka polotovaru [mm],
	s_o	ohybové napětí ($s_o = R_m \cdot C$) [MPa],
	C_1	součinitel zpevnění ($C = 1,6$ až $1,8$),
	R_m	mez pevnosti [MPa].

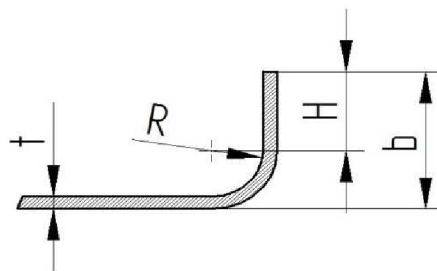
$$A = F \cdot k_2 \cdot h \quad 3.1$$

kde	F	ohýbací síla (pro kalibraci $F_c = F + F_p$) [N],
	h	zdvih (koncová poloha) [m],
	k_2	koeficient průběhu F ($k_2 = 2/3$).

1.14 Technologické zásady pro ohýbání

Pro zajištění optimálních technologických parametrů a tím tedy výroby kvalitních výlisků, je nutné při ohýbání dodržovat následující obecné zásady:

- osa ohybu by měla směřovat kolmo na směr vláken vzniklých při válcování,
- nezmenšovat tolerance rozměrů ohýbaného tvaru pod hranici dosažitelnou běžným ohýbáním,
- vzdálenost místa ohybu od kraje materiálu má být tím větší, čím je materiál tvrdší,
- pro eliminaci rizika posunu materiálu při ohýbání z důvodů krátkých nebo nestejně dlouhých částí je nutné materiál fixovat,
- jsou-li v oblasti ohybu přesné otvory, je nutné vystříhnout je dodatečně,
- osa ohybu by měla směřovat kolmo k obrysu součásti, aby nedocházelo k posunutí dílu při ohybu, popřípadě nežádoucí deformaci průběhu ohybu,
- výlisky s velkými poloměry ohybu jsou málo tuhé a je účelné je vyztužit žebry,
- v místě ohybu dochází vždy ke ztenčení materiálu, doporučuje se připouštět 20% ztenčení,
- ponechávat netolerované rozměry ohýbaných výlisků všude, kde to funkce součásti připouští.
- délka ramene ohýbaného výlisku označena jako b (viz obrázek číslo 31), má splňovat tyto podmínky:
 - když poloměr ohybu $r_o < 1$ mm, potom $b \geq 3 \cdot t + r_o$, ale minimálně $b = 2$ mm,
 - když $r_o > 1$ mm, potom $b \geq (2,5 \div 3) \cdot t$, kde t je síla plechu.



Obr. č. 31 – Délka ohýbaného ramene [16]

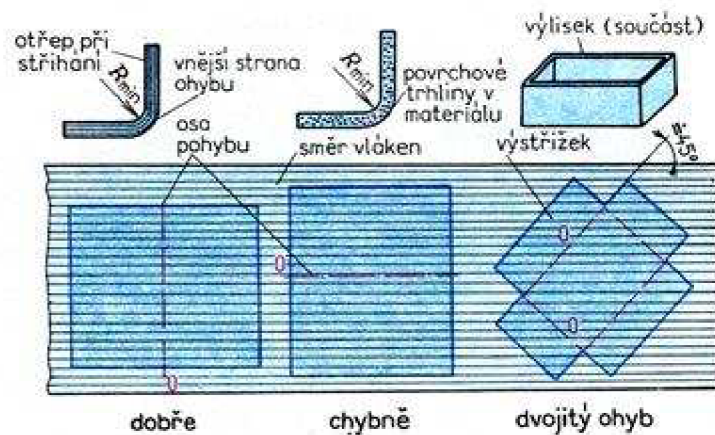
1.15 Ostatní technologické problémy ohýbání

Mezi podstatné problémy, které byly již zmíněny, jako byla deformace průřezu a odpružení materiálu, jsou dalšími problémy ohýbání praskání materiálu a tvoření vln.

K vzniku trhlin dojde v okamžiku, kdy je překročena kritická hodnota poloměru ohybu R/t , což může být způsobeno:

- zpevněním materiálu,
- stavem materiálu (žháný, tvářený za studena),
- průběhem vláken.

Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu (odpružení je ale větší) nebo minimálně pod úhlem 30° . U dvojitého ohybu mají být vlákna materiálu k ose ohybu v úhlu kolem 45° . U stříhaných polotovarů musí být otřep na vnitřní straně ohybu nebo je nutné jej odstranit broušením.



Obr. č. 32 – Vliv vláken na ohýbání [16]

Při návrhu ohýbaných dílů je nutné respektovat požadavky na hodnoty poloměrů ohybu. Poloměr ohybu musí být alespoň takový, aby se v krajních vláknech vůbec překročila hodnota meze kluzu, jinak by nedošlo k plastické deformaci. Poloměr nesmí být příliš malý, aby deformace krajních vláken nepřekročila hodnotu tažnosti. Poloměr ohybu je nutný volit z hlediska odpružení co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti a tloušťce ohýbaného materiálu co největší. Jinak by došlo k destrukci v ohýbaném průřezu.

Tvoření vln vzniká hlavně u tenkých stěn, čemuž se dá zabránit bočním přitlačováním materiálu k nástroji nebo použitím dodatečné tahové síly při ohýbání.

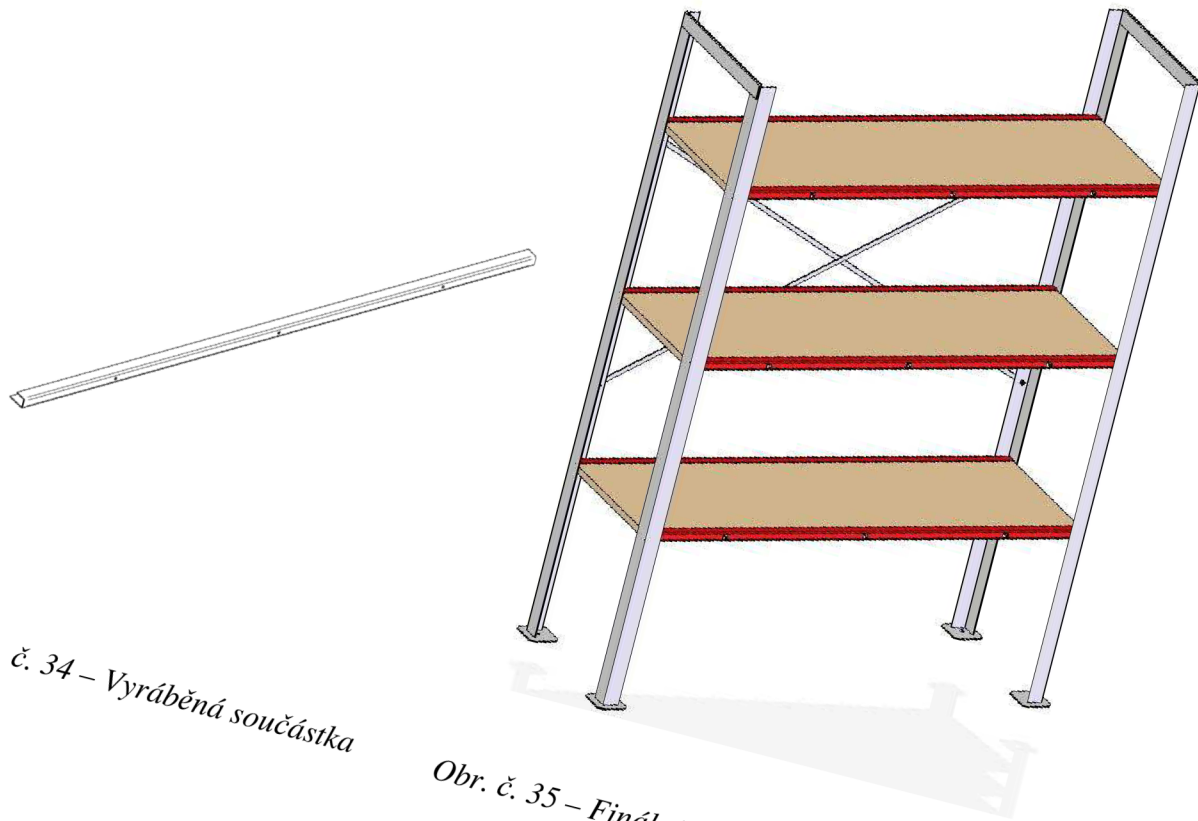


Obr. č. 33 – Zvlnění profilu během ohýbání [16]

2 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

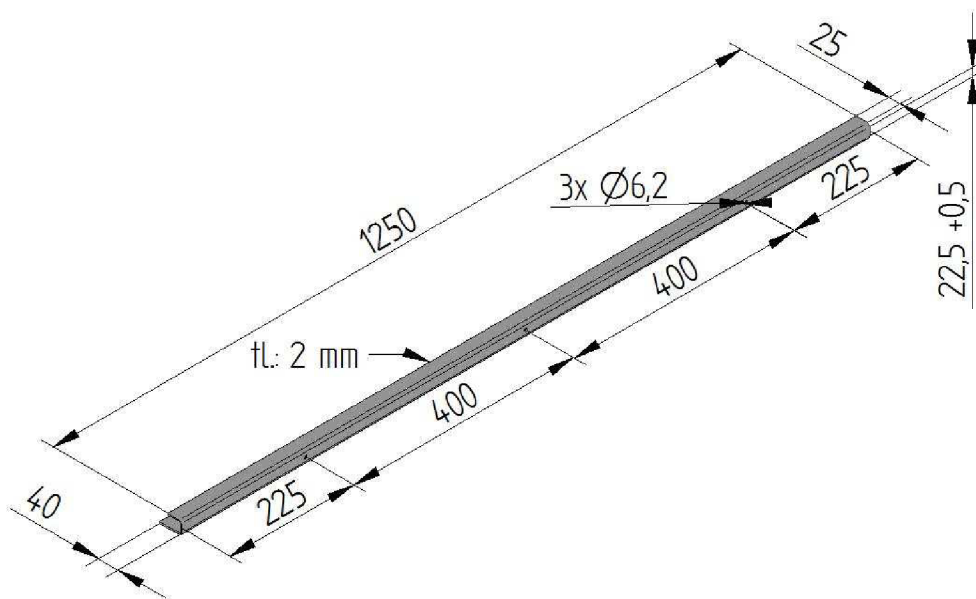
2.1 Součást

Využití vyráběné součástky je vidět na obrázku číslo 35, kde je zobrazen finální výrobek – regál pro spotřebitelský průmysl. Samotná lišta je zobrazena na obrázku číslo 34.



Obr. č. 34 – Vyráběná součástka

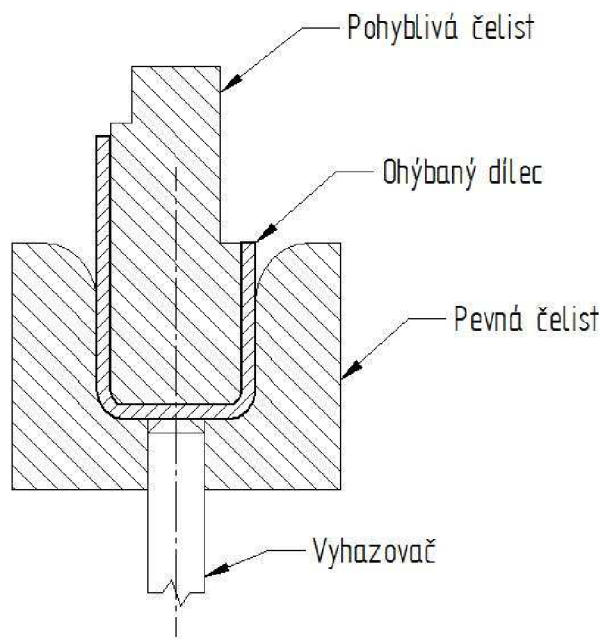
Obr. č. 35 – Finální výrobek s použitím vyráběného dílce



Obr. č. 36 – Model vyráběné součástky

Podrobný model lišty je zobrazen na obrázku číslo 36, včetně všech rozměrů potřebných k výrobě.

Schematické umístění přípravku je vidět na obrázku číslo 37.



Obr. č. 37 – Schematické umístění přípravku

2.2 Chemické složení materiálu

Chemické složení použitého materiálu je zobrazeno v tabulce číslo 2.

Tabulka č. 2 – Chemické složení použitého materiálu [24]

Ocel		Hmotnostní podíl v % max.				
Označení dle DIN	Značení dle EN	C	Mn	P	S	N
1.0038	S 235 JR	0,17	1,4	0,035	0,035	0,012

2.3 Mechanické vlastnosti materiálu

Mechanické vlastnosti materiálu jsou popsány v tabulce číslo 3.

Tabulka č. 3 – Mechanické vlastnosti použitého materiálu [24]

Ocel		Pevnost v tahu R_m [MPa]	Tažnost % min.	Min. mez kluzu R_{eH} [MPa]	Min. nárazová práce [J]
Označení dle DIN	Značení dle EN				
1.0038	S 235 JR	360 – 510	26	235	27

2.4 Technologie ohýbání

Po prostudování dostupných technologií ohýbání bylo zjištěno, že je vhodné zvolit prostý ohyb na ohýbacím stroji.

2.5 Výpočty potřebné před započítáním výroby zadané součástky

Před spuštěním výroby je nutné mít veškeré potřebné podklady včetně výpočtů, aby se zabránilo případnému vzniku chyb, které by vedly k ekonomickým problémům.

Poznámka: Veškeré použité vzorce jsou převzaty z od docenta Dvořáka [14]

2.5.1 Minimální rádius pro ohýbání plechu

Pro výpočet minimálního rádiusu pro ohýbání plechu je využíváno následujícího vzorce:

$$\frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot t$$

t	tloušťka plechu [mm]		
ε_c	mezní prodloužení [mm]		
c	koeficient	měkká ocel:	$c = 0,5 - 0,6$
		měkká mosaz:	$c = 0,3 - 0,4$
		hliník:	$c = 0,35$
		dural:	$c = 3 - 6$
		měkká měď:	$c = 0,25$

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

Minimální rádius pro funkční ohyb dle výpočtu 1,1 mm.

Při výpočtu bylo použito koeficientu $c = 0,55$. V praxi se uvedené koeficienty zvětšují přibližně o 20 %. Korigovaný minimální rádius je potom tedy:

$$R_{\min K} = (c \cdot t) \cdot 1,2 = (0,55 \cdot 2) \cdot 1,2 = 1,32 \text{ mm}$$

2.5.2 Maximální rádius pro ohýbání plechu

Pro výpočet maximálního rádiusu pro ohýbání plechu je využíváno následujícího vzorce:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{R_e - 1} \right)$$

R_{\max} maximální rádius [mm]

t tloušťka plechu [mm]

R_e mez kluzu [MPa]

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{R_e - 1} \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{210\,000}{235 - 1} \right) = 897,43 \text{ mm}$$

2.5.3 Odpružení při ohýbání

Pro výpočet odpružení při ohýbání je využíváno následujícího vzorce:

$$\text{tg } \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}$$

β úhel odpružení [°]

l_m rameno ohybu [mm] $\rightarrow l_m = r_m + r_p + 1,2 t$

r_m poloměr ohybnice [mm]

r_p poloměr ohybníku [mm]

E modul pružnosti v tahu [MPa]

k součinitel [-]

R_e mez kluzu [MPa]

t tloušťka plechu [mm]

Tabulka č. 4 – Hodnoty součinitele k pro výpočet úhlu odpružení [14]

Poloměr r/t	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15
Součinitel k	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5

Poloměr ohybníku r_p byl určen na základě ohybu dílce a to 2 mm. Poloměr ohybnice r_m byl určen jako střední hodnota v uváděném rozmezí 2 – 6 r a to na 8 mm.

$$l_m = r_m + r_p + 1,2t = 8 + 2 + 2,4 = 12,4 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{12,4}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{220}{210\,000} = 0,00897162 \Rightarrow \beta = 1,566^\circ$$

2.5.4 Poloha neutrální osy

Pro výpočet neutrální osy je využíváno následujícího vzorce:

$$\rho_1 = R_o + (x \cdot t)$$

R_o poloměr ohybu [mm]
 t tloušťka plechu [mm]
 x součinitel polohy neutrální osy
 velikost x je závislá na poměru tloušťky plechu a velikosti poloměru ohybu

Tabulka č. 5 – Koeficient x [7]

Poloměr r/t	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0
Součinitel k	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,484	0,486	0,492	0,498

$$\rho_1 = R_o + (x \cdot t) = 2 + (0,42 \cdot 2) = 2,84 \text{ mm}$$

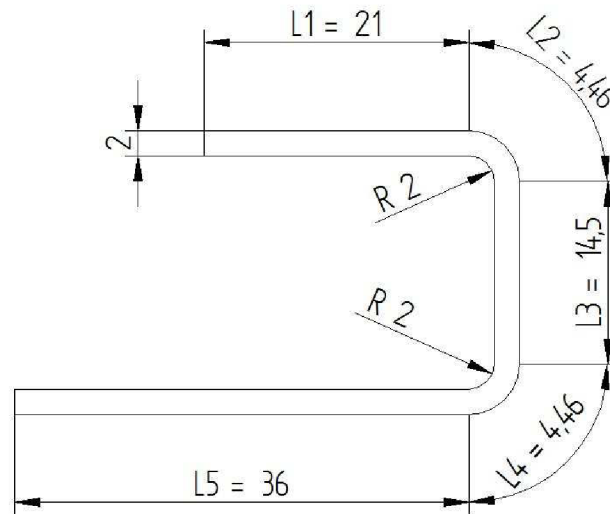
Tabulka č. 6 – Koeficient x [8]

Poloměr r/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0
Součinitel k	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,4	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,5

$$\rho = R_o + (x \cdot t) = 2 + (0,41 \cdot 2) = 2,82 \text{ mm}$$

2.5.5 Rozvinutá délka zadané součásti

Rozvinutou délku zadané součásti je možno spočítat dvěma způsoby – dle Dvořáka nebo dle Bojlanoviče.



Obr. č. 37 – Tvar součástky

$$L = 21 + 4,46 + 14,5 + 4,46 + 36 = 80,36 \text{ mm}$$

$$L = L1 + L2 + L3 + L4 + L5$$

Výpočet dle Dvořáka

L1, L3, L5 délka rovných úseků
L2, L4 délka rozvinutých poloměrů

$$L2, L4 = \frac{\pi \cdot (2 \cdot R)}{4} = 4,46 \text{ mm}$$

$$L = 21 + 4,46 + 14,5 + 4,46 + 36 = 80,36 \text{ mm}$$

Výpočet dle Boljanoviče

L1, L3, L5 délka rovných úseků
L2, L4 délka rozvinutých poloměrů

$$L2, L4 = \frac{\pi \cdot (2 \cdot R)}{4} = 4,43 \text{ mm}$$

$$L = 21 + 4,43 + 14,5 + 4,43 + 36 = 80,30 \text{ mm}$$

2.5.6 Ohybová síla

Pro výpočet ohybové síly je využíváno následujícího vzorce:

$$F_{ou} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R + t} \cdot (1 + 7\mu)$$

t	tloušťka plechu [mm]
R _e	mez kluzu [MPa]
b	šířka plechu [mm]
μ	součinitel tření [-]
R	poloměr ohybu [mm]

$$F_{ou} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R + t} \cdot (1 + 7\mu) = \frac{1250 \cdot 2^2 \cdot 235}{2,82 + 2} \cdot (1 + 7 \cdot 0,15) = 499741 \text{ N}$$

2.5.7 Ohybová práce

Pro výpočet ohybové práce je využíváno následujícího vzorce:

$$A_{ou} = \frac{1}{2} \cdot F_{ou} \cdot h$$

F _{ou}	ohybová síla [N]
h	potřebný zdvih [mm]

$$A_{ou} = \frac{1}{2} \cdot F_{ou} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 499\,741 \cdot 21 = 5\,247\,281 \text{ J}$$

2.6 Příprava polotovaru

Nejdříve je nutno připravit nástřihový plán, pomocí něhož se určí, jakým způsobem je neefektivněji provést stříhání ocelového plechu.

2.7 Nástřihový plán

Pro stříhání polotovaru bude využito celé šíře tabule plechu tedy 1250 mm.

Šíře pásu Š_p byla stanovena výpočtem napřímené délky na 80,53 mm po zaokrouhlení na 81 mm.

Počet pásů plechu z tabule plechu P:

$$P = 2500/\check{S}_p = 2500/80,53 = 30,86 \Rightarrow 30 \text{ ks}$$

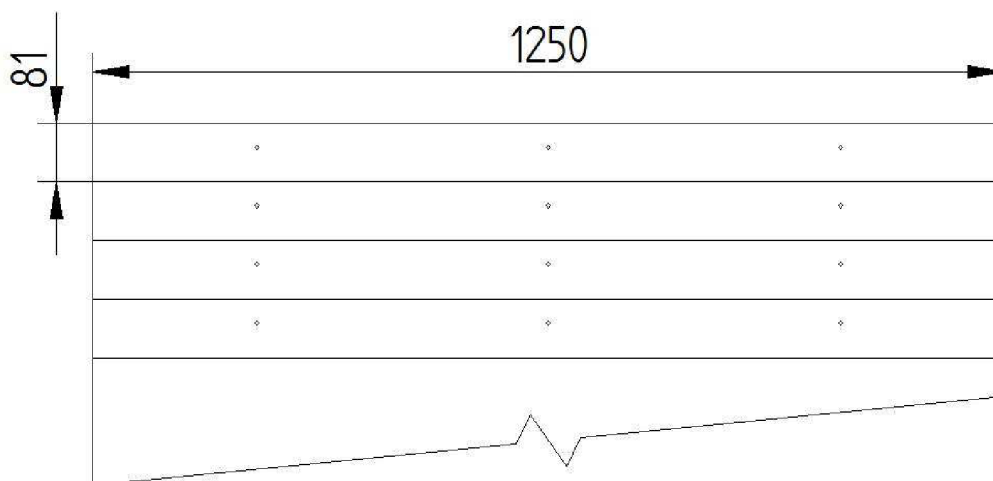
Vzhledem k využití celé šířky tabule plechu nebylo uvažováno o jiných variantách nástřihového plánu, protože by byly již na první pohled neekonomické.

2.7.1 Délka pásu:

Délka pásu plechu se vypočte následovně:

$$D_p = \check{S}_p \cdot P = 30 \cdot 81 = 2430 \text{ mm}$$

Pro výrobu výstřížku budou použity polotovary o rozměru 1250 x 2430 mm.



Obr. č. 28 – Nástřihový plán

2.7.2 Stanovení plochy výstřížku a plechu

Pro výpočet ekonomického využití plechu v rámci nástřihového plánu je potřeba stanovit plochu výstřížku S_v a plochu tabule plechu S_t .

Plochu výstřížku S_v dostaneme díky složení základních matematických vzorců, v tomto případě vzorce pro výpočet plochy kruhu $S = \pi \cdot r^2$.

$$S_v = S_c - (3 \cdot S_1 + 2 \cdot S_2)$$

$$S_c - \text{celková plocha} \Rightarrow l \cdot b = 80,36 \cdot 1250 = 100450 \text{ mm}^2$$

$$S_1 - \text{plocha vnitřního výseku } \varnothing 6 \text{ mm} \Rightarrow \pi \cdot r_2^2 = \pi \cdot 3^2 = 28,27 \text{ mm}^2$$

$$S_2 - \text{plocha vnitřního výseku pro uchycení} \Rightarrow 7 \cdot 20 = 140 \text{ mm}^2$$

$$S_v = 100450 - (3 \cdot 28,27 + 2 \cdot 140) = 100085,19 \text{ mm}^2$$

Plochu tabule plechu vypočteme z jednoduchého vzorce:

$$S_t = a \cdot b = 1250 \cdot 2500 = 3125000 \text{ mm}^2 = 3,125 \text{ m}^2$$

2.8 Výpočet hmotnosti tabule plechu

Hmotnost tabule plechu je počítána ze základního fyzikálního vzorce:

$$m = V \cdot \rho$$

$$\rho = 7,853 \text{ kg/m}^3 = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3$$

$$V = S_t \cdot \text{tloušťka plechu} = 3125000 \cdot 2 = 6250000 \text{ mm}^3$$

$$m = V \cdot \rho = 6250000 \cdot (7,85 \cdot 10^{-6}) = 49,06 \text{ kg}$$

2.9 Ekonomické využití tabule plechu

Ekonomické využití tabule plechu V_p je vypočítáno následně:

$$V_p = \left(\frac{S_v \cdot P}{S_t} \right) \cdot 100 = \left(\frac{100085,19 \cdot 30}{3125000} \right) \cdot 100 = 96,08\%$$

2.10 Spotřeba materiálu

Spotřebu materiálu S_p je vypočítána ze vzorce:

$$S_p = 80000/30 = 2666,66 \Rightarrow 2667 \text{ ks}$$

2.11 Celkový počet pásů

Celkový počet pásů C_{pp} vypočteme je dán celkovým počtem kusů v sérii, tedy 80 000 ks.

2.12 Celková hmotnost materiálu

Celkovou hmotnost materiálu m_1 vypočteme ze vzorce:

$$m_1 = S_p \cdot 49,06 = 130843,02 \text{ kg}$$

2.13 Návrh postupu stříhání

Výstřížek bude vyroben ve dvou krocích.

- polotovar bude zasunut mezi vodící lišty k prvnímu načínacímu dorazu a budou vystříhnuty tři otvory $\varnothing 6 \text{ mm}$,

- bude vyjmut první načínací doraz. Polotovar bude zasunut na doraz a odstřížen na potřebnou délku.

2.14 Výpočet střížné síly a práce

Střížná síla F_s se určí ze vztahu:

$$F_s = k \cdot S \cdot \tau_{ps}$$

F_s střížná síla [N]
 k opravný koeficient
 τ_{ps} mez pevnosti ve stříhu [MPa]
 S střížná plocha [mm²] – délka křivky stříhu x tloušťka materiálu

Opravný koeficient je bezrozměrné číslo zahrnující do výpočtu vnější vlivy stříhání jako je otupení nástroje, tření mezi střížníkem a materiálem a nerovnoměrnost tloušťky materiálu.

Mez pevnosti ve stříhu je vypočtená hodnota ze vztahu:

$$\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$$

τ_{ps} mez pevnosti ve stříhu [MPa]
 R_m mez pevnosti v tahu [MPa]

Tabulka č. 7 – Tabulka střížných sil

Ozn.	Stříh	l [mm]	tl. [mm]	N	T_s [MPa]	S [mm ²]	F_s [N]
A	6	18,85	2,00	1,20	188,00	37,70	8505,00
B	1250	1250,00	2,00	1,20	188,00	2500,00	564000,00
Celková střížná síla na $F_s = 3 \cdot A + B$							589515,00

Pozn.:

Jako A je označen stříh o otvoru o 6 mm, jako B je označen stříh potřebný k odstříhnutí polotovaru z pásu.

Střížná práce A se určí ze vztahu:

$$A = (F_s \cdot t \cdot \lambda) / 1000$$

A střížná práce [J]
 F_s střížná síla [N]
 t tloušťka plechu [mm]
 λ koeficient, viz tabulka X

Tabulka č. 8 – Koeficient k [24]

Materiál	Tloušťka materiálu			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká $K_s = 250 - 350$ [Mpa]	0,7 - 0,65	0,65 - 0,60	0,60 - 0,50	0,45 - 0,35
Ocel středně tvrdá $K_s = 350 - 500$ [Mpa]	0,6 - 0,55	0,55 - 0,50	0,50 - 0,42	0,40 - 0,30
Ocel tvrdá $K_s = 500 - 700$ [Mpa]	0,45 - 0,42	0,42 - 0,38	0,38 - 0,33	0,30 - 0,20
Hliník, měď (stav vyžiháný)	0,75 - 0,70	0,70 - 0,65	0,65 - 0,55	0,50 - 0,40

$$A = \left(\frac{589515 \cdot 2 \cdot 0,6}{1000} \right) = 707,42 \text{ J}$$

S ohledem na zaoblení v rohu R2 není potřeba provádět technologickou zkoušku podle Gůtha na minimální poloměr ohybu.

2.10 Volba vhodného stroje

Pro výrobu lišty byl z dostupných materiálů vybrán výstředníkový lis LEN 63C, který je zobrazen na obrázku číslo 39 a který má dostatečnou sílu pro potřeby výroby.

Výstředníkové lisy řady LEN 63 C jsou určeny pro všechny práce lisováním za studena, jako je stříhání, vystřihování, děrování, ostřihávání, ražení, ohýbání, rovnání, protlačování, mělké tažení a podobně.

Pohon lisu zabezpečuje přepínatelný dvou otáčkový elektromotor, čímž je dána možnost volit počet zdvihů beranu podle technologické potřeby.

Hlavní přednosti lisu:

- měnitelnost velikosti zdvihu,
- přestavení beranu,
- přesné prodloužení samomazného vedení beranu,
- pneumatické vyvažování beranu,
- valivé uložení výstředníkového hřídele a ojnice,
- třecí obložení spojky – brzdy, vyhovující hygienickým normám,
- jednoduché a přesné určení nastavení řídicích a kontrolních vaček,
- možnost použití mechanického a automatického příslušenství. [25]



Obr. č. 39 – Výstředníkový lis LEN 63 C [25]

Technické údaje a parametry stroje jsou uvedeny v příloze číslo 6. [25]

2.11 Technicko-ekonomické zhodnocení

Před samotným započítáním výroby je nutné provést nejen technické zhodnocení výroby zadané součástky, ale rovněž i zhodnocení ekonomické.

2.11.1 Materiálové náklady součásti

Při cenové kalkulaci materiálových nákladů byly osloveny firmy nabízející potřebný materiál. Z nabídek byla vybrána ta nejvýhodnější z hlediska materiálových nákladů a cena použitého plechu tak byla stanovena na 16,20 Kč/kg.

Celkový objem materiálu potřebný pro výrobu byl vypočten na 130 843 kg.

Celkové materiálové náklady tedy pro výrobu série dílců na jednotku činí:

$$C_n = 130\,843 \cdot 16,20 = 2\,119\,656,60 \text{ Kč}$$

Jednotková cena dílce tedy vychází:

$$C_n = 2\,119\,656,60 / 80\,000 = 26,49 \text{ Kč}$$

2.11.2 Materiálové náklady přípravku

Pro cenovou kalkulaci nákladů na výrobu přípravku byly osloveny firmy zabývající se třískovým obráběním a výrobou přípravků. Oslovené firmy měli k dispozici základní výkresovou dokumentaci pro nacenění přípravku včetně tepelného zpracování jednotlivých dílců.

Ze všech došlých nabídek byla vybrána ekonomicky nejvýhodnější nabídka a to s celkovou cenou 64 852,00 Kč.

Celkové náklady přípravku tedy pro výrobu série dílců na jednotku činí:

$$C_p = 64\,852 / 80000 = 0,81 \text{ Kč}$$

2.11.3 Celkové materiálové náklady

Dle výše uvedených vypočtených cen za jednotku materiálových nákladů je spočtena celková jednotková cena, a to:

$$MC = C_n + C_p = 26,49 + 0,81 = 27,30 \text{ Kč}$$

2.11.4 Ostatní náklady výroby

Do ostatních nákladů výroby jsou zahrnuty veškeré ostatní režijní náklady, tedy mzdové, energetické a vedlejší rozpočtové náklady.

Cena těchto nákladů byla určena na základě běžných ekonomických ukazatelů firmy a vychází z běžného provozu firmy na základě zkušeností s výrobou plechových dílců. Cena byla určena jako hodinová sazba, a to 568,00 Kč/h.

Hodinová dávka výrobků zpracovatelných na přípravcích byla technologem stanovena na 32 ks/h.

Výrobní náklady tedy po rozpočítání činí:

$$V_n = 568 / 32 = 17,75 \text{ Kč}$$

Celková cena výrobku je tedy součtem jednotlivých nákladů:

$$C_c = MC + V_n = 27,3 + 17,75 = 45,05 \text{ Kč}$$

Pro potřeby prodeje je k celkovým nákladům připočten ještě rozumný zisk ve výši 15 % z ceny.

Prodejní cena výrobku je tedy stanovena na:

$$P_c = C_c \cdot 1,15 = 51,80 \text{ Kč}$$

ZÁVĚR

Zadáním bakalářské práce Návrh ohýbacího nástroje pro U-ohyb plechu bylo vytvoření ohýbacího nástroje pro výrobu lišty z pozinkovaného plechu.

V teoretické části je rozebrána studie technologie plošného tváření. Především technologie stříhání a ohýbání. Na základě teorie plošného stříhání z teoretické části bakalářské práce aplikujeme tyto poznatky v praktické části.

Při tvorbě bakalářské práce bylo použito platných pravidel pro tvorbu technické zprávy, která je nutné dodržet při zpracovávání studijních prací či technických projektů v praxi. Bakalářský projekt byl vypracován samostatně pod vedením doc. Ing. Milana Dvořáka, CSc., při dodržení pravidel pro využívání zdrojů.

V praktické části bakalářské práce bylo pomocí technologie stříhání vyrobeno z ocelového plechu s rozměry 1250 x 2500 mm celkem 30 kusů plechových pásů, které byly následně vloženy do výstředníkového lisu LEN 63 C a s použitím navrženého ohýbacího nástroje byl vytvořen finální výrobek.

V ekonomické analýze je propočten jednotlivých nákladů, aby bylo možné určit jak dříčí, tak i celkové náklady na výrobu nástroje, zařízení lisu, provedení všech ostatních prací – stříhání, vrtání a také s cenou a přípravou materiálu.

Po důkladném rozboru nejvýhodnějších technologií pro výrobu námi zadaného výrobku je stříhání a lisování na výstředníkovém lisu LEN 63 C.

V konstrukční části před samotným modelováním v programu Solid Edge byly nadimenzovány s dostatečnou bezpečností všechny součásti, aby se předešlo pozdějším problémům při výrobě. Byla zjištěna celková potřebná síla lisu, která nepřesahuje maximální skutečnou sílu lisu. Pokud by přesahovala, bylo by potřeba použití silnějšího lisu, čímž by se zvýšily náklady.

Na základě všech těchto technologických i konstrukčních poznatků byla zhotovena ve výše zmíněném modelovacím programu výkresová dokumentace ohýbacího nástroje. Vyhotoveny byly výkresy ohýbacího přípravku, ohybníku, ohybnice a samotného výrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [2] BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
- [3] HOSFORD, WILLIAM F. and Robert CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.
- [4] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [5] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- [6] NOVOTNÝ, Karel. *Závěrečný projekt: Plošné a objemové tváření*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1987, 139 s.
- [7] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [8] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes And Die Design*. 1st edition. New York: Industrial Press Inc., 2004. 219 s. ISBN 0-8311-3182-9.
- [9] TSCHÄTSCH, Heinz. *Taschenbuch Umformtechnik: Verfahren, Maschinen, Werkzeuge*. 1. Aufl. Wien: Hanser, 1977, 340 p. ISBN 34-461-2151-X.
- [10] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [11] KŘÍŽ, Rudolf. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozní ochrana materiálu*. 1. vyd. Praha: Scientia, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
- [12] BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 114 s. ISBN 80-248-0068-3.
- [13] DVOŘÁK, Milan, Ladislav ŽÁK a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real, 2000, 103 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1723-4.
- [14] DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

- [15] Technologie tváření kovů. [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf
- [16] Technologie plošného tváření - ohýbání. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
- [17] Shop.Galea.sk. [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.shop.galea.sk/index.php/e-shop/161-u-profilu>
- [18] iMateriály. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://imaterialy.dumabyt.cz/Clanky/Stycniky-tezkych-drevenych-skeletu.html>
- [19] Titan Tatraplast. In: [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.titan-tatraplast.sk/produkty/technicke-plasty-a-polotovary/plastove-profilu-a-tyce/>
- [20] Co všechno mají umět kvalitní okna?. *Novinky.cz* [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/bydleni/tipy-a-trendy/265962-co-vsechno-maji-umet-kvalitni-okna.html>
- [21] ČSN 22 7340. *OHÝBADLA: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. 1991. vyd. Praha 10-Hostivař: Vydavatelství norem, 1991.
- [22] Stříhání (materiál). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99ih%C3%A1n%C3%AD_\(materi%C3%A1l\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99ih%C3%A1n%C3%AD_(materi%C3%A1l))
- [23] Vliv nekonvenčních metod přípravy přístřihů na jejich následné plastické vlastnosti. In: [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/deleni%20materialu.pdf
- [24] Bohdan Bolzano. In: [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/S235JRG2/>
- [25] Stroje Slovakia. In: [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.strojeslovakia.sk/kovoobrabacie-stroje/product/3901-Vystrednikovy-lis-LEN-63-C/>
- [26] Technologie - Dělení materiálu (řezání). In: [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=12&ved=0CC0QFjABOAO&url=http%3A%2F%2Fdumy.cz%2Fstahnout%2F54114&ei=4wMVU9_bKoH8ygP2y4DYAw&usg=AFQjCNGjAOj6eIa5YOq1p8CpZpY5EV32_w
- [27] Řezání, sekání. [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://ucivozs.sweb.cz/kov7.html>

[28] Tepelné dělení materiálu kyslíkem. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/tepelne-deleni-materialu-kyslikem.html>

[29] Citace.com. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Příklad ohýbání	13
Obr. č. 2 – Příklad ohýbání	13
Obr. č. 4 – Příklad ohýbání	13
Obr. č. 3 – Příklad ohýbání	13
Obr. č. 5 – Vyráběná součástka	14
Obr. č. 6 – Finální výrobek s použitím vyráběného dílce	14
Obr. č. 7 – Rozložení a velikost napětí v materiálu	20
Obr. č. 8 – Průběh napětí a posunutí neutrální plochy	20
Obr. č. 9 – Úhel odpružení	21
Obr. č. 10 – Ohýbací stroj s otočnou deskou	22
Obr. č. 11 – Ukázka nástroje pro ohyb jiný než pravý úhel	23
Obr. č. 12 – Ohýbání válcováním pomocí profilových kladek	23
Obr. č. 13 – Ukázka nástrojů pro ohyb do tvaru V a U	24
Obr. č. 14 – Ohyb V a U	25
Obr. č. 15 – Schéma ohranování	25
Obr. č. 16 – Zakružování	26
Obr. č. 17 – Příklady lemování	26
Obr. č. 18 – Schéma rovnacích válců	27
Obr. č. 19 – Obroubení rovinného dílce	27
Obr. č. 20 – Osazení a přesazení	27
Obr. č. 21 – Schéma drápkování	28
Obr. č. 22 – Kontinuální ohýbání U profilu	28
Obr. č. 23 – Deformace průřezu během ohýbání pro rozdílné výšky a profily	29
Obr. č. 24 – Posunutí neutrální osy v místě ohybu	29
Obr. č. 25 – Odpružení materiálu pro ohyb tvaru U	30
Obr. č. 26 – Průběh ohýbací síly včetně kalibrace	31
Obr. č. 27 – Konstrukční úpravy funkčních částí ohýbadla k omezení odpružení	32
Obr. č. 28 – Rozložení napětí v příčném průřezu při ohybu materiálu	32
Obr. č. 29 – Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu	33
Obr. č. 30 – Ohyb do tvaru U	33
Obr. č. 31 – Délka ohýbaného ramene	35
Obr. č. 32 – Vliv vláken na ohýbání	35
Obr. č. 33 – Zvlnění profilu během ohýbání	36
Obr. č. 35 – Finální výrobek s použitím vyráběného dílce	37
Obr. č. 34 – Vyráběná součástka	37
Obr. č. 36 – Model vyráběné součástky	38
Obr. č. 37 – Schematické umístění přípravku	38
Obr. č. 37 – Tvar součástky	42
Obr. č. 28 – Nástřihový plán	44
Obr. č. 39 – Výtředníkový lis LEN 63 C	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály	30
Tabulka č. 2 – Chemické složení použitého materiálu	39
Tabulka č. 3 – Mechanické vlastnosti použitého materiálu	39
Tabulka č. 4 – Hodnoty součinitele k pro výpočet úhlu odpružení	40
Tabulka č. 5 – Koeficient x	41
Tabulka č. 6 – Koeficient x	41
Tabulka č. 7 – Tabulka střižných sil	46
Tabulka č. 8 – Koeficient k	47

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Použitá zkratka/symbol	Význam použité zkratky	Jednotka
F	ohýbací síla	[N]
A	střížná práce	[J]
a, b	označení strany	[mm]
A_{ovK}	ohybová práce	[J]
b	šířka plechu	[mm]
C	chemická značka uhlíku	[-]
c	koeficient	[-]
C_1	součinitel zpevnění	[-]
Cc	celková cena	[Kč]
Cn	celkové náklady	[Kč]
CNC	Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem, nejčastěji u obráběcích strojů	[-]
C_{pp}	celkový počet pásů	[ks]
C_{pp}	celkové náklady přípravku	[Kč]
D_p	délka pásu	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
EN	evropské značení	[-]
F	ohýbací síla	[N]
F_{ou}	ohybová síla	[N]
F_p	síla přidržovače	[N]
F_s	střížná síla	[N]
h	potřebný zdvih	[mm]
J	Joule - jednotka práce a energie	[J]
k	opravný koeficient	[-]
k_2	koeficient průběhu F	[-]
L1, L3, L5	délka rovných úseků	[mm]
L2, L4	délka rozvinutých rádiusů	[mm]
l_m	rameno ohybu	[mm]
m	hmotnost	[kg]
m_1	celková hmotnost materiálu	[kg]
MC	celková jednotková cen	[Kč]
mm	milimetr	[mm]
Mn	chemická značka manganu	[-]
MPa	Megapascal - jednotka tlaku	[MPa]
N	chemická značka dusíku	[-]
∅	označení pro průměr	[mm]

Použitá zkratka/symbol	Význam použité zkratky	Jednotka
P	chemická značka fosforu	[-]
P _c	prodejní cena	[Kč]
P _l	plech	[-]
R	vnitřní poloměr ohybu	[mm]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _{eH}	horní mez kluzu	[MPa]
r _m	poloměr ohybnice	[mm]
R _m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{max}	maximální rádius	[mm]
R _{min}	minimální rádius	[mm]
R _{minK}	korigovaný minimální rádius	[mm]
R _o	poloměr ohybu	[mm]
r _p	poloměr ohybníku	[mm]
S	chemická značka síry	[-]
S ₁	plocha vnitřního výseku	[mm ²]
S ₂	plocha vnitřního výseku pro uchycení	[mm ²]
S _c	celková plocha	[mm ²]
s _o	ohybové napětí	[MPa]
S _p	střižná plocha	[mm ²]
S _t	plocha tabule plechu	[mm ²]
S _v	plocha výstřižku	[mm ²]
Š _p	šíře pásu	[mm]
t	tloušťka plechu	[mm]
V	objem	[mm ³]
V _n	výrobní náklady	[Kč]
x	součinitel polohy neutrální osy	[-]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel odpružení	[°]
ε _c	mezní prodloužení	[mm2]
λ	koeficient	[-]
μ	součinitel tření	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
ρ _l	poloměr ohybu	[mm]

Použitá zkratka/symbol	Význam použité zkratky	Jednotka
σ_{Pt}	mez pevnosti v tahu	[MPa]
τ_{ps}	mez pevnosti ve střihu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 NÁVRH OHÝBACÍHO PŘÍPRAVKU

Příloha č. 2 ŘEZ PŘÍPRAVKEM

Příloha č. 3 OHYBNICE

Příloha č. 4 OHYBNÍK

Příloha č. 5 LIŠTA

Příloha č. 6 TECHNICKÉ ÚDAJE A PARAMETRY STROJE LEN 63C

Příloha č. 6 TECHNICKÉ ÚDAJE A PARAMETRY STROJE LEN 63C

Technické údaje a parametry stroje LEN 63 C

Technické údaje	LEN10 C	LEN 25 C	LEN 40 C	LEN 63 C	MJ	
JMENOVITÁ SILA LISU	100	250	400	630	kN	
POČET ZDVIHŮ TRVALÝ CHOD P/R	80/160	75/155	70/140	65/130	1/min	
VYUŽITELNÝ POČET JEDNOTLIVÝCH ZDVIHŮ P/R	40/45	40/45	35/45	32/45	mm	
MAX. TLOUŠŤKA ZPRACOVÁVANÉHO PLECHU	TRVALÝ CHOD	1,6/1	2,5/1,6	3,2/2	3,5/2,5	mm
	JEDNOTLIVÉ ZDVIHY	3,2/2	5/3,2	6,4/4	7/5	Mm
MAXIMÁLNĚ ODEVZDANÁ PRÁCE	JEDNOTLIVÉ ZDVIHY	160/100	630/400	1250/800	2200/1500	J
	TRVALÝ CHOD	80/50	320/200	630/400	1100/750	J
ELEKTROMOTOR	VÝKON	1,1/1,5	2,2/3	3/4	5/7,5	kW
	OTÁČKY	720/1450	725/1460	710/1450	725/1450	1/min
ELEKTRICKÉ NAPĚTÍ	SÍŤOVÉ	380 V/50 HZ				V/Hz
	OVLÁDACÍ	24 V/50 HZ				
	OSVĚTLENÍ	24 V/50 HZ				
TLAKOVÝ VZDUCH	PRACOVNÍ TLAK	0,5				Mpa
	SPOTŘEBA VZDUCHU	0,004	0,005	0,006	0,009	m ³ /zdvih
	PŘÍPOJKA VZDUCHU	G 1/2"				

PARAMETRY A ROZMĚRY		LEN 10 C	LEN 25 C	LEN 40 C	LEN 63 C	MJ
STAVITELNOST ZDVIHU	A	6-65	8-85	8-95	10-105	mm
STAVITELNOST BERANA	B	45	55	60	70	
VYLOŽENÍ	C	165	225	265	315	
SEVRĚNÍ	E	225	265	295	335	
PŘECHOD	F	180	250	300	355	
PLOCHA STOLU		320 x 450	450 x 560	530 x 660	630 x 800	
PLOCHA BERANA		180 x 280	220 x 355	250 x 400	280 x 450	
TLOUŠŤKA DESKY STOLU		65	65	75	85	
ROZMĚRY LISU	A ₁	1018	1145	1250	1375	
	B ₁	1930	2145	2370	2550	
	C ₁	1145	1365	1585	1790	
	D ₁	840	1075	1220	1470	
	E ₁	590	760	830	970	
	F ₁	365	415	450	475	
	G ₁	400	455	505	570	
	H	800	800	800	800	
	H ₁	-95	85	120	150	
	J ₁	220	120	130	150	
K ₁	498	835	900	1100		
L ₁	500	668	738	850		
SKLOPENÍ STOJANU		0, 150, 300			0; 12; 5; 25	
HMOTNOST LISU		1250	2500	4500	5850	kg