



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTÍ NA OHRAŇOVACÍM LISE

THE PRODUCTION OF THE COMPONENTS ON THE PRESS BRAKE MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Zahradníček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Lukáš Zahradníček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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 bakalářské práce:

Výroba součástí na ohraňovacím lise

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření přehledu způsobů výroby dílců na ohraňovacích lisech.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti výroby dílců na ohraňovacích lisech a vytvoření základní představy o principu ohraňování, užívaných metodách, upínání nástrojů, užívaných strojích a nástrojích a uplatnění zhotovených dílců na trhu.

Práce by měla být doplněna obrázky, vlastními úvahami a závěry.

Seznam literatury:

Schuler GmbH. (1996): Handbuch der Umformtechnik. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

Tschaetsch, H. (2006): Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York.

Dvořák, M., Gajdoš, F. a Novotný, K. (2007): Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. Akademické vydavatelství CERM, Brno.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ZAHRADNÍČEK LUKÁŠ: Výroba součástí na ohraňovacím lise.

Práce předkládá přehled o technologii výroby součástí na ohraňovacích lisech. Je vytvořena na základě literární studie teoretického základu s doplněním nejmodernějších poznatků a příkladů z praxe. Pojednává obecně o technologii ohybu, jeho principu a parametrech, které s ohybem souvisí. Dále jsou popsány nejčastěji užívané metody výroby na ohraňovacích lisech, tvářecí nástroje, jejich výroba a upínání ve stroji. Hlavní důraz je kladen na samotné ohraňovací lisy. Jsou zde popsány různé typy ohraňovacích lisů, dále jednotlivé části lisu a nakonec je uveden i přehled nejznámějších výrobců. Pro lepší představu procesu výroby je ukázána výroba součástí na praktickém příkladu z výrobní firmy. Přínosem této práce je jednoduše popsaná technologie ohraňování a způsob práce na ohraňovacích lisech, což může sloužit pro didaktické účely.

Klíčová slova: ohraňování, ohraňovací lis, pohon, nástroj, upínání

ABSTRACT

ZAHRADNÍČEK LUKÁŠ: The Production of Components on the Press Brake Machine.

The project elaborated overview of the production technology of the components on the press brake machines. It is based on study of theoretical principles in literature and modern practical instances as added value. It discussed about bending technology in general, about its principle and parameters. Then there is overview of most used methods of bending at press brake. bending tools, its process of production and tool clamping. The main emphasis is placed on press brake machines. There are discussed the main types of machines, structure of machine and last but not least there are presented selected world manufacturers of press brake machines. For a better idea there is showed production of particular component in manufacturing plant in the end. Acquisition of the project is in simple description of press bending technology and way of work on press brake machines. The useful transfer may be for example to education.

Keywords: press brake forming, press brake machine, drive system, bending tool, clamping

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZAHRADNÍČEK, Lukáš. *Výroba součástí na ohraňovacím lise*. Brno, 2016. 34s, CD. Bakalářská 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 bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 27.5.2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Evě Peterkové za trpělivost a cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za psychickou podporu při zpracovávání práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat zástupcům firmy D-Klima s.r.o za užitečné praktické informace.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

ÚVOD	10
1 TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ	11
1.1 Princip ohýbání	11
1.1.1 Rozložení napětí a deformace	12
1.1.2 Neutrální vrstva	13
1.1.3 Poloměr ohybu	14
1.1.4 Odpružení při ohýbání	15
1.1.5 Ohýbací síla a práce	16
1.2 Technologické zásady při konstrukci ohýbané součásti	17
2 METODY OHRAŇOVÁNÍ NA LISE	18
2.1 Volné ohýbání	18
2.2 Ohyb s dotlačením	19
2.3 Ohyb s přeložením	19
2.4 Tříbodové ohýbání	19
3 NÁSTROJE PRO OHRAŇOVÁNÍ	20
3.1 Razník	20
3.2 Matrice	20
3.3 Upínání nástrojů	21
3.3.1 Mechanické upínání	21
3.3.2 Hydraulické upínání	22
3.4 Výroba nástrojů	22
4 OHRAŇOVACÍ STROJE	23
4.1 Stavba ohraňovacího lisu	23
4.1.1 Bombírování	24
4.1.2 Ohýbací příslušenství	25
4.1.3 Bezpečnostní prvky	26

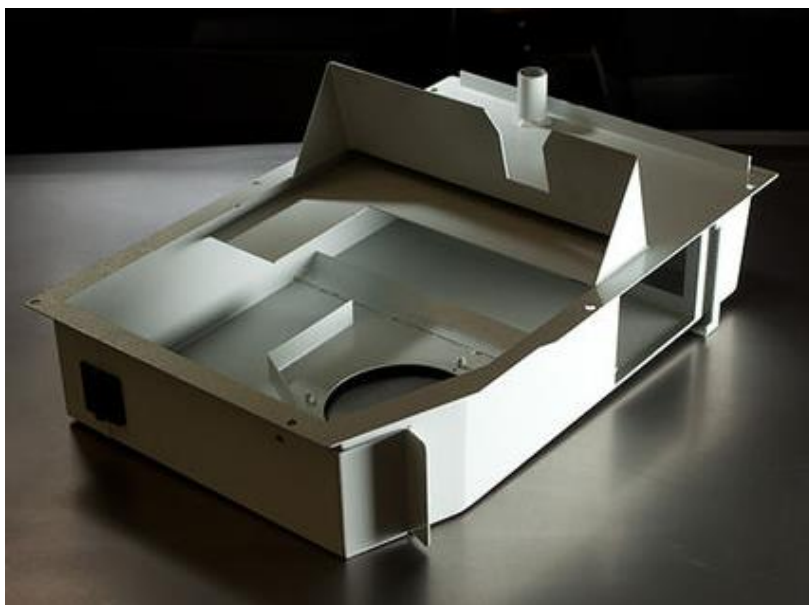
4.2 Ovládání ohraňovacích lisů	27
4.3 Typy ohraňovacích lisů	27
4.3.1 Ruční ohraňovací lis	27
4.3.2 Mechanický ohraňovací lis	27
4.3.3 Hydraulický ohraňovací lis	28
4.3.4 Segmentový ohraňovací lis	29
4.3.5 Tandemový ohraňovací lis	29
4.3.6 Kombinovaný ohraňovací lis	29
4.4 Výrobci ohraňovacích lisů	30
5 PŘÍKLAD VÝROBY PLECHOVÉHO DÍLCE	31
6 ZÁVĚRY	34
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	

ÚVOD

Vyrábění součástí a dílců technologií ohýbání je v současné době velmi používaná technologická operace ve strojírenské výrobě. Jedná se o nejjednodušší způsob pro tváření komponent z plechových polotovarů, které lze následným spojováním (svařováním nebo montáží) použít při tvorbě lehkých a mobilních konstrukcí. Ohýbání je v podstatě výroba trojrozměrných dílců z plošného polotovaru. K výslednému tvaru dochází postupně ve sledu operací ohybu. Ohýbání je také možné použít u tyčových polotovarů, což otevírá další možnosti pro navrhování konstrukcí. Ohýbané součásti mají využití v mnoha odvětvích průmyslu, zejména ve strojírenství při tvorbě rámu a karosérií v automobilovém průmyslu. Dále je lze najít třeba ve stavebnictví při tvorbě konstrukcí mostů, staveb hal, v transportním či leteckém průmyslu, v sanitární technice a jiné.

Tváření je v mnoha případech zpracování materiálu výhodnější než ostatní klasické metody jako např. odlévání nebo obrábění. Tyto by v některých případech ani nešly využít, nebo by jejich použití bylo značně neekonomické. Metody plošného tváření, do kterých se řadí i ohýbání, nabízí díky mechanizaci a v dnešní době hlavně automatizaci výrobních procesů možnost velmi přesného dodržení rozměrových požadavků výroby. U ohýbání je velká výhoda v nulovém odpadu, a tudíž dochází k využití celého polotovaru, který byl připraven metodami dělení materiálu. Ohýbat lze různé materiály, které jsou dostatečně tažné, aby u nich nedošlo k porušení celistvosti. Většinou probíhá ohýbání za studena, ale za určitých okolností je potřeba zahřátí materiálu, především při větších tloušťkách.

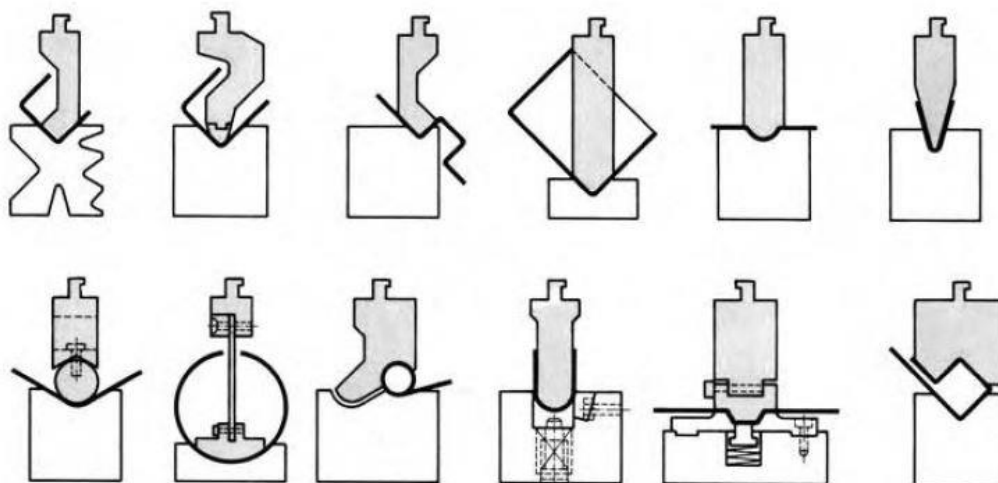
V každé firmě, která využívá a zpracovává plechové polotovary lze najít ohraňovací lisy. Tyto lisy slouží k přesnému ohýbání na velmi malé poloměry, čemuž se říká ohraňování. Je to posun kupředu oproti klasickým ohýbačkám, na kterých by takových poloměrů ohybu nešlo dosáhnout. Ohraňování se především využívá u součástí tzv. krabicového typu. Ohraňovací lisy jsou zařízení, u kterých dochází za působení přitlačné síly nástroje na ose ohybu k protlačení do matrice a tím k ohnutí. Podle hloubky posunu nástroje dojde k ohnutí o určitý úhel. V současné době se však díky modernizaci techniky a nástupu automatického řízení používá především CNC ohraňovacích lisů, kde je vše řízeno počítačem a obsluze stačí po spuštění vytvořeného CAM programu postupovat podle pokynů na displeji. Velká výhoda je v efektivitě, rychlosti práce a snížení strojových časů.



Obr. 1 Příklad ohýbané součásti [15]

1 TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ [10], [11], [12], [22], [23], [24]

Ohraňování jako jedna z metod ohýbání se řadí do technologií plošného tváření, při kterém se upravuje a tváří výchozí polotovár ve formě plechu. Pomocí sekvence dílčích ohybů v libovolných úhlech lze dosáhnout požadovaného výsledného tvaru. Ohraňování lze provádět na ručních lisech nebo na ohraňovacích lisech. Ohraňovací lisy jsou víceméně hydraulické lisy, na kterých lze ohýbat i rozměrnější přístřihy v řádech jednotek metrů. Avšak nástroje jsou jednodušší a lze je použít univerzálněji. Konstrukcí nástroje se dá dosáhnout různých tvarů ohybu (obr. 2). Jinak se jedná se o tzv. ostré ohýbání, kdy poměr poloměru ohybu a tloušťky materiálu je menší jak 6. U ohraňování dochází jako u klasického ohýbání k odpružení materiálu, které se ale eliminuje konstrukcí nástroje nebo pomocí přitlačné síly.



Obr. 2 Různé tvary dosažené ohraňováním [10]

1.1 Princip ohýbání [10], [11], [12], [22], [31]

Ohýbání je technologická operace, při které dochází k trvalé deformaci materiálu bez podstatné změny průřezu polotovaru. Za působení ohybových momentů od vnějších sil nastává překonání meze kluzu materiálu a tím se materiál plasticky deformuje. Avšak nesmí dojít k překročení meze pevnosti, jinak by nastalo porušení soudržnosti materiálu. Plastická deformace je doprovázena i elastickou deformací jako tzv. odpružení materiálu, ke kterému dochází zvláště u velkých poloměrů ohybu. Při ohybu se díky vnějšímu zatížení zmenšuje poloměr zakřivení na požadovanou hodnotu, nebo se zvětšuje a tím dochází k rovnání. Ve většině případů se ohýbání provádí za studena, avšak materiály o vyšší pevnosti a většího průřezu se doporučuje nejdříve předehřát.

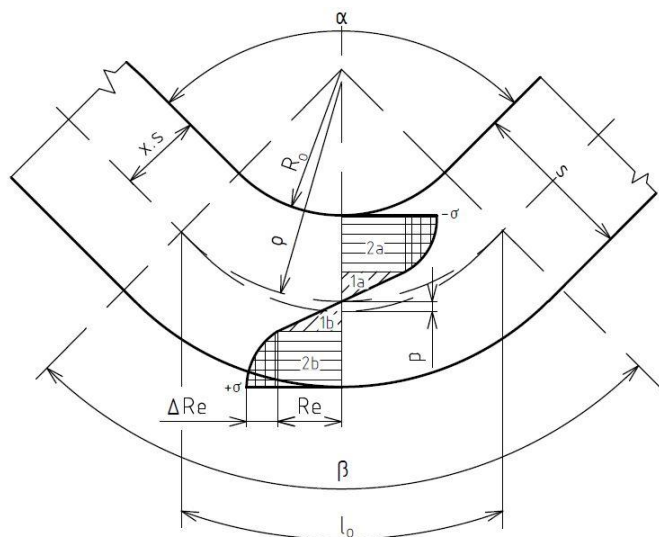
Velikost deformace způsobená ohýbáním je závislá na více parametrech. Jsou to:

- vlastnosti materiálu
- kvalita zpracování materiálu a povrchová úprava
- tloušťka v místě ohybu
- velikost ohybových momentů
- poloměr ohybu

Roli také hraje orientace ohybu vůči směru válcování. Pokud je to možné doporučuje se volit osu ohybu kolmo na směr válcování. Při ohybu rovnoběžném s válcovanými vlákny, by mohlo dojít k porušení celistvosti materiálu na hranicích vláken.

1.1.1 Rozložení napětí a deformace [10], [11], [22], [24], [32], [49]

U ohýbaného materiálu jsou vrstvy zrn na vnitřní straně stlačovány a zkracovány v podélném směru a roztahovány ve směru příčném. Na vnější straně se vrstvy kovu roztahují a prodlužují v podélném směru a v příčném směru stlačují. Průběh napětí lze vidět na obr. 3.



1a, 1b – oblast pružné (elastické) deformace

2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe

p – velikost posunutí neutrální osy od původní osy průřezu [mm]

R_0 – poloměr ohybu [mm]

s – tloušťka materiálu [mm]

l_0 – délka ohnutého úseku na neutrální ose [mm]

ρ – poloměr neutrální osy [mm]

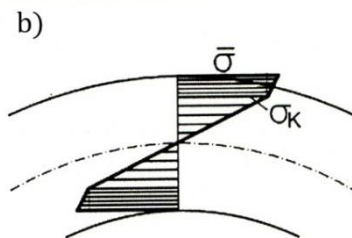
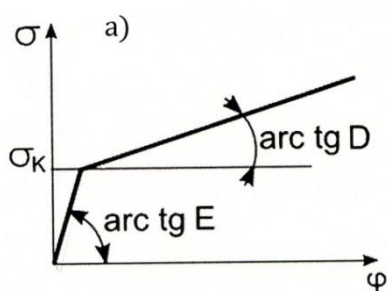
β – úhel ohnutého úseku [°]

α – úhel ohybu [°]

Obr. 3 Schéma ohýbání [11]

Při ohýbání se pro teoretické výpočty užívá pružně-plastického materiálového modelu se zpevněním. Tento model charakterizuje rozložení napětí po průřezu. V místě tzv. neutrální osy jsou napětí nulová a směrem k povrchu polotovaru jejich hodnota postupně narůstá. V oblasti kolem neutrální osy (plochy) se vyskytují napětí, jejichž hodnota nepřekračuje napětí na mezi kluzu, jedná se o tzv. elastickou oblast. Zbývá oblast, kde hodnoty napětí jsou vyšší jak mez kluzu, se pak nazývá oblastí plastickou. Elastická oblast, kde jsou vlákna deformována pouze elasticky, je příčinou tzv. odpružení po ohybu, kdy tato vlákna mají po odtížení tendenci se navrátit do původního, tedy rovinného stavu. Velikost elastické a plastické oblasti se mění dle míry zatěžování polotovaru. Při ohybech na větší poloměry ohybu není deformace tak značná a oblast charakteristická napětím menším jak mez kluzu je poměrně velká. Naopak při ohybech na malé poloměry, tedy při ostrých ohybech, kdy je polotovar značně deformován, se oblast elastických přetvoření zmenšuje a naopak oblast plastických deformací zvětšuje. Tento model odpovídá technologii ohraňování.

Ze schématu ohýbání (obr. 3) lze vidět, že oblast zpevnění má nelineární tvar. Obecné tvary křivek lze těžko popsat, proto se pro teoretické výpočty využívá aproximace na křivky, které se dají popsat jednoduchými rovnicemi. Nejjednodušší je využít lineární aproximace, kdy dochází k nahrazení obecné křivky za přímku (obr. 4).



σ_K – mez kluzu [MPa]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

D – modul zpevnění [MPa]

φ – přetvoření [-]

a) pracovní diagram b) průběh napětí

Obr. 4 Lineární aproximace [32]

Aproximační rovnice pro výpočet napětí je potom ve tvaru:

$$\sigma = E \cdot \varphi + D \cdot \varphi \quad [\text{MPa}] \quad (1.1)$$

Modul zpevnění D se stanoví ze vztahu:

$$D = \frac{2}{1+n} K \cdot n^n \quad [\text{MPa}] \quad (1.2)$$

kde: K – materiálová konstanta (nizkougliková ocel 600 MPa [48]) [MPa]

n – exponent deformačního zpevnění (nizkoughl. ocel 0,21 [48]) [-]

1.1.2 Neutrální vrstva [10], [22], [31]

Mezi natahovanými a stlačovanými vlákny se nachází tzv. neutrální vrstva, kde jsou napětí i deformace nulové a nedochází tak ke změně délky vláken.

Při ohýbání s velkým poloměrem ohybu (kde $R_0/s \geq 12$) je neutrální osa zpravidla totožná s osou těžiště. Polohu tedy lze určit ze vztahu pro poloměr ρ dle vztahu:

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2} \quad [\text{mm}] \quad (1.3)$$

kde: R_0 – poloměr ohybu [mm]

s – tloušťka materiálu [mm]

Se zmenšujícím poloměrem ohybu se neutrální osa posouvá vlivem napětí směrem k vnitřní straně o určitou vzdálenost. Poloha se vypočítá tedy ze vztahu:

$$\rho = R_0 + x \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (1.4)$$

kde: x – součinitel polohy neutrální osy [-]

Součinitel x je proměnný a závislý na poměru poloměru ohybu a tloušťky materiálu viz tab. 1.

Tab. 1 Hodnoty součinitele x [10].

R_0/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	20
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,484	0,486	0,498

Poloha neutrální vrstvy se využívá při výpočtu délky rozvinu. To je důležitý parametr pro určení rozměrů přístřihu, který bude následně ohýbán. Celková délka se vypočítá jako součet délek ramen a délek oblouků neutrální vrstvy (obr. 5). Délka ohnutého oblouku l se určí ze vztahu:

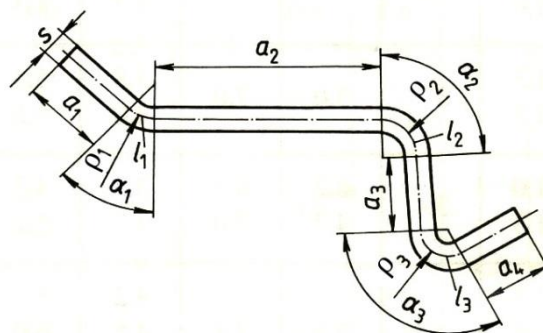
$$l = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \rho \quad [\text{mm}] \quad (1.5)$$

kde: α – úhel ohybu [°]

Celkový rozměr rozvinutého polotovaru L se tedy spočítá jako:

$$L = \sum l + \sum a \quad [\text{mm}] \quad (1.6)$$

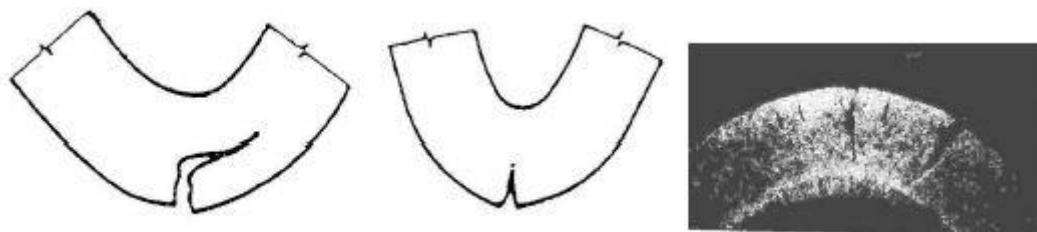
kde: a – délka rovné části [mm]



Obr. 5 Stanovení délky rozvinu [22]

1.1.3 Poloměr ohybu [10], [11], [12], [16], [22], [26], [31]

Hodnoty nejmenšího možného poloměru ohybu při zachování celistvosti materiálu závisí na několika parametrech. Pro nejmenší poloměr ohybu jsou rozhodující mechanické vlastnosti použitého materiálu především jeho tvárnost, která závisí také na způsobu zpracování (například žíháním lze tvárnost zlepšit). Když je vnitřní poloměr ohybu příliš malý dojde na vnější straně namáhané tahem k překročení meze pevnosti v tahu a tím začnou se tvořit trhliny a vzniká tzv. praskání materiálu (obr. 6).



Obr. 6 Praskání materiálu [10]

Dále záleží na orientaci ohybu vůči směru válcovaných vláken. Materiál vykazuje lepší vlastnosti napříč vlákny než podél vláken. U polotovarů připravených stříháním je nutné, aby vzniklé otřepy na hranách byly na vnitřní straně ohybu, tzn. aby byly stlačovány a ne roztahovány.

Napětí v krajních vláknech způsobuje trvalou poměrnou deformaci ε_{tmax} , která se vypočítá podle schématu na obr. 7 jako:

$$\varepsilon_{tmax} = \frac{l_2 - l_0}{l_0} = \frac{s}{2 \cdot R_{min} + s} \quad [-] \quad (1.7)$$

odtud vyjádření minimálního poloměru ohybu R_{min} :

$$R_{min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (1.8)$$

V praxi se ovšem využívá pro minimální poloměr ohybu vztahu s materiálovým součinitelem a většinou se volí ještě o 20 % větší hodnota. Takže:

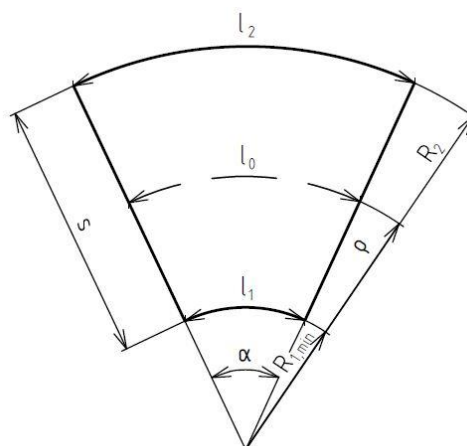
$$R_{min} = s \cdot c \quad [\text{mm}] \quad (1.9)$$

kde: c – materiálový součinitel [-]

Součinitel c se mění s volbou materiálu, ale je závislý také například na způsobu zpracování nebo orientaci ohybu vůči směru vláken viz tab. 2.

Tab. 2 Hodnoty součinitele c [12].

Materiál	měkká ocel	měkká mosaz	měkká měď	hliník	dural	žíhaný dural
Součinitel c	0,5 – 0,6	0,3 – 0,4	0,25	0,35	3 – 6	1,3



Obr. 7 Schéma poloměru ohybu [12]

Naopak při ohýbání na velké poloměry ohybu je nutné, aby došlo v krajních vláknech ohýbaného průřezu k trvalé deformaci. Jinak by došlo pouze k pružné deformaci a polotovár by se zpět narovnal. Využitím Hookova zákona a vztahu (1.7) lze určit poměrnou deformaci na mezi kluzu v tahu ε_{tmin} následovně:

$$\varepsilon_{tmin} = \frac{\sigma_K}{E} = \frac{s}{2 \cdot R_{max} + s} \quad [-] \quad (1.10)$$

kde: σ_K – mez kluzu v tahu (konstrukční ocel 200-400 MPa [16]) [MPa]

E – modul pružnosti (konstrukční ocel 210 GPa [26]) [MPa]

odtud vyjádření maximálního poloměru ohybu R_{max} :

$$R_{max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_K} - 1 \right) \quad [\text{mm}]$$

1.1.4 Odpružení při ohýbání [1], [22]

Jakmile přestane působit na polotovár vnější síla dojde k jevu zvanému odpružení po ohybu. Dochází k němu kvůli pružné oblasti podél neutrální vrstvy materiálu. Jde o jev, při kterém se materiál po odlehčení snaží navrátit zpět ke svému původnímu tvaru o určitý úhel γ (obr. 8), jehož význam roste s délkou ramen.

Velikost odpružení je závislá na volbě materiálu, poloměru ohybu, tloušťce materiálu a na úhlu ohybu α . Odpružení je menší, pokud použitý polotovár o větší tloušťce. Menší poloměry ohybu, také zmenšují odpružení.

Hodnota úhlu γ se určí podle typu ohybu:

- při ohybu do tvaru V:

$$\text{tg } \gamma = 0,375 \frac{l_V}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{\sigma_K}{E} \quad [-] \quad (1.11)$$

- při ohybu do tvaru U:

$$\text{tg } \gamma = 0,75 \frac{l_U}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{\sigma_K}{E} \quad [-] \quad (1.12)$$

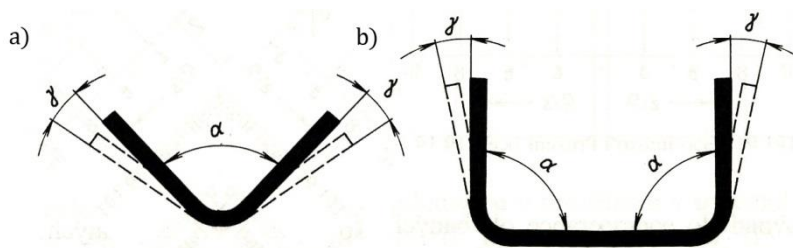
kde: γ – úhel odpružení [°]

l_V – vzdálenost rozevření matrice tvaru V [mm]

l_U – vzdálenost rozevření matrice tvaru U [mm]

V praxi lze odpružení korigovat či eliminovat buď ohnutím o úhel upravený o hodnotu odpružení γ , nebo použít tzv. metodu kalibrace, kdy se na konci zvětší ohýbací síla a dojde k místní plastické deformaci a hodnota odpružení se sníží, popřípadě vymizí.

Při ohýbání na ohraňovacím lise je možné využít snímačů, které monitorují proces ohýbání. Tuto technologii nazvanou Easy Form Laser® vyvinula firma LVG. Jakmile dojde k odlehčení nástroje, snímače na ohraňovacím lise zjistí odchylku od požadovaného úhlu a při opětovném vylišování dojde k ohybu o upravený úhel.



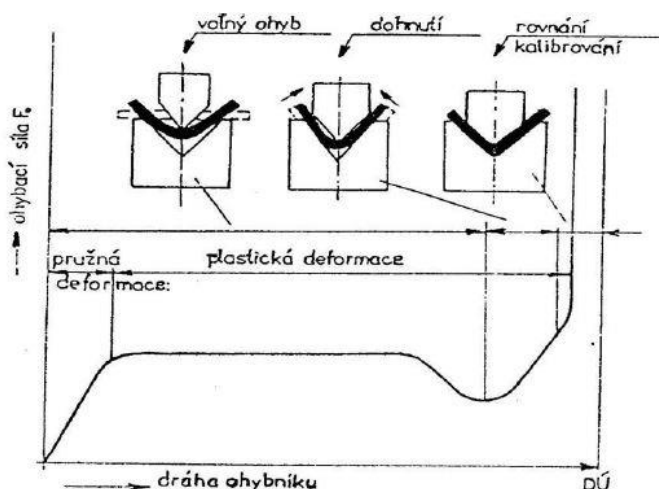
a) ohyb do tvaru V b) do tvaru U

Obr. 8 Způsoby ohýbání [22]

1.1.5 Ohýbací síla a práce [10], [12], [22]

V průmyslové výrobě se při ohýbání na ohraňovacích lisech využívá mnoha různých tvarů nástrojů. S každým souvisí průběh ohýbací síly po dráze nástroje a také její výpočet a výpočet ohýbací práce. Základními používanými tvary jsou U a V (obr. 8).

Na obr. 9 lze vidět, že velikost a průběh síly při procesu ohýbání jsou proměnné. V první fázi se jedná o pružnou deformaci, kterou lze vyjádřit Hookovým zákonem. V této fázi síla potřebná k tomu, aby materiál změnil svůj tvar, prudce roste do doby překonání meze kluzu materiálu. Pak ve druhé fázi už dochází k plastickým změnám tvaru a ohýbací síla zůstává vesměs stejná. V závěrečné třetí fázi dochází ke kalibraci, která se využívá k eliminaci pružení materiálu a k zpřesnění poloměru ohybu. Plocha pod grafem potom představuje ohýbací práci.



Obr. 9 Průběh síly při ohýbání [10]

Při výpočtu se polotovar považuje za nosník se dvěma podporami, které představují kraje matrice, zatížený vnější silou uprostřed. Výpočet ohýbací síly vychází z rovností ohybových momentů vnějších a vnitřních sil.

Ohýbací síla F_o a práce A_o se určí dle typu ohybu:

- při ohybu do tvaru V:

$$F_{oV} = \frac{\sigma_K \cdot b \cdot s^2}{2 \cdot R_0} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.13)$$

kde: b – šířka plechu [mm]

$$A_{oV} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{oV} \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (1.14)$$

kde: h – zdvih nástroje [mm]

- při ohybu do tvaru U:

$$F_{oU} = (1 + 7\mu) \frac{\sigma_K \cdot b \cdot s^2}{R_0 + s} \quad [\text{N}] \quad (1.15)$$

kde: μ – součinitel tření [-]

$$A_{oU} = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{oU} \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (1.16)$$

Pokud je použito ke zpřesnění procesu výroby dokončovací kalibrace, je nutné k ohýbací síle F_o přičíst ještě kalibrační sílu F_k , která se vypočítá dle vztahu:

$$F_k = S \cdot p_k \quad [\text{N}] \quad (1.17)$$

kde: S – plocha kalibrovaného materiálu [mm²]

p_k – měrný tlak pro kalibrování (ocel tř.12 do tl. 10 mm 80-150 MPa [10]) [MPa]

Při reálné aplikaci se ještě ohýbací síla zvětší až o třetinu, takže maximální celková ohýbací síla F_{cmax} bude:

$$F_{cmax} = 1,3 \cdot F_o + F_k \quad [\text{N}] \quad (1.18)$$

1.2 Technologické zásady při konstrukci ohýbané součásti [2], [22], [27], [52]

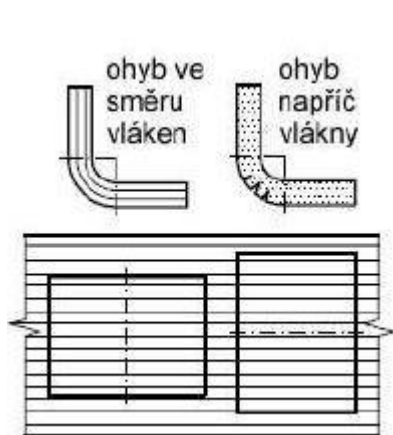
Pro dosažení přesného výrobku je třeba kromě technologického postupu či vlastností materiálu polotovaru brát v úvahu i konstrukční návrh součásti. V zájmu zhotovení bezvadného výrobku se uplatňuje několik zásad:

1. volit co nejmenší poloměr ohybu, snižuje se tak případné pružení
2. používat ohyb s kalibrací
3. osu ohybu volit kolmo ke směru válcovaných vláken (obr. 12), při nedodržení je nutno až dvakrát zvětšit poloměr ohybu
4. polotovar orientovat tak, aby strana s přítomnými ořepky byla namáhána tlakově
5. okraje ohybu upravit tak, aby byly kolmé na osu ohybu (obr. 11)
6. tolerance rozměrů ohýbané součásti nesnižovat pod hranici dosažitelnou běžnými způsoby ohybu
7. vzdálenost osy ohybu od okraje volit dostatečně tak, aby délka (obr. 10) ramene b_r byla:

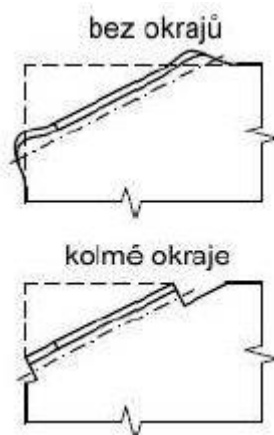
$$b_r \geq 3 \cdot s + R_0 \quad [\text{mm}]; \text{ pro } R_0 < 1 \text{ mm} \quad (1.19)$$

$$b_r \geq 2,5 \cdot s + R_0 \quad [\text{mm}]; \text{ pro } R_0 > 1 \text{ mm} \quad (1.20)$$

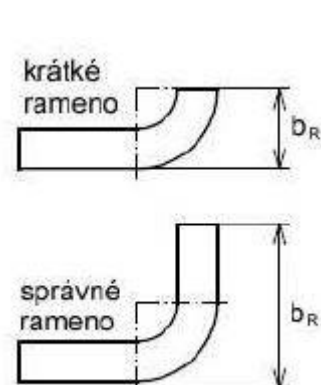
8. vzdálenost díry od osy ohybu volit dostatečně, aby nedošlo k deformaci tvaru díry a aby byla dodržena délka ramene b_r od osy k okraji otvoru
9. u jedné součásti dodržovat pokud možno stejné poloměry ohybu
10. u složitých součástí dodržet co nejmenší počet jednotlivých ohybů a směřovat je jedním směrem
11. nechávat netolerované rozměry všude tam, kde je to možné s ohledem na funkčnost součásti
12. u součástí s velkými poloměry ohybu dochází k malému zpevnění, je proto vhodné v místě ohybu vytvořit prolis
13. v případě tvorby krabicových rohů je nutné vytvořit výřez, aby na sebe kolmé hrany dosedly (obr. 13)
14. v případě ohybu na pomezí s neohýbanou částí utvořit nástřih, aby nedošlo k porušení neohýbané části



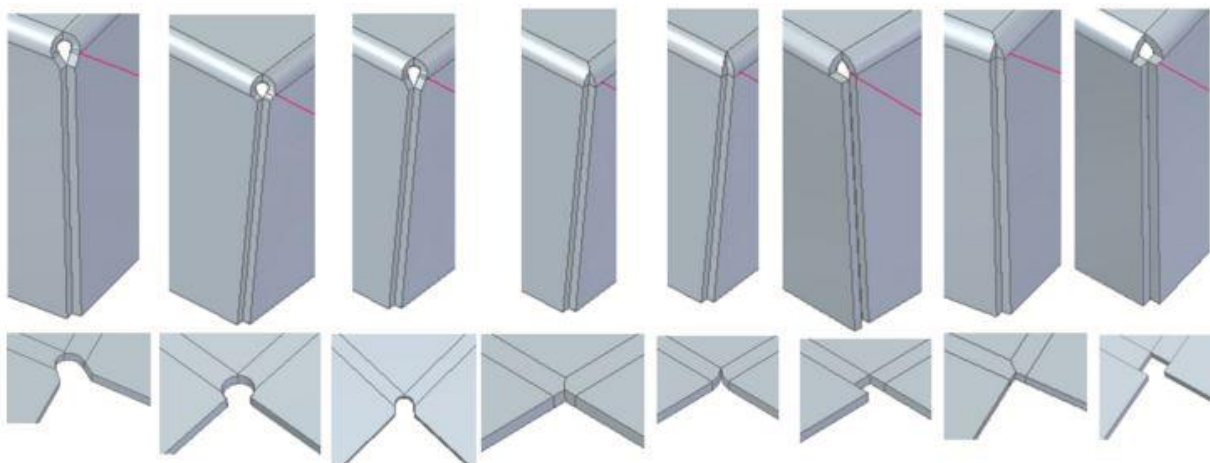
Obr. 12 Vliv směru vláken [2]



Obr. 11 Úprava okrajů ohybu [2]



Obr. 10 Délka ramen [2]



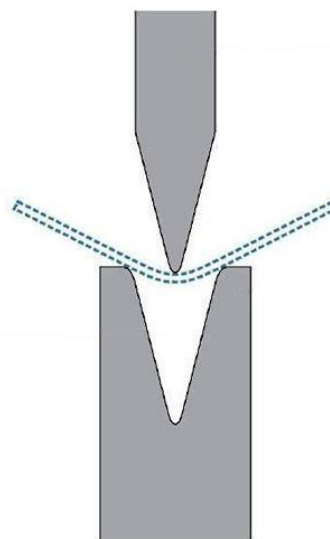
Obr. 13 Různé tvary výřezů [27]

2 METODY OHRAŇOVÁNÍ NA LISE [3], [6], [46]

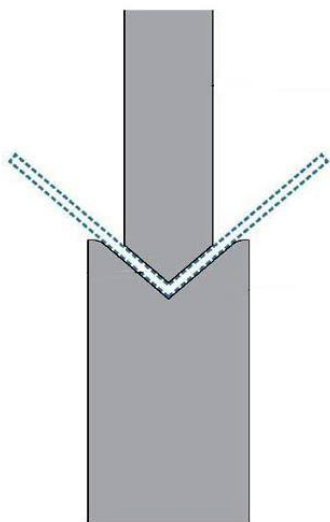
Na ohraňovacích lisech lze za pomoci ohraňovacích nástrojů provádět více metod ohýbacích operací. Mezi základní druhy patří: volné ohýbání, ohýbání s dotlačením, ohyb s přeložením. Tyto procesy a metody jsou založeny na stejném principu. Horní nástroj (razník) protlačí polotovar do dutiny spodního nástroje (matrice) a materiál je deformován tvořením ohybového momentu přes opory. Odlišují se však hloubkou proniknutí razníku do matrice. Každá metoda má své výhody i nevýhody, které plynou z principu jednotlivé metody. Kromě základních metod pro klasické ohýbání do libovolných úhlů, které využívají ohyby do tvaru V, je možné na ohraňovacích lisech provádět různé tvary ohybu (jako např. profilování), které jsou závislé na tvaru nástroje. Specifickými operacemi jsou způsoby úpravy okrajů plechů a vytváření lemů.

2.1 Volné ohýbání [3], [6], [37], [46]

Při volném (dvoubodovém) ohýbání tlačí horní nástroj polotovar do otvoru v matrici, ale ne až na dno matrice (obr. 14). Součást tak během celého procesu ohýbání leží pouze na obou hranách matrice, která bývá nejčastěji V tvaru. Úhel ohybu je daný tím, jak hluboko se razník ponoří do matrice. Volné ohýbání umožňuje ohýbat úhly různých hodnot bez nutnosti výměny nástrojů. Tento způsob ohýbání je podstatně méně finančně náročný a více flexibilní než ostatní používané metody. Volné ohýbání dovoluje používat menší ohýbací síly a šetří tak výkon stroje. Nevýhodou je však vznik nepřesností úhlů ohybu způsobených odpružením. V současné době se tento nedostatek odstraňuje pomocí senzorů na lise, které měří úhel ohybu.



Obr. 14 Volné ohýbání [3]



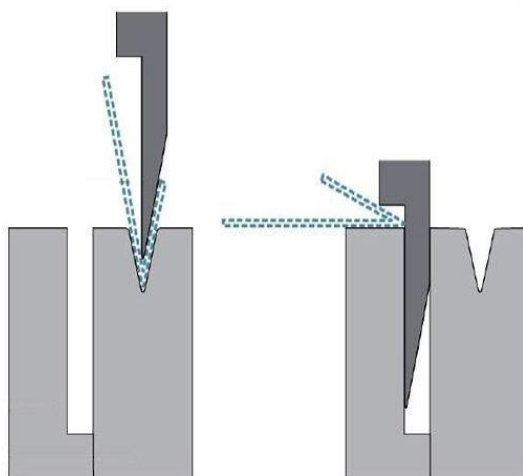
Obr. 15 Ohyb s dotlačením [3]

2.2 Ohyb s dotlačením [3], [6], [46]

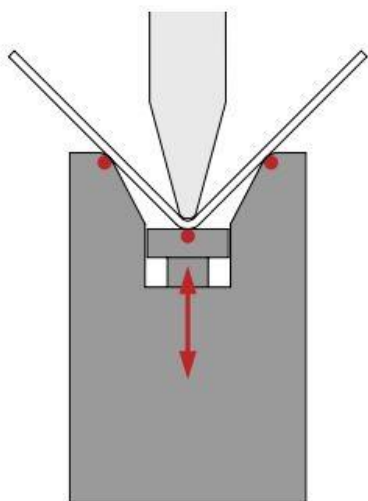
Při ohýbání s dotlačením tlačí razník materiál do matrice tak, že dojde ke kontaktu materiálu s celou vnitřní dutinou matrice (obr. 15). Jakmile dojde ke kontaktu polotovaru s dnem matrice dochází tak ke zvýšení tlaku působícího na materiál a ten tím získává tvar razníku a matrice. Velikost ohýbací síly musí být mnohonásobně větší než při volném ohýbání, čímž dojde ke kalibraci a minimalizaci vlivu odpružení. Tento způsob ohýbání na ohraňovacích lisech není v praxi moc využíván, protože je nutné, aby horní i spodní část nástroje do sebe přesně zapadly. Proto je pro vytvoření konkrétního úhlu a tvaru ohybu nutné použít jen konkrétní ohybový nástroj. Nejčastěji se tato operace používá u tenkých plechů pro vytvoření 90° ohybu, kde jsou vyžadovány malé poloměry ohybu.

2.3 Ohyb s přeložením [3], [46]

Vytvořením přeložení (obr. 16) plechového dílu dojde k vytvoření lemu, kterým lze dosáhnout jak zvýšení jeho tuhosti tak i provedení ochrany hran. Přeložení je na ohraňovacích lisech prováděno ve dvou krocích. V prvním kroku dojde nejdříve k ohnutí materiálu tak, že mezi jednotlivými rameny je úhel 30°. Ve druhém kroku jsou materiál a razník přemístěny na jiné místo, kde je následně provedeno úplné ohnutí, díky kterému dojde ke styku obou ramen ohybu, které jsou vzájemně rovnoběžné. Další způsob využití přeložení je ke spojování více součástí, kdy je mezi rovnoběžnými rameny mezera.



Obr. 16 Tvorba přeložení [3]



Obr. 17 Tříbodové ohýbání [36]

2.4 Tříbodové ohýbání [6], [36], [37]

Firma Bystronic u svých ohraňovacích lisů Hämmerle nabízí ještě metodu tříbodového ohýbání. Tvar výrobku určují 3 přesně definované dosedací body v matrici. Při tříbodovém ohýbání protlačí razník polotovar až na dno matrice, které tak vytvoří kromě obou hran třetí dosedací bod (obr. 17). Hloubku matrice lze ovšem libovolně nastavovat, tudíž lze s vysokou přesností ohýbat různé úhly bez nutnosti výměny nástrojů. Tříbodové ohýbání spojuje přesnost lisování s flexibilitou dvoubodového ohýbání. Dále je u těchto strojů přítomný hydraulický polštář, který podepírá horní nástroj a tím zabezpečuje konstatní tlak po celé délce ohybu a kompenzuje vlivy odpružení.

3 NÁSTROJE PRO OHRAŇOVÁNÍ [8], [12], [21], [23], [24], [28], [34], [39]

Pro ohraňování na ohraňovacích lisech se používá nástrojů, které jsou převážně univerzální a jsou vyměnitelné. Sestava ohýbacího nástroje sestává ze dvou částí a to: horní nástroj (razník) reprezentující ohybník a spodní nástroj (matrice) reprezentující ohybnici. Dále se používají dorazy, pro přesnou manipulaci s polotovarem. Nástroje bývají uchyceny pomocí různých adaptérů či hydraulických upínačů.

Razník se spolu s pohyblivým beranem stroje pohybuje směrem k matici, kde nakonec dojde k protlačení materiálu do dutiny v matici. Typ ohybu, který lze vytvořit je závislý na vnějším tvaru razníku a vnitřním tvaru dutiny matrice. Ohraňovací nástroje od různých výrobců jsou si tvarově podobné, avšak každá firma má svůj způsob upínání nástroje. Nástroje jsou od výrobce děleny ve standartních délkách, nebo je možné je nechat v plné délce. O kvalitě ohybu součásti rozhoduje správná konstrukce nástrojů, kdy je potřeba brát v potaz, jaký polotovar bude ohýbán.

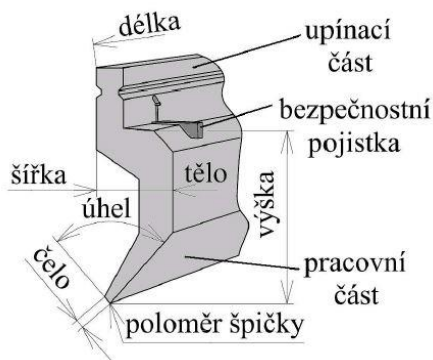
Nástroje musí být dostatečně odolné, proto se vyrábí z nástrojových ocelí, které jsou v pracovních oblastech ještě dále zpracovány, aby dosáhly požadované kvality. Nástroje jsou uskladněny ve speciálních skříních, aby byly chráněny před porušením či znečištěním.

3.1 Razník [8], [12], [13], [24]

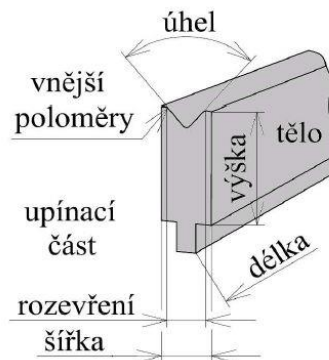
Pro možnosti výroby různých tvarů ohybů se vyrábí razníky velkého množství rozličných tvarů. Je důležité, aby v průběhu ohýbacího procesu nedošlo ke kolizi nástroje s ohýbanou součástí, proto nejpoužívanější tvary těla jsou buď rovné nebo lomené. Razník (obr. 18) se skládá z části pro upnutí, pružné bezpečnostní pojistky, samotného těla a pracovní části. Celý razník má danou svoji délku, výšku, šířku. Dále je hlavním důležitým parametrem poloměr špičky a velikost úhlu pracovní části. Špička bývá tepelně zpracována.

3.2 Matrice [8], [12], [13], [24]

Matrice se vyrábí nejčastěji s vnitřní dutinou do tvaru písmene „V“ nebo „U“. Avšak podle potřeb zákazníka lze vyrobit i speciální tvary. Matrice (obr. 19) bývá upevněna na nosníku, který je většinou položen na stole lisu a spočívá na něm vlastní tíhou. Spodní nástroj je tvořen upínací částí a tělem s tvarovou dutinou. Nejčastěji se používají matrice s jednou dutinou, avšak je možné použít i matrice se čtyřmi dutinami, kdy je na každé straně různá dutina a je možné je měnit otočením. Tvarová dutina je definována velikostí vnitřního úhlu, dvěma vnějšími poloměry a šířkou mezi středy těchto poloměrů. Pracovní část této dutiny bývá tepelně zpracována v oblasti vnějších poloměrů.

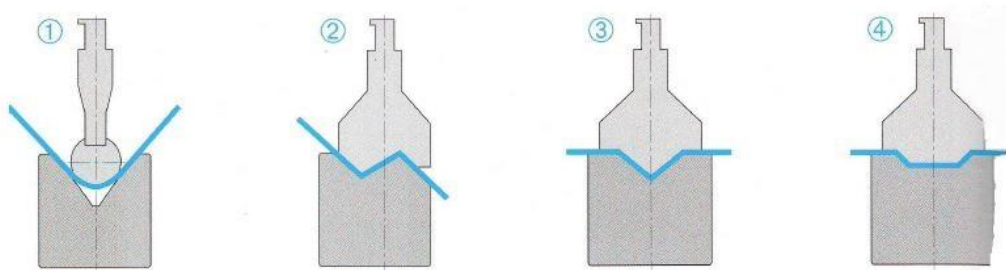


Obr. 18 Razník [13]



Obr. 19 Matrice [13]

V sériové výrobě je možné využívat nástrojů nestandardních tvarů (obr. 20), se kterými je možno provést i více ohybů najednou. Avšak protože je nutné nástroje vyrobit na zakázku, je potřeba si vypočítat výhodnost použití, protože tyto nástroje již nejsou univerzální. Výroba nástrojů není levná záležitost, ale zase dojde ke zkrácení strojních časů.



Obr. 20 Tvarované nástroje [13]

3.3 Upínání nástrojů [8], [23], [42]

Nástroj je potřeba spojit se strojem pevně, aby nedošlo k nechtěným odchylkám při operacích ohybů. Provádí se pomocí upnutí za upínací část. Každá firma vyrábějící ohraňovací nástroje používá různých tvarů upínací částí. V dnešní době je používáno upínání horního i spodního nástroje mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky. Rozdíl je ve složitosti konstrukce na straně jedné, a časové náročnosti na straně druhé.

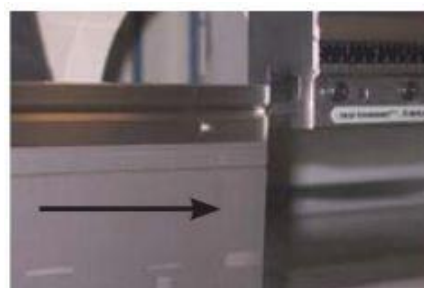
3.3.1 Mechanické upínání [8], [23], [42]

Mechanické upínání je řešeno klasicky založením nástroje do drážky kde se zajistí proti vypadnutí bezpečnostní pojistkou. Následně utažením pomocí šroubů dojde k pevnému spojení se strojem (obr. 22). Pro deaktivaci upnutí je nutné po uvolnění svorných šroubů stisknout pojistku pro uvolnění nástroje z drážky. Nebo se místo pojistek používají tvarované drážky (obr. 21), do kterých celý nástroj zasune ze strany a následně znovu upevní.

Protože je utahování šroubů pracné a časově náročné používají se rychloupínací páky, kdy po zasazení nástroje do upínací lišty pouhým zaklopením páky dojde k upevnění. Mechanické upínání je z hlediska konstrukce jednoduché, ale jeho nevýhoda je v nutnosti výškového seřízení nástroje na krajních koncích. Proto se používá hlavně u velkosériové výroby, kdy se vše seřídí na začátku.



Obr. 22 Mechanické upínání [42]

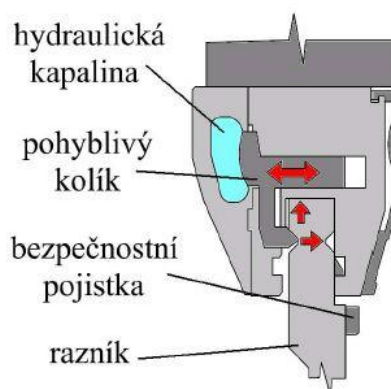


Obr. 21 Tvarovaná drážka upínače [42]

3.3.2 Hydraulické upínání [13], [23], [42]

U hydraulického upínání (obr. 23) je stejně jako u mechanického potřeba nejdříve zasunutí do dutiny držáku. Avšak upevnění nástroje je vyřešeno přes hydraulický tlak kapaliny, která tlačí kolík do drážky nástroje a tak nástroj drží v upínači. Zároveň dojde k automatickému vystředění a také k výškovému nastavení, tudíž není potřeba dalšího nastavování. Hydraulické upínání nachází díky možnosti rychlé manipulace uplatnění při kusové výrobě, kdy je nutné použití více nástrojů a je potřeba rychlé výměny.

Kromě hydraulického způsobu upínání se používá i pneumatický, kdy je místo kapaliny použitý pouze stlačený vzduch. Avšak tyto způsoby upínání nedovolí tak velké síly k udržení velkých těžkých nástrojů a v těchto situacích se používá převážně způsob mechanický.



Obr. 23 Hydraulické upínání [13]

3.4 Výroba nástrojů [44], [47], [57]

Ohraňovací nástroje jsou vyráběny z nástrojových ocelí. Používají se oceli s vysokou pevností, houževnatostí a vzpěrnou stabilitou. Je důležité, aby oblasti, které přichází do kontaktu s ohýbaným materiálem, byly odolné a mohly vydržet maximální počet přesných operací. Přehled nejčastěji používaných materiálů je v tab. 3

Tab. 3 Příklady používaných materiálů [45].

Materiál	Pevnost	Dosažitelná tvrdost po kalení
C45 (12 050)	590-710 MPa	62 HRC
Toolox33 (1.2312)	920-1080 MPa	60 HRC
42CrMo4 (15 142)	770-820 MPa	61 HRC
40CrMnMo7 (19 520)	900-1100 MPa	58 HRC
X155CrVMo12-1 (19 573)	750-800 MPa	63 HRC

Výrobní proces nástrojů se skládá ze čtyř technologických procesů a to: frézování, přesné broušení, tepelné zpracování a popisování.

1. Frézovacími operacemi v obráběcích centrech se získává hrubý tvar nástroje
2. Kalením pracovní plochy se docílí požadované tvrdosti, díky které jsou nástroje málo opotřebovávány. Tvrdost se pohybuje v rozmezí 60 až 62 HRC. Díky lokálnímu přívodu tepla se kalí pouze tam, kde to je zapotřebí. Tím se zvyšuje bezpečnost obsluhy ohýbacího stroje. Používá se laserové kalení, nebo indukční kalení do hloubky 3-4 mm.
3. Konečného tvaru s požadovanou vysokou rozměrovou a geometrickou přesností a také požadovanou kvalitou povrchu nástroje se dosahuje jemnými brousíci operacemi.
4. V posledním kroku se nástroje označují pomocí laserové techniky. Na bočních viditelných stranách se uvádí označení nástroje, informace o velikosti pracovního úhlu, poloměru špičky, rozměrech a hmotnosti nástroje, maximálního dovoleného zatížení nástroje a logo společnosti.

4 OHRAŇOVACÍ STROJE [8], [30], [55]

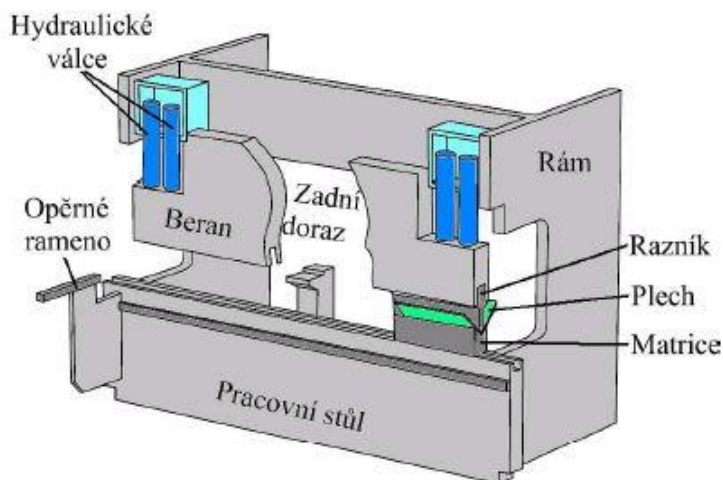
K ohraňování se používají jednoúčelové stroje, tzv. ohraňovací lisy. Jde o stroje, které se používají k ohýbání plechových přístřihů. Je možné zpracovávat jak malé součásti, tak i součásti velkých rozměrů, kde se využije velké šířky pracovní oblasti lisu. Ohraňovací lisy se používají na jednoduché ale i náročnější ohyby, na které klasické ohýbačky nestačí (kratší ohyby, větší tloušťky materiálu, víc ohybů za sebou).

Vyrábějí se v rozličných koncepcích co se týká výkonu a produktivity stroje. Ohraňovací lisy jsou provozně a ekologicky velmi příznivé stroje s širokým portfoliem standardního, ale také volitelného příslušenství s mnohými technickými možnostmi. Cenově jsou relativně příznivé při zohlednění parametrů jako rychlost výrobního procesu, úspora energie, produktivita práce, či náročnost obsluhy stroje. Další nespornou výhodou je velká univerzálnost, poněvadž na jednom stroji lze vyrábět velké množství tvarově různých součástí s relativně velkou rozměrovou přesností. Stačí pouze vyměnit nástroj a i ty mohou být použity univerzálně. Z toho důvodu jsou v praxi velmi využívány.

Proces výroby probíhá v postupném sledu ohybů s automatickou nebo manuální výměnou nástrojů, která je ale velmi jednoduchá a rychlá. K výslednému správnému rozměru ohýbaných ramen slouží zadní dorazy, které upravuje CNC řízení a na displeji je pak názorně vidět, který ohyb ze sledu operací má pokračovat. Stroj se ovládá přes dotykovou obrazovku a na obsluhu nejsou kladeny nijak velké nároky. K ochraně operátora jsou přítomny různé bezpečnostní prvky, takže riziko pracovního úrazu je minimální.

4.1 Stavba ohraňovacího lisu [8], [9], [13], [30], [50], [55]

Ohraňovací lisy jsou rozměrné stroje s velmi masivní a pevnou konstrukcí, aby dokázaly vynaložit velké lisovací síly a přitom nedocházelo k nepřesnostem při ohýbání z důvodu deformací konstrukce lisu. Na obr. 24 je vidět schématické zobrazení jednotlivých částí hydraulického lisu. Toto jsou hlavní části, které se v různých tvarových obměnách vyskytují na každém stroji. Potom je možnost u každé firmy přikoupení různých dalších příslušenství k usnadnění práce a zlepšení efektivity.



Obr. 24 Stavba ohraňovacího lisu [13]

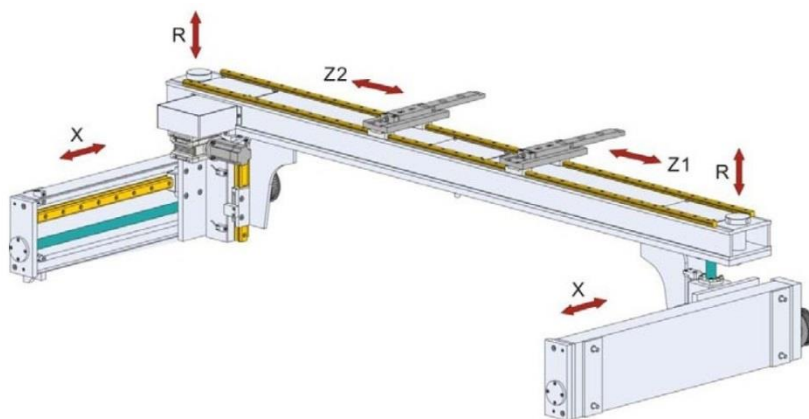
Ohraňovací lis je složen zejména z těchto částí:

- rám stroje – základní nosný prvek celé konstrukce. Celý rám se tvoří z pevných ocelových částí sešroubovaných nebo svařených k sobě tak, aby zajišťoval velkou pevnost a stabilitu. Nejčastěji se konstruují rámy ve tvarech písmen „O“ nebo „C“, kde rám ve tvaru písmene „O“ zajišťuje lepší kompaktnost než ve tvaru „C“.
- beran – je prvek, který vykonává v kluzných vedeních svislý pohyb zajištěný pohonným systémem stroje. Je také nutná jeho pevnost, aby nedocházelo k deformacím, které se ale mohou vyskytnout a potom se používají různé bombírovací systémy, které zajistí přesné ohyby i přes deformaci beranu.
- pohonný systém – zajišťuje pohyb beranu. Používají se mechanické systémy, kde energii zajišťuje elektromotor, nebo hydraulické, které pohání hydraulická jednotka skrze tlak ve dvou hydraulických válcích.

- pracovní stůl – je umístěn ve spodní části stroje a slouží k umístění matrice. Mohou k němu být přidělena přední opěrná ramena.
- zadní doraz – je jednou z nejdůležitějších konstrukčních skupin ohraňovacího lisu. Stará se o správné polohování obrobku v ohýbacím stroji a zajišťuje tak přesnou délku ramen výlisku. Polotovar se přitlačí na palec, který je namontován na dorazu a je tak zajištěna správná poloha vůči nástroji. Dorazy jsou ve svých osách (obr. 35) řízeny pomocí CNC systému. Podle vytvořeného programu se pohybují do přesných poloh. Standardně bývají zadní dorazy dva. V nejmodernějších strojích se mohou pohybovat každý zvlášť a všechny osy jsou řízené systémem (šestiosý zadní doraz). Pro speciální aplikace současného ohýbání více součástí může být ohraňovací lis vybaven i více zadními dorazy.

Osy pohybu zadního dorazu jsou:

- osa X, podél které se posouvá stůl dopředu nebo dozadu
- osa Z, podél které se pohybuje zadní doraz doleva nebo doprava
- osa R, podél které se pohybuje zadní doraz nahoru a dolů

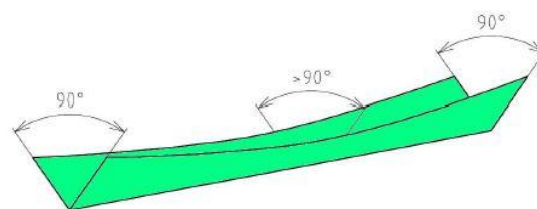


Obr. 25 Osy zadního dorazu [9]

- ovládací panel – nezbytnou částí stroje je ovládací panel, přes který se řídí výrobní proces. Je tvořen klávesnicí a displejem, popřípadě v moderních strojích je dotyková obrazovka. Stroje mohou pracovat v různých režimech automatizace, ale vše se řídí pomocí ovládacího panelu.

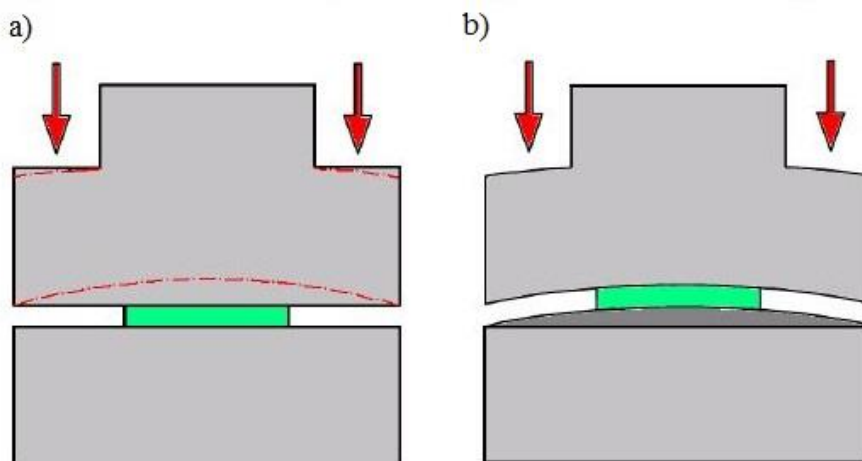
4.1.1 Bombírování [4], [13], [19], [23]

Při ohraňování dlouhých součástí dochází vlivem odporu materiálu vůči hornímu nástroji k pružné deformaci střední části beranu s razníkem. Tento jev označovaný jako bombírování se vyskytuje u hydraulických lisů z důvodu toho, že hydraulické válce působí pouze na stranách a odpor materiálu mezi nimi vyvolá reakci proti razníku. Výsledkem je situace, kdy na krajích součásti dojde k ohnutí do požadovaného úhlu, ale ve středu se součást zcela nedohne a úhel je tak vyšší (obr. 26). Eliminovat bombírování lze několika způsoby, kterými je snaha vyrovnat zakřivení beranu úpravou tvaru spodního nástroje (obr. 27). Možnosti jsou například:



Obr. 26 Vliv bombírování na součást [13]

- podložení matrice ve střední části papírky či foliemi
- drážkami na krajích pracovního stolu
- automatickými systémy prohnutí střední části pracovního stolu vzhůru

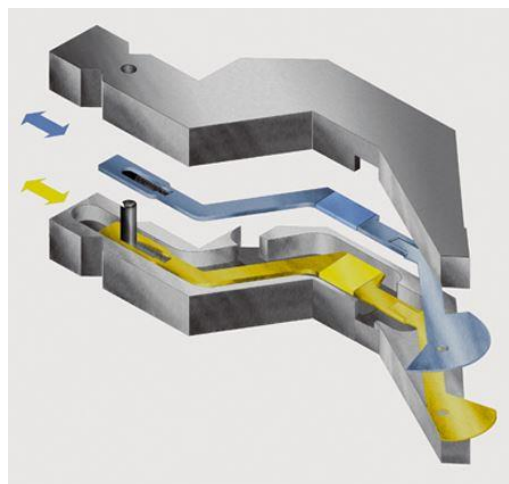


a) deformace beranu b) bombírovací systém
Obr. 27 Bombírování [13]

4.1.2 Ohýbací příslušenství [20], [35]

Z důvodů požadavků co největší efektivity práce firmy přichází s různými vychytávkami, jak co nejvíce zjednodušit a zefektivnit výrobní procesy, co nejvíce prodloužit životnost nástrojů, udělat ohýbací operace co nejpresnější za nejkratší čas.

Firma Trumpf nabízí u svých nástrojů technologii měření úhlu ohybu ACB® (Automatically Controlled Bending - automaticky řízené ohýbání). Během ohýbání měří dvě dotykové destičky integrované do horního nástroje (obr. 28) skutečný úhel a zpětné pružení ohýbaného dílu a podle zjištěných hodnot poté provede druhé dolisování se zregulováním beranu na požadovanou úhlovou míru. Pomocí této technologie je možné docílit přesného výlisku už při výrobě prvního kusu, což je důležité zejména u kusové výroby, nebo při výrobě rozměrných součástí, se kterými je složitá manipulace.

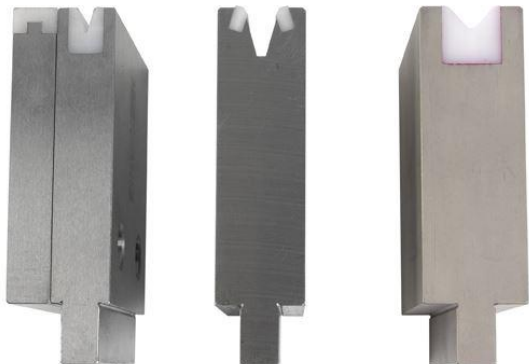


Obr. 28 ACB systém odměřování [20]

Dále firma Trumpf nabízí řešení pro eliminaci otlačení mezi nástrojem a polotovarem. Slouží k tomu jednoduchá fólie, kterou se zakryje matrice a při ohýbání zamezuje přímému kontaktu matrice se součástí. V případě sériové výroby je možné zhotovit speciální plastové výložky matrice (obr. 29).

Také je možné použít natáčivé opěry, které se jednoduše našroubují na zadní dorazy. Pomocí opěr QuickStop (obr. 30) lze vytvářet definované dorazové polohy také pro takové situace, které se zdají být neřešitelné i s běžnými zadními dorazovými systémy a tím vedou k podstatné redukci produktivity.

Je možné se setkat i s bočními či předními dorazy, aby byly co nejmenší nároky na obsluhu. Boční dorazy nabízí firma Roller. Jde to úhlově nastavitelná ramena, která jsou se svým držákem připevněna k matrici. Použití je ideální pro dlouhé a úzké plechové díly.



Obr. 30 Plastové výložky matrice [35]



Obr. 29 Opěry zadního dorazu [35]

Pro výrobu komplexních dílů je často zapotřebí mnoho různých nástrojových stanic a někdy nelze ani na nejdelší lis namontovat dostatek stanic. Aby se nemuselo používat dalšího stroje, nebo ručně vyměňovat nástroj přišla firma Trumpf se systémem otáčivého nástroje. Je umístěn za beranem a vyměňuje nástroje, bez nutnosti zásahu do procesu.

Dále je možné připevnit k pracovnímu stolu přední podpěrné doprovazeče, které pomáhají při manipulaci s výliskem při ohýbání. Používají se hydraulická podpěrná ramena, která jsou plně synchronizována s pohybem beranu a zvedají polotovary. Většinou bývají řízena CNC systémem s tím, že je možné i řídit jejich posun v osách. U menších lisů se přední ramena používají pouze k odkládání výlisků před dalším ohybem. U součástí velkých rozměrů jsou podpěrná ramena nutná, aby nedocházelo k prohnutí polotovaru nebo ke zničení nástroje vlivem boční síly.

4.1.3 Bezpečnostní prvky [18], [38], [55]

Zdaleka nejdůležitější součástí strojů z hlediska ochrany obsluhy jsou bezpečnostní prvky. Pro obsluhu platí všeobecně známá pravidla bezpečnosti práce a je důležité, aby byli dostatečně proškoleni o užívání stroje a pravidlech chování při práci. U plně automatických linek, kde není potřeba lidské obsluhy, je dána bezpečnost přítomností krytování celé ohýbací buňky. U manuálních lisů, které potřebují operátora jsou přítomny prvky, které zabraňují riziku ublížení na zdraví.

Hlavní bezpečnostní prvek je krytování z boků stroje, kde se pohybují zadní dorazy. Kryty obsahují bezpečnostní spínače, takže pokud je kryt otevřen, nelze stroj spustit. Dále je přítomen nožní pedál, který spouští pohyb beranu a při uvolnění nebo jeho plném sešlápnutí beran odjede nahoru. Tento způsob ale prodlužuje výrobní časy. Proto se v současnosti používají laserové paprsky, které se pohybují kolem pracovní oblasti nástroje. Jakmile dojde k přerušení paprsku pohyb se okamžitě zastaví. Po odstranění překážky se stisknutím příslušného tlačítka znovu aktivuje chod beranu. Jedním z takových systémů je BenGuard od firmy Trumpf.

V oblasti bezpečnosti firma Trumpf uvádí na 24 bezpečnostních pravidel, mezi které také patří správné upínání nástroje a manipulace s výrobkem.

4.2 Ovládání ohraňovacích lisů [8], [55]

Ohraňovací lisy jsou v dnešní době řízeny počítačově řízenými systémy. Systém na základě zadaných hodnot (informace o materiálu, nástroji atd.) sám dopočítá postup výroby, pohyb dorazů, ohýbací sílu. Stroj je potom možné ovládat ve třech pracovních režimech:

- ruční režim – umožňuje obsluze ovládat a programovat stroj přímo pomocí ovládacího panelu. Používá se v situacích, kdy obsluha potřebuje ovládat stroj mimo program, třeba zkušební ohyby. V malokusových sériích je možné také vytvořit program skrz ovládací panel.
- poloautomatický režim – se využívá zvláště na začátku nových sérií, kdy je možné regulovat určitá nastavení před samotným provedením kroku.
- automatický režim – systém automaticky pokračuje podle programu.

Programování ohraňovacích lisů je možné použitím ovládacího panelu nebo pomocí softwaru na PC, což je výhodné u velkých sérií. Je založeno na postupném zadávání příkazů pro nástroj pomocí specifických kódů. V moderních systémech je možné součást vymodelovat a nechat si simulovat vytvořený program, aby se předešlo potenciálním kolizím nástroje s součásti.

Současným trendem je plně automatizovat výrobní proces i za použití robotických manipulátorů. Náklady na pořízení jsou sice vysoké, ale poté není nutné lidské obsluhy. Použití je výhodné u vysoko rozměrných plechů.

4.3 Typy ohraňovacích lisů [8], [55]

Ohraňovací lisy se konstruují s různými druhy pohonu. Je možné se setkat s ručními lisy, lisy s mechanickým nebo hydraulickým pohonem. Každý způsob má své výhody i nevýhody, ale v současnosti je používán především hydraulický pohon. Dále je možné lisy rozdělit podle způsobu konstrukce na: segmentové, tandemové a kombinované.

4.3.1 Ruční ohraňovací lis [8], [30], [41], [53], [55]

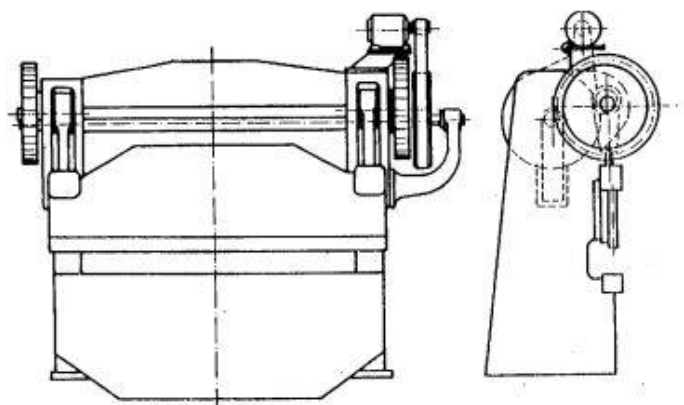
Ruční ohraňovací lis (obr. 31) je jednoduchý druh stroje, který se používá hlavně v dílnách pro zámečnické či klempířské práce. Jeho použití je univerzální a může sloužit nejen k ohraňování, ale třeba i k lemování či stříhání. Tyto zařízení mohou být vybavena dorazy pro opakovanou výrobu. Avšak omezení je v rozměrech lisu, takže slouží k tváření pouze součástí malých délek a s tloušťkou materiálu do 3 mm. Upevňuje se obvykle do svěráku a skládá se z rámu s beranem. Pohon beranu je zajištěn převodem lidské síly přes vačku nebo hřebenovou tyč. Použití pouze lidské síly obsluhy je výhodné v ekonomické stránce provozu, protože není potřeba dodávání elektrické energie. Ale znamená to omezení maximální ohýbací síly.



Obr. 31 Ruční ohraňovací lis
YORK THB250 [53]

4.3.2 Mechanický ohraňovací lis [8], [30], [55]

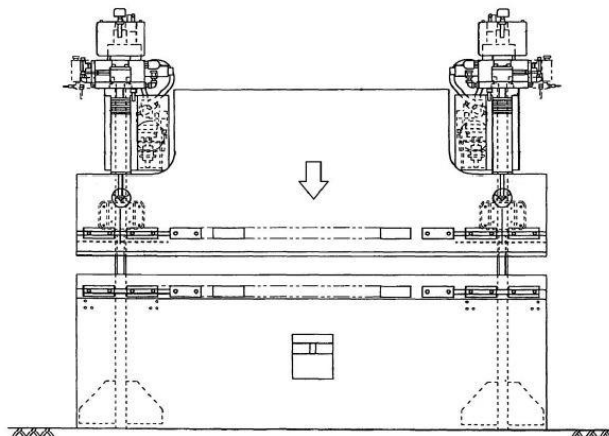
Mechanický ohraňovací lis (obr. 32) je z konstrukčního hlediska podstatně masivnější jak ruční ohraňovací lis a používá se jako jednoúčelový stroj pro sériovou výrobu. Pohyb mechanického lisu je založen na principu klikového, vačkového nebo kolenového mechanismu. Zajišťování pohonu je realizováno pomocí elektrických servomotorů. Avšak v současné době nejsou tyto způsoby pohonu moc používány, a proto je najdeme pouze na starších strojích. Tyto stroje jsou jednoduché konstrukcí a údržbou. Jejich výhodou je v rychlé výměně pracovních nástrojů a jednoduché obsluze. Tvářecí síla se u moderních mechanických ohraňovacích lisů pohybuje kolem 3000 kN. Hlavní omezení se týká ohýbací síly, která nesmí překročit svou jmenovitou hodnotu, jinak by došlo k poruše stroje. Proto čím větší délka plechu, tím musí být tloušťka materiálu menší. Pro kontrolu překročení zatížení se používají pojistky.



Obr. 32 Schéma mechanického ohraňovacího lisu [30]

4.3.3 Hydraulický ohraňovací lis [8], [30], [41], [55]

Hydraulický ohraňovací lis (obr. 33) dosahuje nejvyšší jmenovité síly. Všechny nejmodernější stroje jsou založeny na hydraulickém principu pohonu. Pohon beranu je zajištěn dvěma hydraulickými válci. Hydraulické lisy dovolují snadno regulovat a řídit velikost přitlačné síly. Jejich konstrukce je docela složitá kvůli použití hydraulického pohonu, kde je potřeba pro fungování hydraulická kapalina, u které je důležité správné chlazení. Z tohoto důvodu jsou hydraulické lisy náročné na opravy a údržbu. Pro porovnání s mechanickými lisy jsou při stejné jmenovité síle dražší. Tyto lisy dosahují velkých posuvových rychlostí.



Obr. 33 Schéma hydraulického ohraňovacího lisu [41]

4.3.4 Segmentový ohraňovací lis [33], [55]

Segmentové ohraňovací lisy (obr. 34) nachází uplatnění v hromadné sériové výrobě. Jsou specifické tím, že je možné upnutout více nástrojů na pracovní délku stroje. Díky tomu lze potom provádět více operací na jednom stroji a značně se zvýší produktivita práce. Segmentové lisy se používají především pro menší výlisky. Mohou mít mechanický i hydraulický pohon.



Obr. 34 Segmentový ohraňovací lis Cone 1600 [33]

4.3.5 Tandemový ohraňovací lis [51], [55]

Tandemové ohraňovací lisy (obr. 35) se vyznačují možností zaspojení více lisů do řady k sobě. Modulová konstrukce je sice složitější, ale umožňuje výrobu velmi dlouhých součástí. Konstrukce musí být dostatečně pevná, aby lisy vydržely nápor při ohýbání a nedocházelo k jejich deformaci. Při výrobě malých součástí lisy pracují samostatně a pouze pro výrobu delších součástí se spojí, takže potom je možné ohraňovat součásti délek až 18 m.



Obr. 35 Tandemové spojení lisů Onejin [51]

4.3.6 Kombinovaný ohraňovací lis [55]

Kombinovaný ohraňovací lis už není jednoúčelový stroj. Jde o možnost provádění více technologických operací na jednom stroji. Nejčastěji je využíváno kombinace stříhání a lemování. Díky tomuto využití více operací lze výrobu urychlit o vedlejší časy, využívané k manipulaci mezi jednotlivými stroji. Další urychlení práce je možno dosáhnout například automatickou výměnu nástrojů a hydraulickým upínáním.

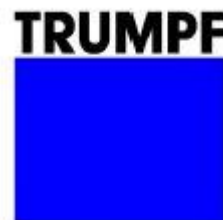
4.4 Výrobci ohraňovacích lisů [5], [17], [34], [40], [43], [47]

Na trhu s tvářecími stroji lze nalézt plno firem po celém světě. Povětšinou to jsou firmy, které byly založeny a mají sídlo ve vyspělých zemích Evropy, avšak lze nalézt i firmy exotičtějšího původu (např. Turecko, Asie, Jižní Afrika). V nabídce těchto firem je většinou více produktů, ať už strojů, či jejich příslušenství nebo se zabývají i vyráběním nástrojů.

Vybraní nejznámější výrobci jsou:

- TRUMPF (obr. 36) – rok založení 1923, sídlo v Ditzingenu (Německo)

- ⇒ tvářecí stroje (laserová řezací zařízení, vysekávací stroje, ohýbací stroje), lasery a laserová zařízení, ruční nářadí pro mobilní zpracování plechů, elektronika pro lékařské zařízení
- ⇒ zabývá se i vývojem inovačních technologií
- ⇒ ohraňovací lisy TruBend – zaměřené na vysoké rychlosti a nízkou spotřebu energie



Obr. 36 Logo firmy TRUMPF [34]

- DURMA (obr. 37) – rok založení 1956, sídlo v Burse (Turecko)

- ⇒ laserová a plazmová řezací zařízení, vysekávačky, zakružovačky, ohýbačky, strojní pily a nůžky na kov
- ⇒ ohraňovací lisy ADS-L (těžkotonážní uplatnění)



Obr. 37 Logo firmy DURMA [43]

- SAFAN DARLEY (obr.38) – rok založení 1932, sídlo v Lochem (Nizozemí)

- ⇒ ohraňovací lisy (elektrické, hydraulické, robotické), tabulové nůžky, laserové řezací zařízení
- ⇒ elektrické lisy E-Brake – pohon servomotorem, ekologický provoz (žádný hydraulický olej, nižší spotřeba energie)



Obr. 38 Logo firmy SAFAN DARLEY [47]

- BYSTRONIC (obr.39) – rok založení 1964, sídlo v Niederönz (Švýcarsko)

- ⇒ systémy pro řezání laserem a vodním paprskem, ohraňovací lisy, automatizační prvky, podpůrný software
- ⇒ ohraňovací lisy Hämmerle s metodou tříbodového ohýbání a hydraulickým polštářem v horním nástroji



Obr. 39 Logo firmy BYSTRONIC [5]

- GASPARINI (obr. 40) – rok založení 1973, sídlo v Istranae (Itálie)

- ⇒ tabulové nůžky, ohraňovací lisy, příslušenství ke strojům (kontrola odpružení, přední podpěry, modifikovatelná matrice)
- ⇒ ohraňovací lisy X-Press – ekologický provoz (nižší spotřeba energie, nižší hluk), vysoké rychlosti



Obr. 40 Logo firmy Gasparini [17]

5 PŘÍKLAD VÝROBY PLECHOVÉHO DÍLCE [44], [55]

Pro názorné představení praktického postupu výroby plechových dílců bylo zaznamenáno vyrábění součásti ve firmě D-Klima s.r.o. Firma se zabývá výrobou vzduchotechnických komponent jak kruhových (trubkových) tak i plochých. Využívá k tomu technologií jako vysekávání, ohraňování, zakružování, odporové svařování a další.

Pro představu je ukázána výroba pláště, který se následně spojí s dalšími částmi a spolu vytvoří krabici.

Použitý stroj: AMADA HFE 100-3 (obr. 41)

- hydraulický ohraňovací lis s pohybem horního beranu
- lisovací síla: 100 tun
- ohraňovací délka: 3 metry
- 4 osy (X-Y-Z1-Z2-R) řízeno CNC
- posuvová rychlost: 100 m/s
- pracovní rychlost: 0-10 m/s



Obr. 41 Použitý stroj AMADA

Použité nástroje a upínání (obr. 44):

horní nástroj AMADA č.106 (obr. 42)

- nástroj složený z různých délek na požadovanou délku nejdelšího ohybu
- poloměr zaoblení špičky: 0,2 mm
- úhel čela: 90°
- šířka čela: 6 mm
- tvrdost: 46-49 HRC,
- mechanické rychloupínání zasunutím do bezpečnostní drážky upínačů a otočením páčky

spodní nástroj AMADA č.320 (obr. 43)

- úhel rozevření: 90°
- šířka rozevření: 6 mm
- tvrdost: AMANIT povlakování 60-65 HRC
- mechanické upínání šrouby



Obr. 42 Použitý horní nástroj



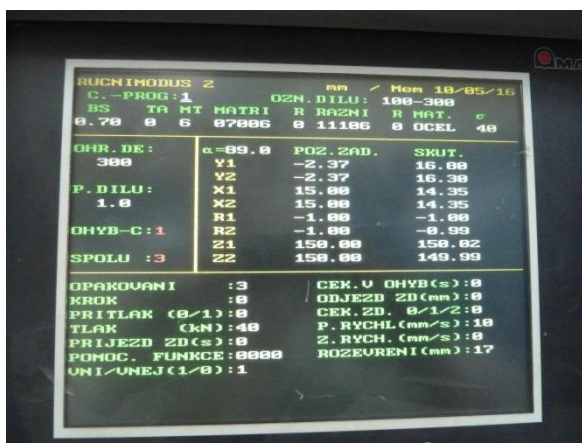
Obr. 43 Použitý spodní nástroj



Obr. 44 Sestavení nástrojů

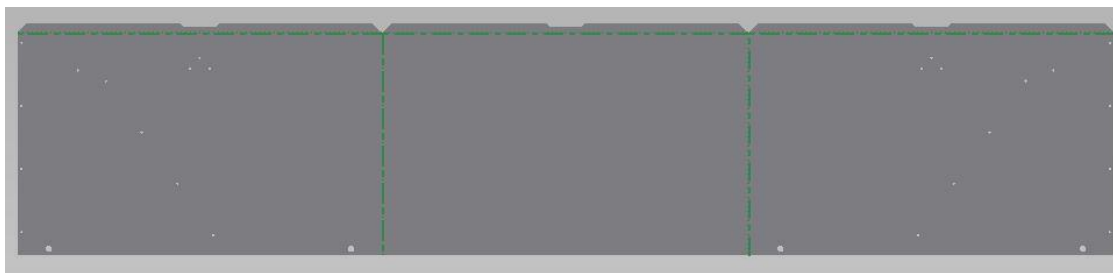
Postup výroby dílce tvářeného ohraňováním je následující:

1. Nejdříve je namodelován požadovaný výsledný tvar v 3D konstrukčním CAD softwaru (obr. 49) a utvořen výkres s informacemi o celkových rozměrech a ohybech
2. Následně je využito modelu rozvinutého tvaru (obr. 46), dle kterého jsou připraveny na dělicím stroji přístřihy (obr. 47), které se následně budou ohýbat.
3. Samotné ohýbání začíná nastavením programu na ovládacím panelu stroje (zde proběhlo ruční zadání hodnot podle obr.45).



Obr. 45 Obrazovka ovládacího panelu

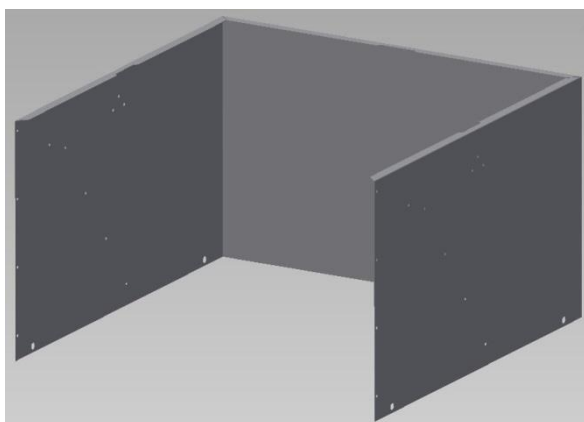
4. Poté už jen obsluha přiloží polotovary k dorazům a za pomoci stlačování nožního pedálu probíhá ohraňování na výsledný tvar (obr. 48)



Obr. 46 Model rozvinu



Obr. 47 Přístřih



Obr. 49 Model součásti



Obr. 48 Výsledná součást

6 ZÁVĚRY

V mé bakalářské práci jsem se snažil shrnout všechny informace, co se týká ohraňovacích lisů a výroby součástí ohraňováním. Snažil jsem se získávat co nejnovější informace, protože toto téma je velice aktuální. Ohraňování nabízí nespočet výhod a výroba výlisků je dost produktivní, takže firmám přináší zisky. Největší výhodou výroby součástí ohraňováním je nulová přítomnost odpadu, takže dochází k efektivnímu využití připravených přístřihů. Dále je výhoda oproti jiným technologiím v rychlém vytvoření trojrozměrné součásti z plošného polotovaru.

Ohraňováním se označuje ostré ohýbání na ohraňovacích lisech. S ohýbáním souvisí některé parametry jako úhel ohybu, poloměr ohybu nebo ohýbací síla, které lze na ohraňovacích lisech celkem jednoduše řídit a omezení jsou tedy jen ve vlastnostech použitého materiálu. Ohraňovací lisy jsou sice pouze jednoúčelové stroje, ale díky možnosti použití libovolných tvarů nástrojů jsou možnosti neomezené. Používá se horních a spodních nástrojů, které jsou upevněny na stroji a díky pohybu pohyblivé části lisu dochází k protlačování materiálu do dutiny spodního nástroje k ohýbání. Nejčastěji používaná metoda ve volný ohyb, kde úhel ohybu závisí na hloubce protažení polotovaru horním nástrojem do dutiny spodního. Pokud je potřeba přesného ohybu používá se ohyb s dotlačením, kde horní nástroj dotlačí polotovaz až na doraz stěn spodního nástroje. Na ohraňovacích lisech je také možné provádět úpravu krajových hran tvořením lemu, nebo lem použít ke spojení s další součástí. Ohraňovací lisy se rozlišují podle způsobu svého pohonu na mechanické a hydraulické. Častěji jsou využívány hydraulické pohony, díky možnosti použití vyšších lisovacích sil. Mechanické lisy jsou poháněny elektromotory a používány jsou kvůli hospodárnějším nárokům na provoz. Nejlepší je tedy kombinace obou, kterou se výrobci lisů snaží dostat na trh. Výrobci tvářecích lisů obecně je nespočet po celém světě, avšak ty nejznámější a nejrozšířenější jsou TRUMPF a SAFAN DARLEY.

Proces výroby součástí začíná konstruktérským návrhem, kde je potřeba dodržet určité technologické zásady, aby nedošlo v nejhorším případě k poruše celistvosti, nebo minimálně k ovlivnění geometrických a rozměrových přesností. Poté je potřeba připravit z plechových tabulí přístřihy, které mají obrysy rozvinutého tvaru vyráběné součásti, pomocí metod dělení materiálu. Pak už obsluha jen zadá program postupu ohybů, kde je potřeba nastavit pozice dorazů a úhly ohybu, a potom jen přikládá přístřihy do lisu a provádí ohýbací operace na požadovaný výsledný tvar součásti. Ve velkosériové výrobě složitějších součástí mají tvorbu programů na starost technologové-programátoři, kteří programy připravují na počítači a obsluha lisu potom takový program pouze spustí. Všechny moderní ohraňovací lisy jsou řízeny CNC systémy. Podle současných trendů automatizace a robotizace je možné vytvořit samostatnou automatickou buňku, která nepotřebuje lidskou obsluhu a vše probíhá za pomoci robotů.

Nakonec jsem navštívil místní firmu, abych si mohl ověřit teoretické znalosti a mohl zmapovat praktický postup využití ohraňovacího lisu.

Do budoucna očekávám ještě větší rozšíření technologie ohraňování do výrobních podniků kvůli výše jmenovaným výhodám, také kvůli výhodám tvoření dílců z plechových polotovarů. Pak se dá také očekávat modernizování konstrukcí lisů s lepšími parametry a snižováním energetických a ekologických náročností. Firmy zabývající se výrobou ohraňovacích lisů se také budou snažit vyvíjet různé příslušenství k nástrojům či samotným strojům, tak aby ulehčili obsluhu stroje a napomohli k lepší produktivitě. Ve velkých podnicích je možné větší zastoupení robotizace namísto lidské obsluhy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [7]

1. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tvaření_ohýbání.pdf
2. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s. ISBN 04-234-71.
3. Bending – processes and methods. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.us.trumpf.com/en/products/machine-tools/solutions/knowledge-for-perfect-production/bending/processes.html>
4. BUTCHART, Bob. How to prevent press brake ram upset: Bend within limits to avoid trouble. In: *The Fabricator - Metal fabricating news* [online]. 2006 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/bending/how-to-prevent-press-brake-ram-upset>
5. *Bystronic Czech Republic s.r.o* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.bystronic.cz/cs/>
6. Bystronic Tools: Our Tools 3P. *Bystronic* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://bystronic.picturepark.com/Website/?Action=downloadAsset&AssetId=11459>
7. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
8. CNC hydraulické ohraňovací lisy. *Dovoz strojů* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://dovoz-stroju.cz/cnc-hydraulicke-ohranovaci-lisy-vyhodne-ceny/>
9. CNC Hydraulic Press Brake 2500 X 160 Tons. *AliExpress* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.aliexpress.com/store/product/CNC-Hydraulic-Press-Brake-2500-X-160-Tons/604429_389221896.html
10. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.
11. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
12. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
13. HÁJEK Pavel: *Výroba krytu*. Brno, 2014. 95 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
14. *Handbuch der Umformtechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 978-366-2077-030.
15. *HESTEGO* [online]. 2008 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.hestego.cz/uploads/tx_odphotogallery/thumbs/fc1a8bd3e7a21acbf0e7039e3c846e79.jpg

16. Hodnoty mezí pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel. *Portál pro strojní konstruktéry* [online]. 2013 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezí-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
17. Hydraulic press brakes and shears. *Gasparini Industries* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.gasparini.it>
18. Inovační technologie ohýbání: BendGuard. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/ohybani/inovacni-technologie/bendguard.html>
19. Inovační technologie ohýbání: Bombírovací systémy. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/ohybani/inovacni-technologie/bombirovaci-systemy.html>
20. Inovační technologie ohýbání: Úhlový senzor ACB. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/ohybani/inovacni-technologie/uhlovy-senzor-acb.html>
21. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
22. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W-Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozní ochrana materiálů*. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-7183-054-2.
23. LEIBINGER-KAMMÜLLER, Nicol. *Fascination of Sheet Metal*. Würzburg: TRUMPF GmbH, Vogel Buchverlag, 2006, 252 s. ISBN 13978-3-8343-3071-0.
24. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření - ohýbání. In: *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. 2005 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
25. MACHEK, Václav. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: SNTL, 1983, 266 s. ISBN 04-241-82.
26. Modul pružnosti v tahu. *Wikipedia, otevřená encyklopedie* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Modul_pružnosti_v_tahu
27. More Corner Detail. *Siemens Global Website* [online]. 2013 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://community.plm.automation.siemens.com/t5/Solid-Edge-Community-Blog/More-Corner-Detail/ba-p/18785>
28. NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky: část 1 - tváření*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1985, 179 s.
29. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
30. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje. Část I. - Tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 112 s.

31. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992, 171 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-0404-3.
32. Obrazová příloha k cvičení z technologie tváření kovů a plastů. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. 2008 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tkp/2.pdf
33. Ohraňovací lis Cone 1600. *CoastOne Czech s.r.o. - ohraňovací lisy, nástroje na ohraňovací lisy* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.aaapoptavka.cz/dodavatele/13-strojirenstvi-stroje-a-kovovyroba/862-stroje-kovoobrabeci/239305-coastone-czech-s-r-o-ohranovaci-lisy-nastroje-na-ohranovaci-lisy/2175-ohranovaci-lis-cone-1600.html>
34. Ohraňovací nástroje a ohýbací příslušenství. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/sluzby/ohranovaci-nastroje-a-ohybaci-prislusenstvi.html>
35. Ohýbací příslušenství. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/sluzby/ohranovaci-nastroje-a-ohybaci-prislusenstvi/prislusenstvi-nastroju.html>
36. *Ohýbací stroje Hämmeler* [online]. 2009 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.waterjetcuttingnews.com/cutting_and_bending/com/cz/products/bending/haemmerle/Haemmerle_cz.pdf
37. Ohýbání. *Bystronic Czech Republic s.r.o* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.bystronic.cz/cs/produkty/ohranovaci_lisy/
38. Organizační směrnice: Provozní bezpečnostní předpis pro tvářecí stroje. *TRAIVA s.r.o* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: www.traiva.cz/online_dokumentace/firmy/5a/os_-_tvareci_stroje.doc
39. PREPARED UNDER THE DIRECTION OF THE ASM INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. *Metals handbook*. 9. ed., 1. printing. Metals Park, Ohio: American Soc. for Metals, 1988. ISBN 08-717-0020-4.
40. Press brakes. *DirectIndustry - The online Industrial Exhibition* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/press-brake-63101.html>
41. Press brake and ram movement method for press brake. *Google patents* [online]. 2002 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/EP1228822A1?cl=en>
42. Press Brake Productivity ohraňovacích lisů. *Wila Press Brake Productivity site* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.wila.nl/images1/wila/data/pdf/Press%20Brake%20Productivity%20Quicksart_CZ.pdf
43. Press brakes, Shears and Metal fabricating Machinery. *Durma USA* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.durmausa.com/>
44. Press brake tooling. *AMADA* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.amada.com/america/brochures/tooling/euro-press-brake-tooling/>

45. Převodník materiálů. *Preciz s.r.o* [online]. 2012 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal>
46. RAPIEN, Ben L. *Fundamentals of press brake tooling: the basic information you need to know in order to design and form good parts*. 2nd ed. Cincinnati : Hanser Publications: Hanser Publishers, c2010. ISBN 15-699-0474-X.
47. *SafanDarley* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.safandarley.com/>
48. Speciální ohraňovací nástroje. *UKB - Ohraňovací nástroje* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.ukb-gmbh.de/fileadmin/pdf/cz/UKB_07_CZ_Ausgabe_8.pdf
49. Strain hardening exponent. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_hardening_exponent
50. Systémy zadního dorazu. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabecistroje/produkty/ohybani/inovacni-technologie/systemy-zadního-dorazu.html>
51. Tandem Hydraulic Press Brake. *Onejin - Press Brakes Manufacturer* [online]. 2013 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.onejin.com/products/press-brakes/tandem.html>
52. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
53. THB 250. *YORK - upínací nářadí pro řemeslníky* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.york.cz/category.do?categoryId=19>
54. TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006, xii, 405 s. : il., čb. fot., tabulky ; 25 cm. ISBN 3-540-33216-2.
55. Used AMADA HFE 100-3. *Exapro - Used machinery for sale* [online]. 2012 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.exapro.com/used-amada-hfe-100-3-cnc-press-brake-p21022169/>
56. VOLEJNÍČEK, M. *Rešerše ohraňovacích lisů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
57. Výroba ohraňovacích nástrojů. *TRUMPF Machine tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabecistroje/sluzby/ohranovaci-nastroje-a-ohybaci-prislusenstvi/vyroba.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_o	ohýbací práce	[J]
a	délka rovné části	[mm]
b	šířka plechu	[mm]
c	materiálový součinitel	[-]
D	modul zpevnění	[MPa]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_{cmax}	maximální celková ohýbací síla	[N]
F_k	kalibrační síla	[N]
F_o	ohýbací síla	[N]
h	zdvih nástroje	[mm]
K	materiálová konstanta	[MPa]
L	celkový rozměr rozvinutého polotovaru	[mm]
l	délka ohnutého oblouku	[mm]
l_o	délka ohnutého úseku na neutrální ose	[mm]
l_U	vzdálenost rozevření matrice tvaru U	[mm]
l_V	vzdálenost rozevření matrice tvaru V	[mm]
n	exponent deformačního zpevnění	[-]
p	velikost posunutí neutrální osy od původní osy průřezu	[mm]
p_k	měrný tlak pro kalibrování	[MPa]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
S	plocha kalibrovaného materiálu	[mm ²]
s	tloušťka polotovaru	[mm]
x	součinitel polohy neutrální osy	[-]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel ohnutého úseku	[°]
γ	úhel odpružení	[°]
ε_{tmax}	trvalá poměrná deformace	[-]
ε_{tmin}	poměrná deformace na mezi kluzu v tahu	[-]
μ	součinitel tření	[-]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
σ_k	mez kluzu	[MPa]
φ	přetvoření	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad ohýbané součásti [15]	10
Obr. 2 Různé tvary dosažené ohraňováním [10]	11
Obr. 3 Schéma ohýbání [11]	12
Obr. 4 Lineární aproximace [32]	12
Obr. 5 Stanovení délky rozvinu [22]	13
Obr. 6 Praskání materiálu [10]	14
Obr. 7 Schéma poloměru ohybu [12]	14
Obr. 8 Způsoby ohýbání [22]	15
Obr. 9 Průběh síly při ohýbání [10]	16
Obr. 10 Délka ramen [2]	17
Obr. 11 Úprava okrajů ohybu [2]	17
Obr. 12 Vliv směru vláken [2]	17
Obr. 13 Různé tvary výřezů [27]	18
Obr. 14 Volné ohýbání [3]	18
Obr. 15 Ohyb s dotlačením [3]	19
Obr. 16 Tvorba přeložení [3]	19
Obr. 17 Třibodové ohýbání [36]	19
Obr. 18 Razník [13]	20
Obr. 19 Matrice [13]	20
Obr. 20 Tvarované nástroje [13]	21
Obr. 21 Tvarovaná drážka	21
Obr. 22 Mechanické upínání [42]	21
Obr. 23 Hydraulické upínání [13]	22
Obr. 24 Stavba ohraňovacího lisu [13]	23
Obr. 25 Osy zadního dorazu [9]	24
Obr. 26 Vliv bombírování na součást [13]	24
Obr. 27 Bombírování [13]	25
Obr. 28 ACB systém odměřování [20]	25
Obr. 29 Opěry zadního dorazu [35]	26
Obr. 30 Plastové výložky matrice [35]	26
Obr. 31 Ruční ohraňovací lis	27
Obr. 32 Schéma mechanického ohraňovacího lisu [30]	28
Obr. 33 Schéma hydraulického ohraňovacího lisu [41]	28
Obr. 34 Segmentový ohraňovací lis Cone 1600 [33]	29
Obr. 35 Tandemové spojení lisů Onejin [51]	29
Obr. 36 Logo firmy TRUMPF [34]	30
Obr. 37 Logo firmy DURMA [43]	30
Obr. 38 Logo firmy SAFAN DARLEY [47]	30
Obr. 39 Logo firmy BYSTRONIC [5]	30
Obr. 40 Logo firmy Gasparini [17]	30
Obr. 41 Použitý stroj AMADA	31
Obr. 42 Použitý horní nástroj	31

Obr. 43 Použitý spodní nástroj	31
Obr. 44 Sestavení nástrojů	32
Obr. 45 Obrazovka ovládacího panelu	32
Obr. 46 Model rozvinu	33
Obr. 47 Přístřih.....	33
Obr. 48 Výsledná součást.....	33
Obr. 49 Model součásti	33

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Hodnoty součinitele x [10].....	13
Tab. 2 Hodnoty součinitele c [12].....	14
Tab. 3 Příklady používaných materiálů [45].....	22

