

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY OHÝBANÉHO PROFILU PRO NOSNÉ KONSTRUKCE

THE SUGGESTION OF ROLL BENDING TECHNOLOGY FOR FRAMEWORK PROFILE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

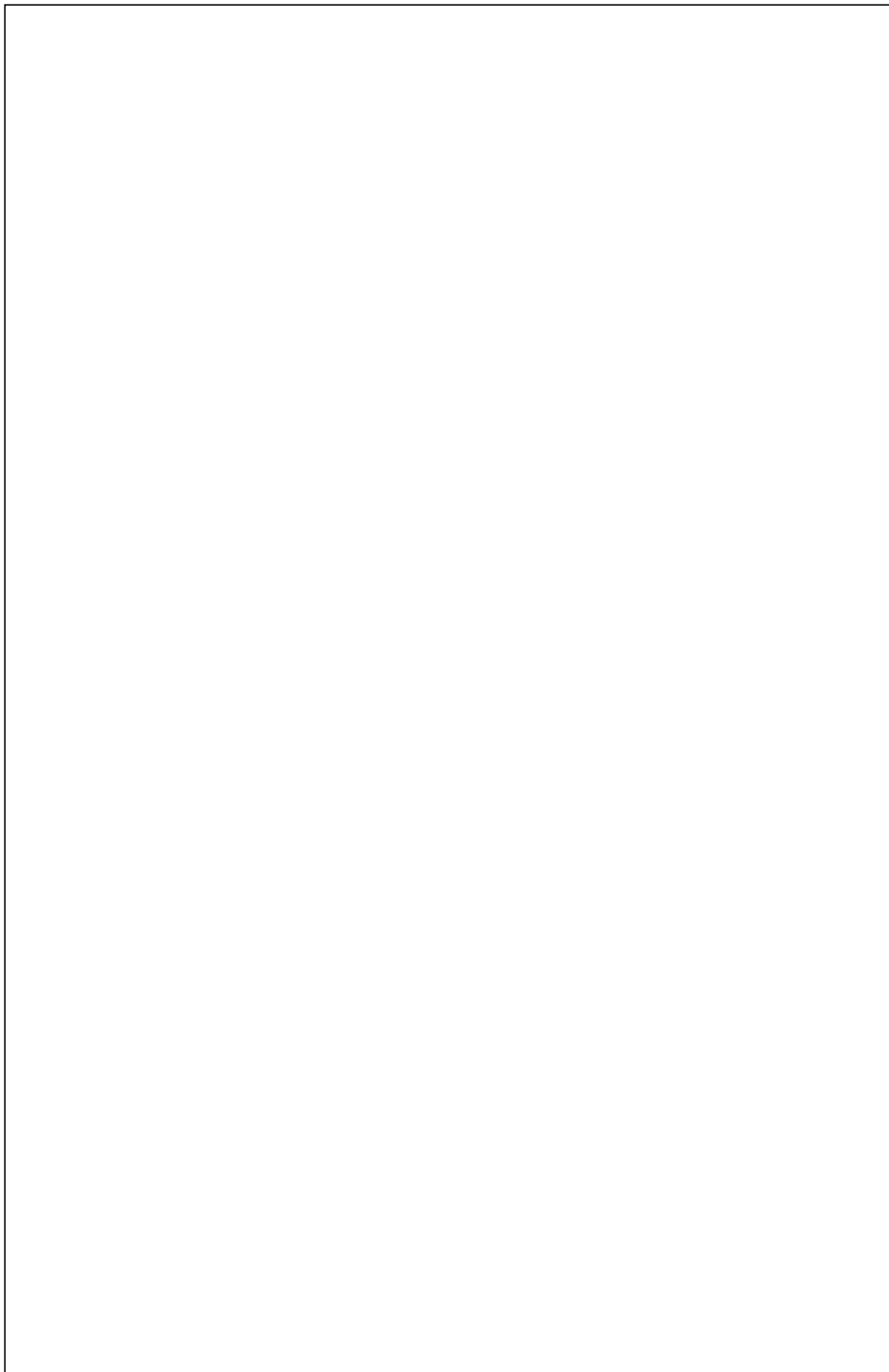
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL KOVAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MICHAELA MAREČKOVÁ

BRNO 2008



ABSTRAKT

Téma diplomové práce je zaměřeno na výrobu profilu kruhového průřezu technologií ohýbáním, který je dále použit pro výrobu nosné konstrukce průmyslových výtahů. V práci je navržen postup výroby profilu včetně návrhu nástroje a lisovacího stroje.

Klíčová slova

technologie výroby profilu ohýbáním, postup výroby profilu, návrh ohýbacího nástroje, návrh lisovacího stroje.

ABSTRACT

Subject of diploma thesis is bending on technology production profile inflexion used for bearing construction industrial lifts, in work should be designed processing profile inclusive proposal tools and pressing machinery.

Key words

Bending technology of manufacturing profile plan, manufacturig profile plan, model pressing machinery.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOVAŘÍK, Michal. *Návrh technologie výroby ohýbaného profilu pro nosné konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 63 s., 6 příloh. Vedoucí práce Ing. Michaela Marečková

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh technologie výroby ohýbaného profilu pro nosné konstrukce vypracoval samostatně s využitím uvedené odborné literatury a pramenů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

Datum: 20.5.2008

.....
Michal Kovařík

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Michaele Marečkové za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
ÚVOD.....	9
1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY A DANÉ PROBLEMATIKY.....	10
1.1 Představení firmy.....	10
1.2 Stávající stav výroby	11
1.3 Plánovaný stav výroby.....	11
2 LITERÁRNÍ STUDIE DANÉ PROBLEMATIKY	12
2.1 Tváření.....	12
2.1.1 Mechanismus plastické deformace	12
2.2 Ohýbání	14
2.2.1 Napětí a deformace v ohýbaném průřezu	14
2.2.2 Stanovení délky výchozího polotovaru.....	16
2.2.3 Poloměr ohybu	19
2.2.4 Odpružení ohybu.....	20
2.2.5 Stanovení ohýbací síly a práce.....	23
2.2.6 Volba materiálu pro ohýbání	26
2.2.7 Technologičnost konstrukce součástí	27
2.3 Konstrukce ohybové matrice (formy).....	27
2.3.1 Zásady technické.....	27
2.3.2 Funkční části ohýbadel	27
2.3.3 Vůle mezi činnými částmi ohýbadel.....	28
2.3.4 Jakost a přesnost ohýbaných součástí.....	29
2.3.5 Eliminace odpružení vhodnou konstrukcí funkčních částí ohýbadla	30
2.3.6 Zamezení posuvu materiálu při ohýbání.....	31
2.3.7 Přidržovače	32
2.3.8 Zakládací dorazy.....	32
2.3.9 Volba materiálu ohýbacích nástrojů (ohybník, ohybnice).....	33
2.4 Stroje a nástroje pro ohýbání a stříhání	34
2.4.1 Ohýbačky	34
2.4.2 Ohýbací lisy	35
2.4.3 Ohraňovací lisy	36
2.5 Dělení materiálu	37
2.5.1 Stříhání noži na profily a tyče, trubky	38
3 LITERÁRNÍ STUDIE TVÁŘECÍCH STROJŮ	40
3.1 Rozdělení tvářecích strojů	40
3.2 Tuhost tvářecích strojů	41
3.3 Konstrukční uspořádání pohonů silových tvářecích strojů.....	42
3.3.1 Přímý pohon (hydrogenerátorový, čerpadlový).....	43
3.3.2 Nepřímý pohon (akumulátorový)	43
3.3.3 Kombinovaný pohon.....	44
3.4 Hydraulické lisy.....	44
3.4.1 Postup návrhu tvářecího stroje s hydraulickým pohonem	44
4 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY (VLASTNÍ ŘEŠENÍ).....	45

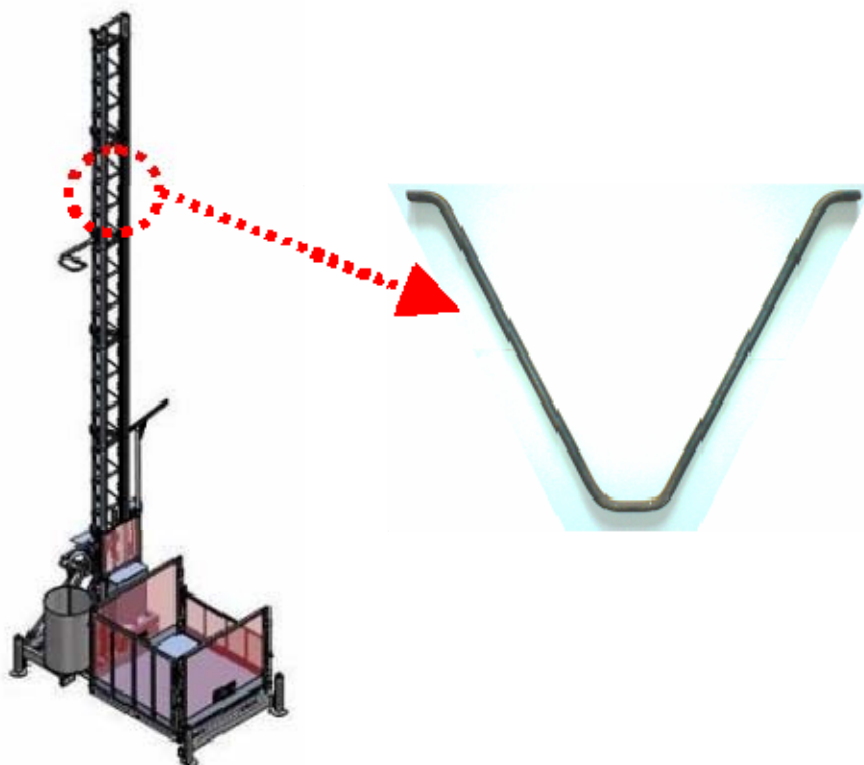
4.1 Technologický postup výroby ohýbadla.....	45
4.1.1 Materiál.....	45
4.1.2 Technologický postup výroby nástroje.....	45
4.2 Technologický postup výroby ohýbaného profilu.....	46
5.2.1 Materiál součásti.....	47
5.2.2 Stanovení základních rozměrů ohýbané součásti	48
5 KONCEPČNÍ NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO LISU.....	51
5.1 Hydraulický agregát	51
5.2 Lis.....	53
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	56
7 ZÁVĚR.....	59
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	61
SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Prudký rozvoj světové strojírenské výroby stále vyžaduje vývoj technologií a hledání nových, produktivnějších metod výroby. Nedílnou součástí této hnací síly kupředu je také velká rychlost globalizace a tím se vysvětluje pořád těžší konkurenční schopnost firem na trhu, jak domácích, tak zahraničních. Česká republika má ve strojírenství dlouhou tradici, kterou využily hlavně velké podniky ze zahraničí např. Siemens, ABB, které vstoupily na náš domácí trh. V dnešní době tyto závody nemají dostatečné kapacity a velkou část součástí své výroby zadávají do kooperace menším firmám. Díky tomu vzniká prostor na našem domácím trhu pro tyto malé firmy. I přes tyto pozitivní prognózy je konkurence velice vysoká, proto mají tendenci nabídnout nejnižší cenu s odpovídající kvalitou výrobku. Na stanovení této ceny se podílí velká řada faktorů, jako je např.:

- množství vyráběných dílů (sériová nebo kusová výroba)
- časový horizont (jak dlouho se bude daný kus vyrábět).

Na základě těchto informací je vyhotoven plán výroby, který je v diplomové práci řešen. Jednou z navržených variant bylo sestavit jednoúčelový stroj na ohýbání kulatiny, jehož návrh a následná konstrukce a realizace je tématem diplomové práce.



1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY A DANÉ PROBLEMATIKY

1.1 Představení firmy

DE JONG LIFTEN CO, s. r. o.

je česko - holandská firma zabývající se výrobou a prodejem průmyslových výtahů. Produkty této firmy jsou používány jako výtahy nákladní, skladové nebo stavební. Pro jejich vysokou kvalitu a dlouhou životnost nacházejí uplatnění na mnoha místech po celém světě. Výroba těchto zařízení sahá až do roku 1919, kdy byla založena v Holandsku firma DE JONG liften B.V.

VYRÁBĚNÝ SORTIMENT:

Série AT - nákladní výtahy (AT40, AT50 - viz obr. 1.3)

Tab. 1.1 Technické údaje výtahů série AT

AT - nákladní výtahy

Označení	Nosnost (kg)	Rozměry plošiny (cm) l x w	Rychlost plošiny (m/min)	Max. výška (m)	Kotvení sloupu po (m)
AT40	400	155 x 130	16.2	40	6
AT40H	400	155 x 130	16.2	40	6
AT50	500	150 x 150	24	75	6



Obr. 1. 1. Nákladní výtah AT (14)

Série MP - transportní plošiny

Celková nosnost je 500 kg.

Maximálně 3 osoby.

Rozměry podlahy 150 x 150 cm.

Může být použit jako transportní plošina (obr. 1. 2., 1. 3.) nebo jako stavební výtah.

Všechny díly jsou zinkovány.

Certifikováno u Notified Body (institut pro výtahy).

Základní vybavení:

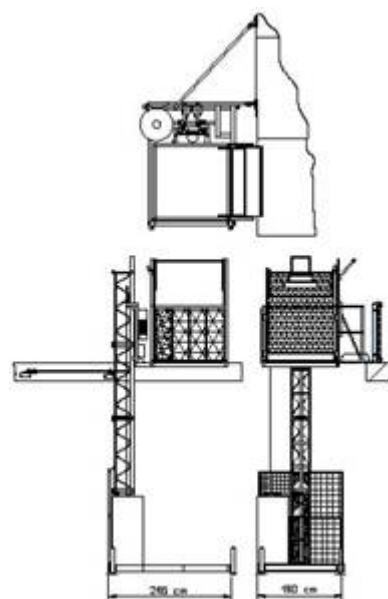
- 1,5 m základní stožár
- 1,8 m, plošina s ohrazením 1,1 m a ochranou pojezdových částí sloupu
- nákladová rampa 1,1 m
- rampa na vykládání, která se orientuje k budově
- obě rampy jsou elektromechanicky jištěny
- spodní a horní koncový spínač
- pracovní spínač pro zvláštní zabezpečení při montáži a demontáži výtahu
- odstředivá brzda pro případ výpadku proudu
- 1 držák kabelu umístěn nad navíjecí buben
- ovládací panel NAHORU/STOP DOLŮ/STOP
- další ovládací panel výtahu
- zabezpečení fází
- reverzní přepínač fází

Příslušenství:

- stožár 1,5 m
- držák kabelu
- sada upevnění sloupu



Obr. 1. 3. Transportní plošina (14)



Obr. 1. 2. Schéma transportní plošiny (14)

1.2 Stávající stav výroby

Firma DE JONG LIFTEN CO, s. r. o. dále (DE JONG) se zabývá především konstrukcí a montáží výtahů a jejich základní konstrukční prvek - ohýbaný profil - zadává do kooperace různým firmám. Tyto firmy vyrábí profil na ohraňovacích lisech za nejnižší cenu 8 Kč/ks. Na základě snižování nákladů na výrobu hledala firma DE JONG levnější variantu, proto zveřejnila poptávku na výrobu ohýbaného profilu, na kterou kladně reagovala firma JK-STROJE.

1.3 Plánovaný stav výroby

Firma JK-STROJE se zabývá především projekcí, automatizací, rekonstrukcí, servisem a prodejem výrobních strojů a zařízení. Firma si vypracovala studii na jednoúčelový lisovací stroj, který by vyráběl ohýbaný profil za 6 Kč/ks s rychlou návratností investice.

2 LITERÁRNÍ STUDIE DANÉ PROBLEMATIKY

2.1 Tvářeni

Základem technologických tvářecích operací jsou velké plastické deformace, při nichž se trvale mění tvar a rozměry tělesa. Děje, které při tom probíhají, mají svou mechanickou a fyzikální podstatu a mohou být provázány i změnami chemickými. Tvar a rozměry tvářeného tělesa se mění účinkem vnějších sil působících na zpracovávaný kov prostřednictvím pracovních ploch nástroje. Jde tedy o děj především mechanický, který se projevuje různými stavy napjatosti a deformacemi tvářeného materiálu, které jsou ovlivněny vnějším třením na dotykových plochách s nástrojem. Protože kovy a slitiny jsou krystalické látky, je nutno při studiu plastických deformací při tvářecích pochodech sledovat i fyzikální děje, které mají vliv na strukturální změny a tím na fyzikální a mechanické vlastnosti.

Při zpracování kovových materiálů se využívá jejich plasticity, tj. schopnosti přetvoření bez porušení. Tvářeni zahrnuje celou řadu výrobních metod, z nichž mnohé jsou vhodné jen pro sériovou příp. hromadnou výrobu. Tvářecí metody vyžadují většinou drahé výrobní nástroje, jejichž hospodárné využití závisí na počtu vyráběných kusů. Tím se tvářeni liší od obrábění, kde se používají relativně jednoduché nástroje a tím i levnější.

Rozdělení tvářeni:	plošné - objemové tlakem - rázem za studena - za tepla
Výhody tvářeni:	úspora materiálu produktivita práce zpevnění materiálu lepší odolnost povrchu proti korozi jen zaučená obsluha (u malých lisů) atd.
Nevýhody:	zpevnění, cena nástroje (4)

2.1.1 Mechanismus plastické deformace

Změny tvaru a rozměrů výrobků jsou způsobeny vnějšími silami, které ve tvářeném tělese vyvolají takový stav napjatosti, že je překročena mez kluzu a vznikne plastická deformace. Nesmí se však překročit napětí, při kterém by se porušila soudržnost. Přemísťování částic kovů v tuhém stavu pod účinkem vnějších sil má některé znaky tečení viskózních látek. Má však na ně vliv krystalická stavba kovu, proto hovoříme o plastickém tečení kovů. Při deformaci nastává prostorové přemísťování částic materiálu, takže celkový objem se nemění - platí zákon zachování objemu.

Na rozdíl od fyzikálně chemických metalurgických pochodů není tvářeni teoreticky spojeno se ztrátami materiálu, pouze část materiálu se ztrácí jako technologický odpad a při tvářeni za tepla vznikají ztráty vlivem oxidace povrchu ve formě okují.

Tvářecí pochody při zpracování kovů jsou spojeny se změnami jejich fyzikálních a mechanických vlastností, někdy i chemických. Znalost těchto změn je důležitá. Jedná se zejména o zpevnění některých kovů při tvářeni za studena, nebo o změny struktury, což se projevuje anizotropií materiálu, o procesy difusní povahy aj.

Každou plastickou deformaci doprovází vždy elastická deformace.

Vliv materiálu na průběh deformace

Zpevnění vzniká při tváření za studena. Protože plastická deformace nastává pohybem dislokací, je zpevnění známkou, že dislokace obtížně vznikají nebo jsou méně pohyblivé. Teorie zpevnění vychází z předpokladu, že některé dislokace znehybní a působí jako zdroje vnitřního napětí, které brání pohybu ostatních dislokací, dojde k jejich nahromadění.

Zpevnění se navenek projevuje vzrůstem pevnosti, tvrdosti a meze kluzu, ale snížením tažnosti a vrubové houževnatosti. Mez kluzu roste přitom rychleji než mez pevnosti σ_{pt} a poměr $\frac{\sigma_k}{\sigma_p}$ se blíží jedné. Také se měří některé fyzikální vlastnosti, např. elektrická vodivost.

Vlivem natáčení kluzových rovin se směr působících sil ze zrna prodlužují ve směru tváření a při větších deformacích polykrystalů zaniká původní pravidelné uspořádání mřížkových rovin a směrů jednotlivých krystalů, vzniká krystalová orientace usměrněná deformací ve směru působící síly. Při tváření za studena se nejen prodlužují zrna, ale nastává přednostní usměrnění jejich krystalografických os, vzniká tzv. textura.

Textura způsobuje, že vlastnosti materiálu jsou v různých směrech odlišné - anizotropie materiálu. Anizotropie materiálu způsobuje, že materiálové vlastnosti jsou závislé na krystalové orientaci (např. cípy při tváření).

Během tváření za studena se stupněm deformace roste hustota dislokací, což způsobuje značnou akumulaci deformační energie v krystalické mřížce. Deformovaný materiál je proto termodynamicky nestabilní a má snahu se vrátit do stavu s nižší volnou energií - do původního stavu. K tomuto návratu však nedojde samovolně, ale jen při vyšší teplotě. Proto za studena tvářený kov se ohřívá, aby získal stejné vlastnosti, jaké měl před deformací. Při ohřevu dochází ke změnám, které nazýváme zotavení a rekrystalizace.

Zotavením je myšlen děj, který proběhne v materiálu ještě před rekrystalizací. Je to děj, při kterém dojde k uvolnění některých dislokací a k jejich uspořádání a ke snížení deformační energie. K zotavení dochází při nižších teplotách, než je teplota rekrystalizační. Zotavením se snižuje vnitřní napětí kovu a mění se některé fyzikálně mechanické vlastnosti směrem k původním vlastnostem před deformací. Mechanické vlastnosti ani struktura se vcelku nemění. (4)

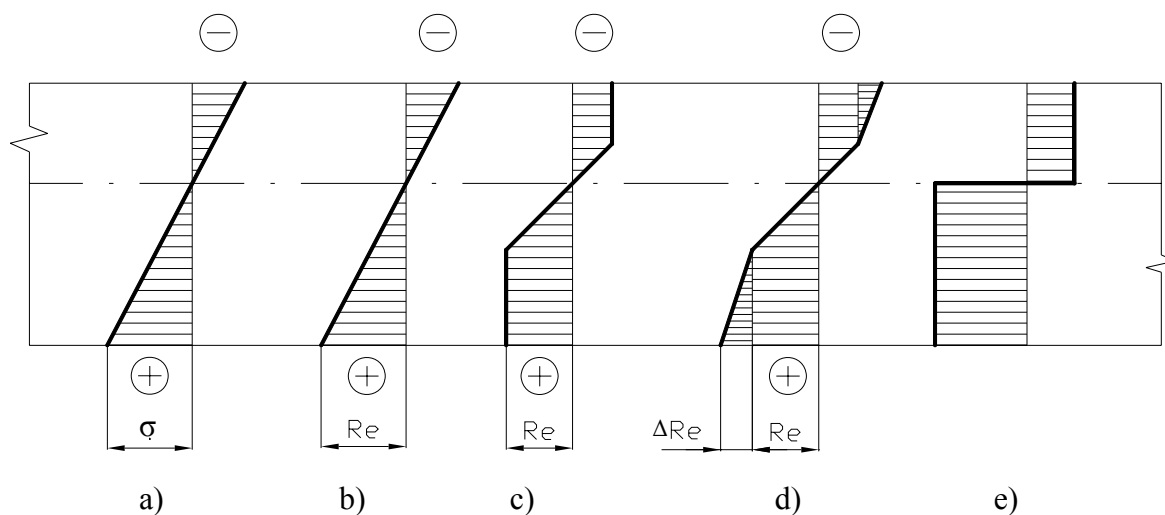
2.2 Ohýbání

Ohýbání je technologická operace, při které vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru bez podstatné změny průřezu, proto patří do oblasti tváření plošného. Při ohýbání dochází k pružně plastické deformaci materiálu. Ohýbání se provádí ve většině případů za studena, v případě velkých průřezů materiálů a vyšší pevnosti, za tepla. Ohýbání je trvalé deformování materiálu, při němž se materiál vzniklým napětím, buď ohýbá, nebo rovná.

Přehled názvosloví a základních prací při ohýbání je uveden v ČSN 22 6001. Všeobecné údaje o ohýbání, týkající se základních teoretických otázek a směrnic pro výpočet a konstrukci ohýbadel, jsou uvedeny v ČSN 22 7440.(4)

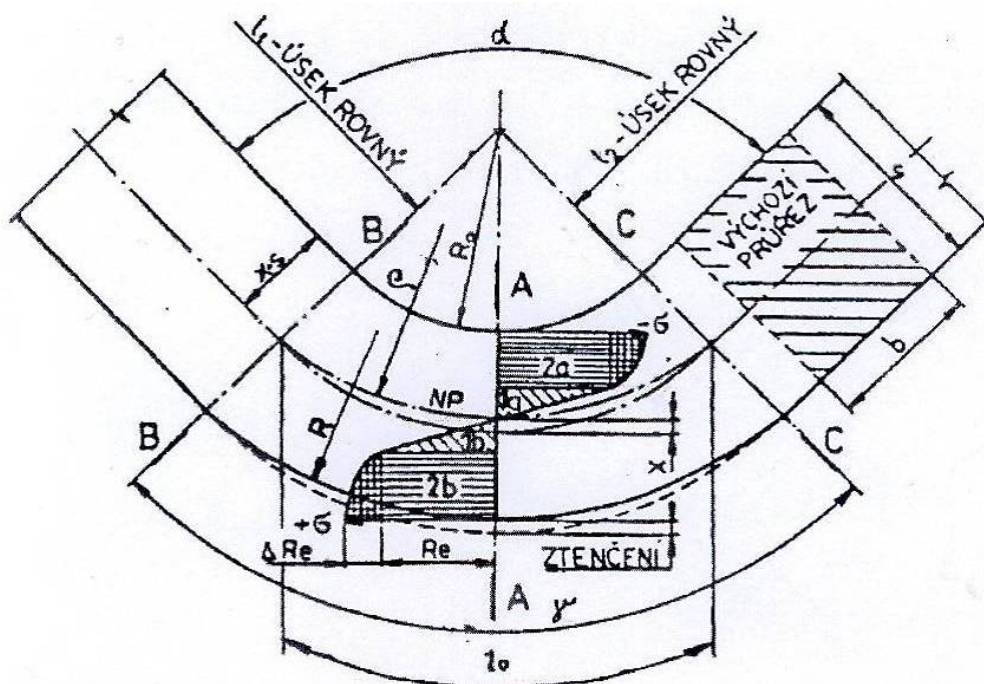
2.2.1 Napětí a deformace v ohýbaném průřezu

Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu (na straně pohyblivé čelisti) se stlačují a zkracují v podélném směru a roztahují ve směru příčném. Vnější vrstvy (na straně pevných čelistí) se roztahují a prodlužují v podélném směru. Mezi prodlouženými a zkrácenými vrstvami (vlákny) je neutrální vrstva, jejíž délka se rovná počáteční délce polotovaru. Při ohýbání úzkých pásů se příčný průřez značně deformuje tím, že tloušťka v místě ohybu se zmenšuje a jeho šířka se uvnitř úhlu ohybu (v místech, kde působí tlakové napětí) zvětšuje, a na vnější straně ohybu, kde působí tahové napětí, se šířka příčného průřezu zmenšuje. Při těchto deformacích se průřez příčně zakřiví viz obr. 2. 1.



Obr. 2. 1. Napjatost v ohýbaném průřezu:

- a) na vnější straně tah +, na vnitřní tlak -;
- b) dosažení meze kluzu, začátek plastické deformace;
- c) postup plastické deformace dovnitř materiálu;
- d) průběh napětí a zpevnění;
- e) žádná pružně deformovaná oblast (ideální stav)

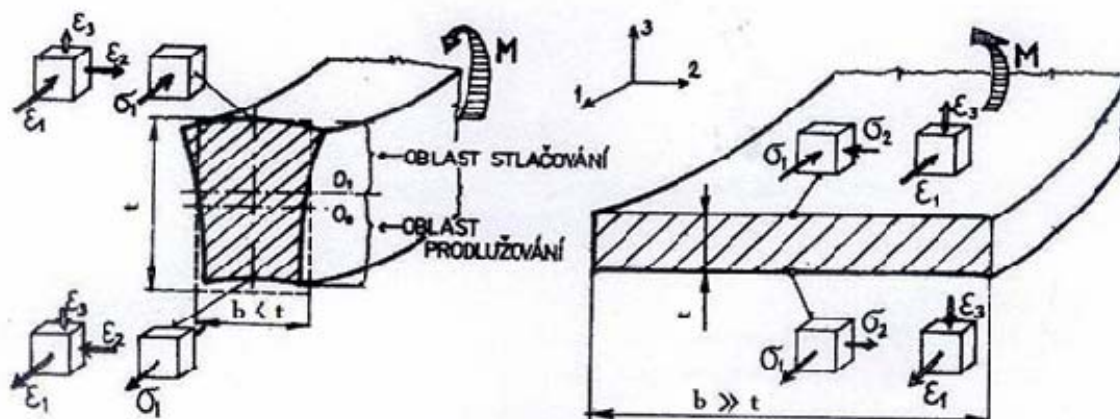


Obr. 2. 2. Schéma ohýbání (2)

Symboly

- 1a – oblast pružné deformace stlačováním
- 1b – oblast pružné deformace tažením
- 2a – oblast plastické deformace stlačováním se zpevněním
- 2b – oblast plastické deformace tažením se zpevněním
- X – posunutí neutrální osy
- ρ - poloměr neutrální osy

Rozložení napětí v ohýbaném průřezu je závislé na velikosti deformace, tedy na poměru $\frac{r}{t}$ a úhlu ohybu α . Čím je tento poměr menší, tím je velikost deformace větší a naopak, čím je úhel ohybu α menší, tím je deformace menší. V některých případech se volí větší posunutí neutrální osy záměrně - superpozicí tahového napětí. Tímto zásahem se zmenšuje oblast tlakového napětí a snižuje se nebezpečí ztráty stability ohýbané součásti v případech ohýbání např. tenkostěnných profilů kolmo na výšku (L, U, Z profily apod.). Při ohýbání úzkých polotovarů ($b < 3 \cdot t$) se deformuje příčný průřez více, než při ohýbání polotovarů širších ($b > 3 \cdot t$) například u plechů a pásů. Zde se sice ztenčuje tloušťka v místě ohybu, avšak v příčném směru se profil téměř nedeformuje – proti těmto deformacím působí odpor materiálu velké šířky. Z tohoto důvodu jsou odlišná i schémata napjatosti a přetvoření viz obr. 2. 3.



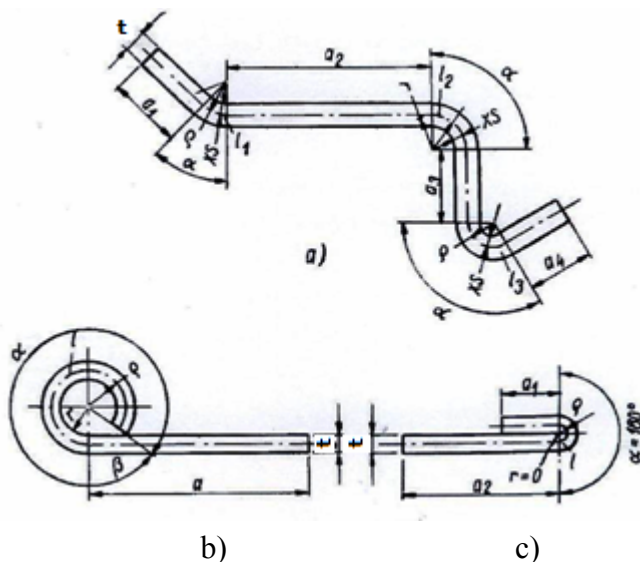
Obr. 2. 3. Schéma napjatosti a přetvoření při ohybu tyčí a širokých pásů (3)

Velikost deformace při ohýbání materiálu je ovlivněna kvalitou materiálu a jeho tloušťkou v místě ohybu, orientací ohybu vzhledem ke směru válcování, poloměrem ohybu a velikostí ohybových momentů. (1), (3)

2.2.2 Stanovení délky výchozího polotovaru

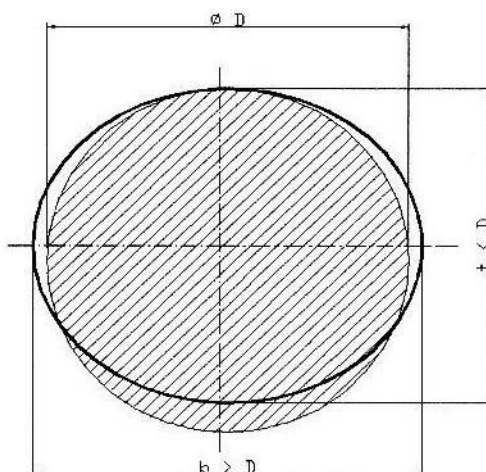
Délka výchozího polotovaru pro součást vyráběnou ohýbáním s různými druhy ohybu se stanoví obvykle tímto postupem:

- určení poloměru ohybu neutrální vrstvy
- stanovení délek oblouků v ohybech
- součet jednotlivých částí ohýbané součásti včetně rovných délek



Obr. 2. 4. Stanovení délky výchozího polotovaru pro ohýbání

Charakteristickým znakem ohýbání je změna polohy neutrální plochy. Napětí v místě neutrální plochy mění skokem svoji velikost a znaménko (+, -). Důsledkem změny a průběhu napětí tahového a tlakového při ohýbání dílce je i deformace v příčném průřezu (obr. 2. 5.).



Obr. 2. 5. Deformace kruhového průřezu

Výpočet poloměru neutrální plochy (vrstvy)

a) Při ohýbání s velkým poloměrem zaoblení, kdy $\frac{r}{t} \geq 12$ je

$$\rho = r + \frac{t}{2} \quad (2.1)$$

b) Při ohýbání s malým poloměrem zaoblení, kdy $r \leq 6$

$$\rho = \left(r + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad (2.2)$$

kde $z_z = \frac{t_1}{t}$ součinitel ztenčení [-]

$z_r = \frac{b_1}{b}$ součinitel původního průřezu [-]

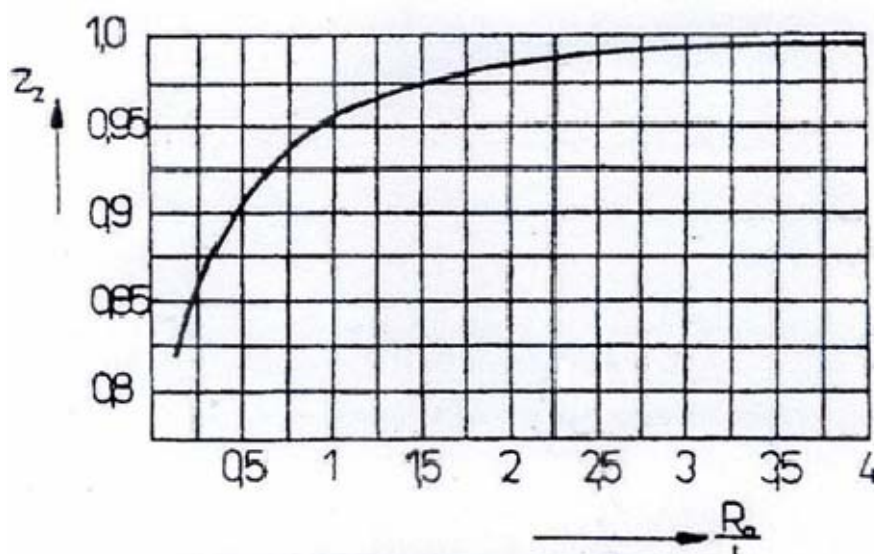
b, t šířka a tloušťka výchozího materiálu [mm]

b_1, t_1 šířka a tloušťka materiálu po ohnutí [mm]

Součinitel ztenčení (z_z) při ohybu závisí na tvárnosti materiálu, stupni deformace, úhlu ohybu a tření materiálu o nástroj. Velikost součinitele ztenčení při ohýbání tlustých průřezů z měkké oceli o 90° lze odečíst z diagramu na obr. 2. 6. Hodnocení součinitele rozšíření (z_r) pro měkkou ocel, pro poměrné šířky vzorku $b = 0,5 \cdot t$ až $b \geq 3 \cdot t$ jsou uvedeny v tabulce 2.1. (1), (5), (8)

Tab. 2.1 Součinitel rozšíření původního průřezu při ohýbání (z_r) (2)

Šířka ohýbaného dílce b [mm]	$b = 0,5 \cdot t$	$b = t$	$b = 1,5 \cdot t$	$b = 2 \cdot t$	$b = 2,5 \cdot t$	$b \geq 3 \cdot t$
Součinitel rozšíření z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

Obr. 2. 6. Součinitel ztenčení (z_z) při ohýbání měkké oceli o 90° (2)c) Ohýbání širokých pásů plechu $b > 3 \cdot t$

Poloměr neutrální plochy ρ při ohýbání širokých pásů plechu se určuje pomocí součinitele x , který vyjadřuje posunutí neutrální plochy a který je závislý zejména na mechanických vlastnostech a pevnosti ohýbaného materiálu.

$$\rho = r + x \cdot t \quad (2.3)$$

Výjimkou jsou ohyby větší než 180° , u nichž se na základě experimentálních zkoušek doporučuje:

$$\rho = r + 0,5 \cdot t \quad (2.4)$$

V tabulce 2. 2. jsou uvedeny hodnoty součinitele x pro ohyb širokých polotovarů pravoúhelného průřezu z měkké oceli o úhel 90° .

Tab. 2.2 Hodnoty koeficientu x ke stanovení posunutí neutrální vrstvy (6)

R/t	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Délka uvažovaného oblouku:

$$l = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \varphi}{180} \quad (2.5)$$

kde φ úhel ohnutého úseku [$^\circ$]

Úhel ohnutého úseku φ se rovná úhlu ohybu α jen při 90° . Ve všech ostatních případech je $\varphi = 180^\circ - \alpha$, kde α je sevřený úhel ramen ohnuté součásti (úhel ohybu) [$^\circ$].

Při ohybu součástí na 180° při úplném dosednutí ohýbaného materiálu, kdy $r = 0$, délka ohnuté části bude

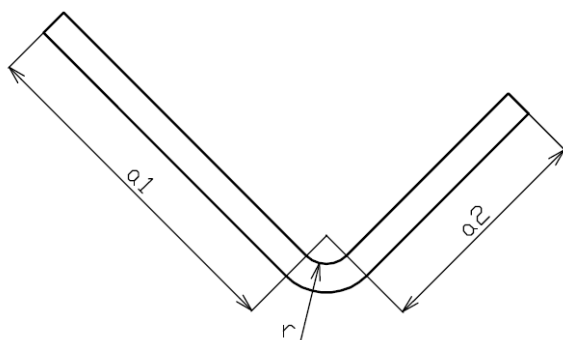
$$l = 0,5 \cdot t \cdot \pi \quad (2.6)$$

Určení rozvinuté délky polotovaru:

Celková délka výchozího polotovaru pro ohýbanou součást je dána součtem všech délek oblouků l a délek rovných částí a

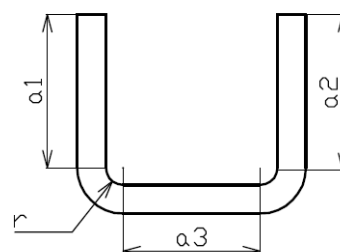
$$L = \sum l + \sum a \quad (2.7)$$

Při ohybu drátů, tyčí o průměru $\varnothing d$ s poloměrem ohybu $R_0 < 1,5 \cdot d$ dochází k deformaci průřezu. Při $R_0 \geq 1,5 \cdot d$ se kruhový průřez polotovaru prakticky nemění. (1), (8)



JEDEN OHYB $\alpha = 90^\circ$

$$L = a1 + a2 + \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180}$$



DVA OHYBY $\alpha = 90^\circ$

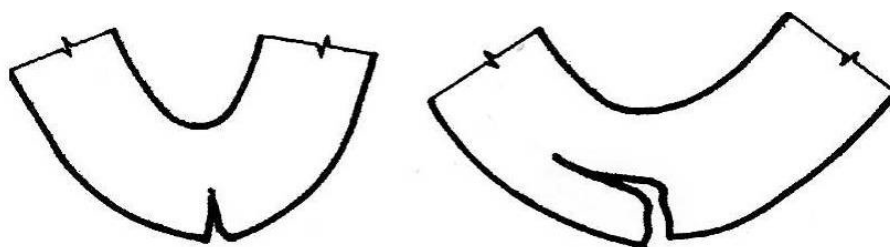
$$L = a1 + a2 + a3 + \pi \cdot (r + x \cdot t) \quad (2.8)$$

Obr. 2. 7. Stanovení délky výchozího polotovaru pro ohýbání

2.2.3 Poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu R_{\min} – závisí na plastičnosti (žíhaný zpevněný stav) 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. Výstřížky z plechu je třeba zakládat do ohýbacího nástroje tak, aby ostřiny vzniklé při stříhání byly stlačovány a ne roztahovány. U málo plastických materiálů dochází v důsledku intenzivního deformačního zpevnění ke vzniku trhlin při ohybu viz obr. 2. 8. Je třeba zařadit vhodné tepelné zpracování (žíhání).

Hodnoty minimálních poloměrů R_{\min} pro různé materiály s přihlédnutím k jejich stavu (např. žíhaný, zpevněný) a způsobu ohybu (napříč nebo podél vláken) jsou uvedeny v ČSN 22 7440. (2)



Obr. 2. 8. Vznik trhlin při ohýbání (1)

Orientační hodnoty R_{\min} :

$$\begin{aligned} R_{\min} &= (0,4 \div 0,8) \cdot t && \text{- pro měkkou ocel} \\ R_{\min} &= 0,25 \cdot t && \text{- pro měkkou měď} \\ R_{\min} &= 0,35 \cdot t && \text{- hliník} \end{aligned}$$

V praxi se hodnoty R_{\min} využívají jen v nutných případech. Zpravidla se volí hodnoty o 20 % větší.

Početní stanovení R_{\min} :

$$R_{\min} = \frac{t \cdot (1 - \varepsilon_k)}{2 \cdot \varepsilon_k} \quad \text{resp} \quad \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_k = \frac{\frac{t}{2}}{R_0 + \frac{t}{2}} = \frac{1}{\frac{2r}{t} + 1} \quad (2.10)$$

kde t tloušťka ohýbaného materiálu [mm]
 ε_k mezní prodloužení [mm], tj. prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu (napětí přesáhne mez pevnosti v tahu R_m).

Maximální poloměr R_{\max} – největší poloměr ohybu R_{\max} je dán nutností, aby v příslušných krajních vrstvách ohýbaného průřezu došlo k trvalé deformaci. (2)

K tomu je nutné splnit podmínku danou rovnicí:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \approx \frac{t \cdot E}{2 \cdot R_e} \quad (2.11)$$

kde E modul pružnosti v tahu [MPa]
 R_e mez kluzu materiálu [MPa]

2.2.4 Odpružení ohybu

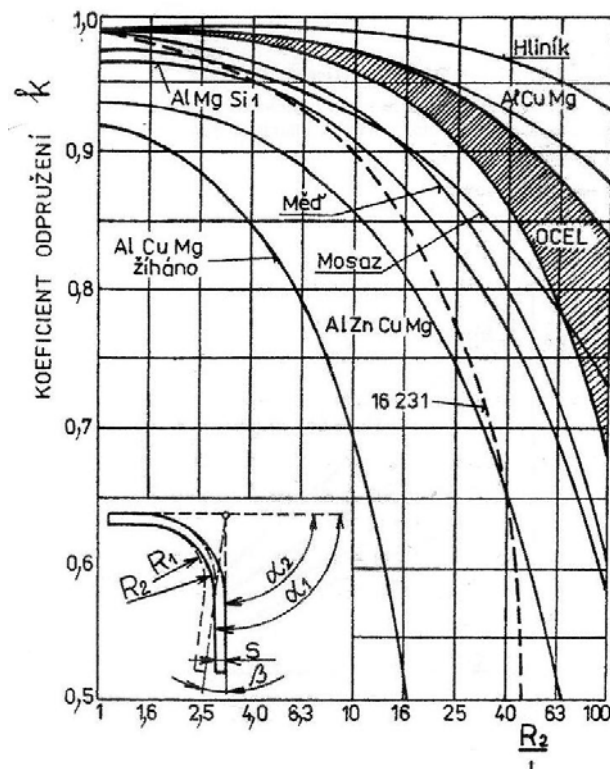
Přesnost ohybu a velikost odpružení je závislá na materiálových vlastnostech ohýbaného polotovaru, na poměru $\frac{r}{t}$ a na úhlu ohybu α . Platí, čím je velikost deformace v místě ohybu větší a čím se materiál méně zpevňuje, tím je odpružení menší. ČSN 22 7440 udává různé možnosti snižování odpružení (viz kap. 2.3.5.), ale vzhledem k možnosti měnících se mechanických vlastností polotovaru během výroby, některé metody nepřinášejí jednoznačné výsledky. (8)

Ohyb za studena doprovází pružné deformace, které při odtížení po ukončení ohybu způsobují odpružení. Výsledný tvar ohnuté součásti po odpružení nesouhlasí s tvarem ohýbadla. Při konstrukci ohýbacích nástrojů je na odpružení nutno brát zřetel a ohýbadla řešit tak, aby umožňovala ohyb větší o hodnotu odpružení. (3)

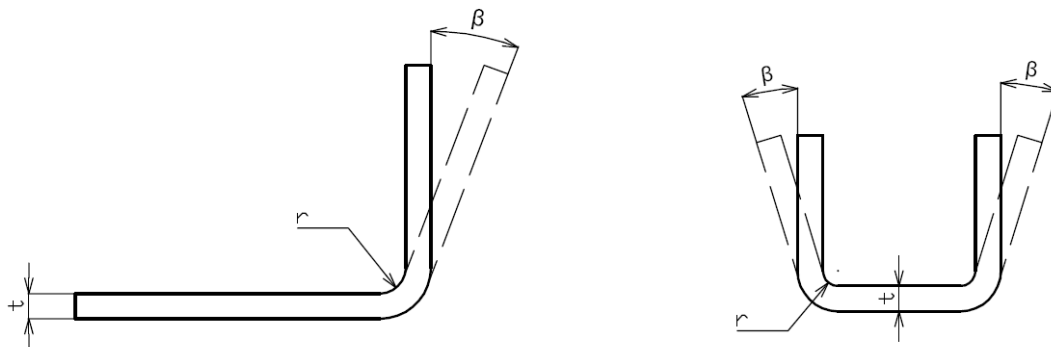
Velikost úhlu odpružení lze zjistit dvěma způsoby, buď analytickým výpočtem velikosti pružné deformace, nebo pokusně zkouškami a měřením. Ohyb je pružně tvárnou deformací, a jakmile na materiál přestane působit deformační síla, zruší se i pružná deformace a tím se mění úhel ohybu. Orientačně je možno odpružení při ohýbání s velkým poloměrem ohybu určit z diagramu (obr. 2. 9.) jako poměr (5)

$$k = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot t}{R_2 + 0,5 \cdot t} \quad (2.12)$$

Hodnoty R_1 a α_1 platí pro nástroj, R_2 a α_2 platí pro ohýbanou součást.

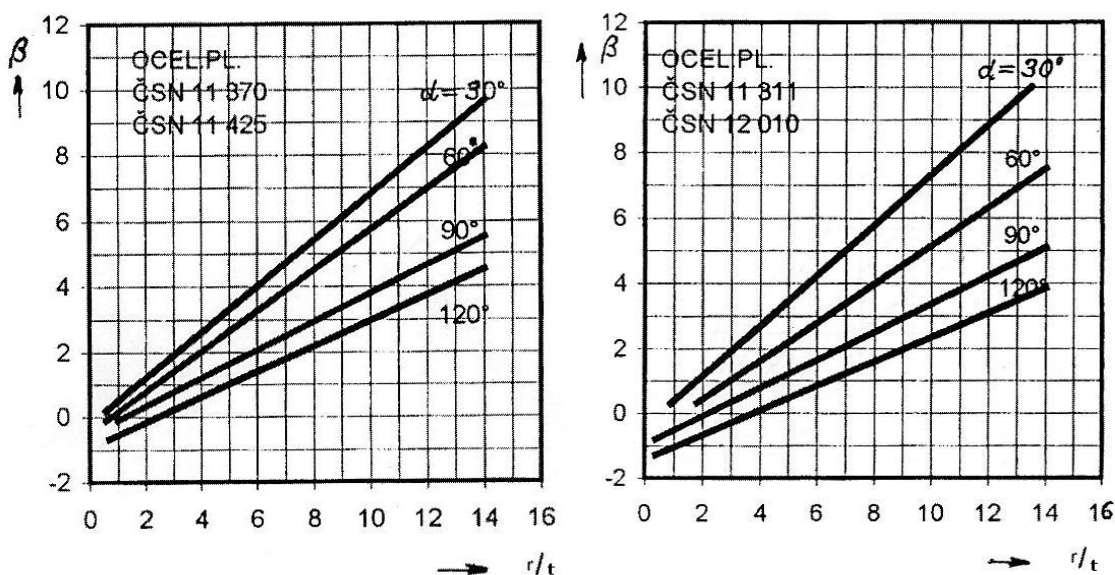


Obr. 2. 9. Diagram pro určení velikosti odpružení při velkém poloměru ohybu (2)



Obr. 2. 10. Odpružení při ohýbání do tvaru „V“ a „U“ (1)

Orientačně je možné v praxi určit úhly odpružení z diagramů, které jsou zpracovány pro ocel (obr. 2. 11), hliník, měď a jejich slitiny.



Obr. 2. 11. Odpružení pro úhly ohybu $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 120^\circ$ vybraných plochých ocelí třídy 11. (1)

Analytické řešení odpružení úhlu β při ohýbání do tvaru „V“ nebo „U“

Pro přibližný výpočet úhlu odpružení β pro ohyb „V“ a „U“ lze použít následující vztahy:

$$\text{ohýbání do tvaru „V“} \quad \operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.13)$$

$$\text{ohýbání do tvaru „U“} \quad \operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.14)$$

kde	β	úhel odpružení [°]
	l	vzdálenost ohýbacích hran [mm] (viz obr. 2. 12. a)
	l_m	rameno ohybu $\rightarrow l_m = r_m + r_p + 1,2t$ (viz obr. 2. 12. b)
	E	modul pružnosti v tahu [MPa]
	k	součinitel [-] (viz. tabulka 2. 3)
	R_e	mez kluzu [MPa]
	r_m	poloměr ohybnice [mm]
	r_p	poloměr ohybníku [mm]
	t	tloušťka plechu [mm]

Tab. 2.3 Hodnoty součinitele k pro výpočet úhlu odpružení [7]

Poměr $\frac{r}{t}$	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

Při ohýbání s kalibrací závisí odpružení nejen na mechanických vlastnostech materiálu a poměru $\frac{r}{t}$, ale také na velikosti tlaku, který vzniká na konci pracovního zdvihu, na seřízení lisu, na toleranci ohýbaného materiálu, na vůli mezi funkčními částmi ohýbadla, konstrukčním řešením nástroje apod. V některých případech, kdy je poměr $\frac{r}{t}$ malý (kolem 0,2 ÷ 0,3) a kalibrace je prováděna na konci pracovního zdvihu, může být úhel pružení i záporný.

U součástí s velkým poloměrem ohybu, kdy $\frac{r}{t} > 20$, je pružení značné a dá se přibližně určit ze vztahu.(7)

$$\beta = (180 - \alpha) \cdot \left(\frac{R}{r_p} - 1 \right) \quad (2.15)$$

kde r_p poměr pohyblivé čelisti s ohledem na pružení: $r_p = \frac{1}{\frac{1}{R} + 3 \cdot \frac{R_e}{E \cdot t}}$

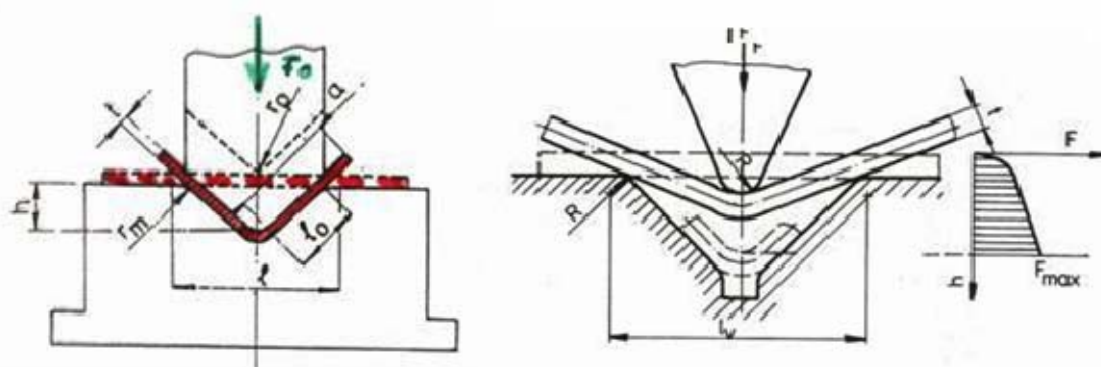
Odpružení je možno eliminovat změnou úhlu ohybu o příslušnou hodnotu odpružení, zpevněním materiálu v místě ohybu, vyztužením vylisovanými žebry apod.

Jsou-li kladeny požadavky na přesnost dodržení úhlu ohybu, je nutno pružení před zahájením sériové výroby vyzkoušet a podle výsledků zkoušek ohýbadlo upravit.

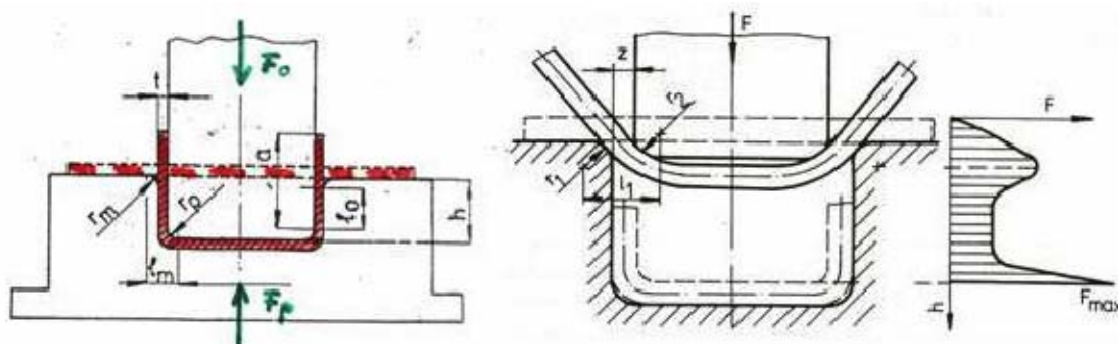
2.2.5 Stanovení ohýbací síly a práce

Ohýbací síla a práce jsou jedním ze základních parametrů, které ovlivňují volbu výrobního stroje.

Norma ČSN 22 7340 uvádí dva základní způsoby ohýbání do tvaru „V“ a do tvaru „U“. Na obr. 2. 12. jsou oba způsoby znázorněny schematicky spolu s průběhem ohýbací síly. Obecný průběh ohýbací síly v závislosti na pohybu pohyblivé čelisti ukazuje také obr. 2. 13. Ve fázi deformace pružná síla narůstá a je překonán odpor proti plastickým deformacím, další nárůst síly je při doohnutí a kalibrování součástí.



a)



b)

Obr. 2. 12. Schematické znázornění ohýbání do tvaru „V“ a „U“(11)

Stanovení ohýbací síly podle literatury (7) :

$$F_0 = \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{l \cdot 100} \quad \text{do tvaru „V“} \quad (2.16)$$

$$F_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{100} \quad \text{do tvaru „U“} \quad (2.17)$$

kde F_0 ohýbací síla [N]
 R_m mez pevnosti v tahu ohýbaného materiálu [MPa]
 b šířka ohýbané součásti [mm]
 t tloušťka ohýbané součásti [mm]
 l vzdálenost podpor [mm]

Dle literatury (1) se ohýbací síla stanoví tak, že ohýbaný polotovár se považuje za nosník spočívající na dvou podporách ve vzdálenosti l zatíženého uprostřed silou F_0 . Ohýbací síla se zvětší třením polotovaru o funkční části ohýbadla až o $0,3 \cdot F_0$.

Ohybový moment se vypočítá dle vztahu:

$$M_o = \frac{F_o \cdot l}{4} = W_o \cdot R_e \cdot (1,3 + 0,8\varepsilon) \quad (2.1)$$

$$M_o = \frac{b \cdot t^2}{4} \cdot R_e \cdot (1,3 + 0,8\varepsilon) \quad \text{pro úzké tyče}$$

$$M_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot t^2}{4} \cdot R_e \quad \text{pro plechy}$$

Ohýbací síla pro obdélníkový průřez:

$$F_0 = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot l} \quad (2.19)$$

kde W_0 modul odporu průřezu v ohybu [mm⁴]
 R_e napětí na mezi plastické deformace [MPa]
 ε mezní (max.) poměrné přetvoření krajních tahových vláken [mm]
 b šířka materiálu [mm]
 l vzdálenost podpor ohýbadla [mm]

Dojde-li současně při ohýbání ke kalibrování polotovaru je třeba ještě přičíst kalibrovací sílu.

$$F_k = S \cdot p \quad (2.20)$$

kde S kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku v [mm²]
 p měrný tlak pro kalibrování [MPa] (viz tab. 2.4)
 r_p poloměr ohybníku [mm]

Kalibrovaná plocha S pro ohyb do tvaru „V“ podle normy ČSN 22 7340 se stanoví podle vzorce:

$$S = b \cdot [l - \sqrt{2} \cdot (r_p + t)] \quad (2.21)$$

Tab. 2.4 Přehled velikostí měrných tlaků k vyrovnání výlisku z různých materiálů (7)

Materiál		t < 3 mm	t = (3 ÷ 10) mm
		p [MPa]	
Hliník		30 ÷ 40	50 ÷ 60
Mosaz		60 ÷ 80	80 ÷ 100
Ocel	$R_m < 440$ MPa	80 ÷ 100	100 ÷ 120
	$R_m > 440$ MPa	100 ÷ 120	120 ÷ 150

Celková ohýbací síla potom bude:

$$F_c = F_0 + F_k + F_p \quad (2.22)$$

kde F_p síla přidržovače [N]

Ohýbací práce pro ohyb „V“ se určí podle vztahu z literatury (7):

$$A_0 = m \cdot F_c \cdot h \cdot 10^{-3} \quad (2.23)$$

Ohýbací práce pro ohyb s přidržovačem:

$$A_0 = \frac{m \cdot (F_0 + F_p) \cdot h}{1000} \quad (2.24)$$

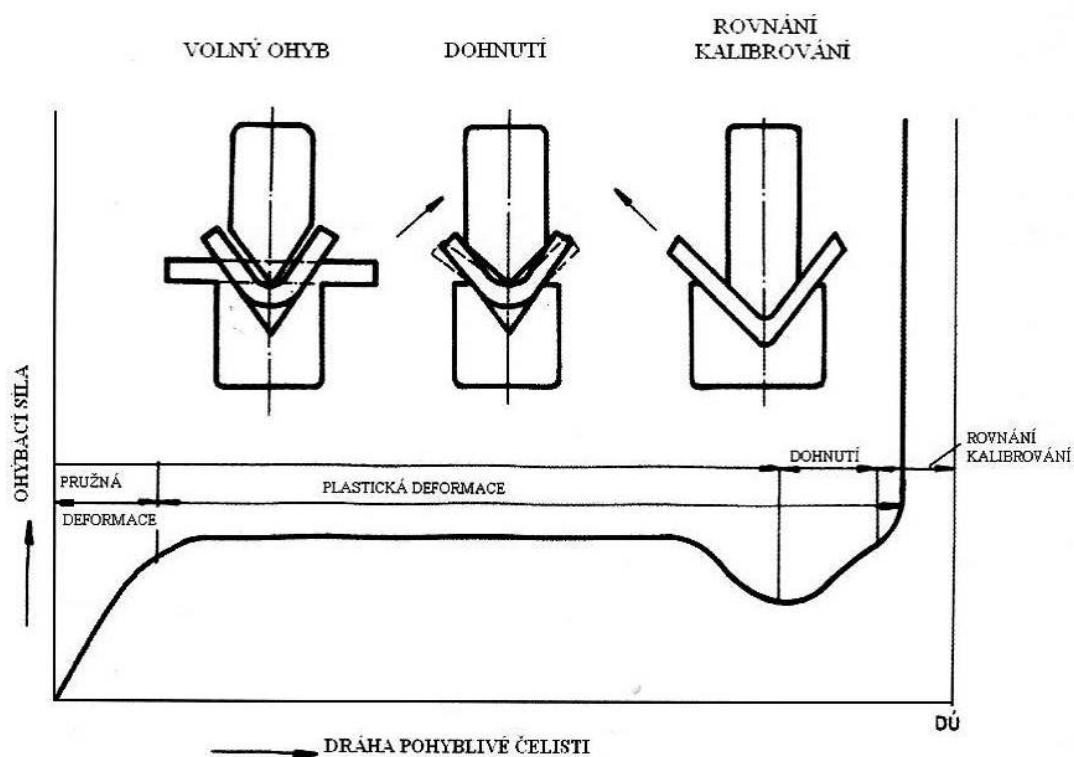
kde m součinitel respektující průběh síly [-] viz obr. 2.13.

$$m = \frac{1}{3} \text{ pro ohyb do tvaru „V“}$$

$$m = \frac{1}{3} \text{ pro ohyb do tvaru „U“}$$

h pracovní zdvih ohýbadla [mm]
 F_p síla přidržovače [N]

Skutečná ohýbací síla však bude, se zřetelem na současné rovnání a kalibrování výlisku, větší. Každá literatura udává jinou hodnotu předdimenzování ohýbací síly, a proto při výpočtech je limitována dvojnásobkem síly vypočtené.



Obr. 2. 13. Průběh ohýbací síly v závislosti na dráze ohýbníku (1)

2.2.6 Volba materiálu pro ohýbání

Pro ohýbání je třeba obecně zvolit materiály tvárné, aby probíhala deformace při ohýbání již při nízkém napětí. Požaduje se také nižší mez kluzu. U těchto materiálů lze jejich plastické vlastnosti určit z poměru $\frac{R_e}{R_m}$, přičemž platí: čím je tento poměr menší,

tím materiál méně odpružuje a dá se lehce tvářet. V praxi se tento poměr pohybuje od (60 ÷ 70) %. Při výběru materiálu rozhodují také jeho plastické vlastnosti v celém tvářeném objemu, vyhovující tloušťková tolerance a minimální sklon ke stárnutí.

Na základě požadavků firmy, pro kterou je profil vyráběn, je hlavní požadavek zaručená svařitelnost. Po zvážení všech předchozích předpokladů je vybrán materiál z oceli ČSN 41 1375, označení materiálu 11 375 (viz kap. 5.2.1).

2.2.7 Technologičnost konstrukce součásti

Technologičnost konstrukce je souhrn konstrukčních prvků zaručujících nejjednodušší a nejehospodárnější výrobu při daném stupni sériovosti, přičemž je nutno dodržet všechny technické a provozní požadavky kladené na součást.

Hlavní ukazatele technologičnosti součásti lisovaných za studena jsou:

- nízká spotřeba materiálu
- co nejmenší počet a pracnost operací
- vysoká produktivita jednotlivých operací
- dlouhá životnost lisovacích nástrojů.

2.3 Konstrukce ohybové matrice (formy)

Před samotnou konstrukcí nástroje je důležité si uvědomit a respektovat zásady, které jsou uvedeny v následujících kapitolách.

2.3.1 Zásady technické

- a) Ochranné prvky nástroje - musí být řešeny tak, aby bylo zabráněno vsunutí prstů nebo ruky, popř. oděvu do funkčního prostoru nástroje. Není-li to možné dodržet, musí být nástroj vybaven kryty nebo jinými zábranami. Pokud není konstrukce v souladu s normou ČSN 20 0775, která zaručuje, že nástroj je bezpečný, musí být na přední straně základové desky označen 2 cm širokým pruhem oranžové barvy a výrazným písmenem N.
- b) Vytvořitelnost nástroje - ovlivňuje druh použitého materiálu, jeho mechanické vlastnosti, způsob tepelného zpracování, charakter funkčních ploch a jejich členitost, drsnost, rozměry a přesnost.
- c) Snadná montáž a vyměnitelnost dílců.
- d) Životnost nástroje a trvanlivost funkčních částí.
- e) Cena nástroje (materiál + výrobní náklady) (7)

2.3.2 Funkční části ohýbadel

Ohýbací čelist pohyblivá (ohybník) – je opatřena stopkou, která je zajištěna proti pootočení. U malých nástrojů může být stopka s čelistí z jednoho kusu. Šířka pohyblivé čelisti (ohybníku) musí být nejméně taková, jako je šířka ohýbané součásti. Ohýbací hrany jsou kaleny a leštěny. Poloměr zaoblení ohybníku r_p je totožný s poloměrem ohybu ohýbané součásti, příp. je upraven na úhel odpružení. Pro úsporu legovaných ocelí se používá, buď kalených vložek, nebo vložek ze slinutých karbidů.

Sloupkové vedení se používá jen u nástrojů přesných a při velkých sériích. Nesmí se v něm však zachycovat vnější posuvné síly, které musí být eliminovány vhodnou konstrukcí nástroje. Běžný ohýbací nástroj vedení nemá.

Ohýbací čelist pevná (ohybnice) – je spodní část ohýbacího nástroje. Poloměr zaoblení činné části pevné čelisti r_m ovlivňuje velikost ohýbací síly a jakost ohybu. Volí se v rozmezí $r_m = (2 \div 6) \cdot t$. Doporučené velikosti zaoblení a hloubky pevné

čelisti v závislosti na tloušťce materiálu a délce ramene součásti jsou uvedeny v tab. 2.5.

U plechů při $t > 3$ mm je výhodnější srazit hrany pod úhlem 45° , přechody zaoblit poloměrem r_m . Výška sražené hrany má přibližně odpovídat poloměru, kterým je hrana zaoblena. Sražené náběhové hrany se dají použít při dostatečně dlouhých ramenech. Nestejné poloměry náběhových hran způsobují nestejně dlouhá ramena výlisku, není-li zabráněno posuvu materiálu při ohýbání. Materiál klouže směrem k menšímu poloměru ohýbací hrany. Při ohýbání součástí nestejně široky klouže součást směrem k větší šířce. Na nestejně dlouhá ramena součásti mají dále vliv nepřesné střední plochy ohýbací hrany, nepřesně upnutý nástroj nebo velká vůle ve vedení beranu. (7)

Tab. 2.5 Zaoblění a hloubka pevné čelisti (označení podle obr. 2. 12.) (7)

Délka ramene a [mm]	Tloušťka materiálu t [mm]											
	do 0,5			0,5 až 2			2 až 4			4 až 7		
	l_0	r_m	c_1	l_0	r_m	c_1	l_0	r_m	c_1	l_0	r_m	c_1
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08	-	-	-
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1	30	10	0,08
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1	35	12	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1	40	15	0,1
150	-	-	-	35	12	0,2	40	15	0,15	50	20	0,1
200	-	-	-	45	15	0,2	55	20	0,15	65	25	0,15

2.3.3 Vůle mezi činnými částmi ohýbadel

Technologická vůle mezi čelistmi ohýbadla se může značně lišit v závislosti na druhu ohýbadla. Je možné provádět ohyb, buď pod určitým úhlem nebo poloměrem, nebo ohyb rovnoběžně se směrem pohybu ohybníku. Tento druhý případ je v praxi mnohem častější. Pro materiály, jejichž tloušťka nepřesahuje 3 mm, platí, že mezera mezi částmi ohýbadla bude rovna jmenovité tloušťce materiálu. To však platí pro výlisky, které mají výšku svislé stěny větší nebo rovnou trojnásobku tloušťky plechu. Pro výlisky s tloušťkou plechu větší než 3 mm se doporučuje volit velikost mezery rovnou maximální tloušťce t_{max} . (9)

Obecný vztah pro vůli mezi činnými částmi ohýbadel:

$$v = (t \div t_{max}) + c \cdot t \quad (2.24)$$

kde v - vůle mezi ohybníkem a ohybnicí na jedné straně [mm]
 t - jmenovitá tloušťka materiálu [mm]
 t_{\max} - maximální tloušťka materiálu, tj. jmenovitá tloušťka + horní úchyłka [mm]
 c_1 - součinitel, vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o ohybnici s ohledem na délku ramene [-] (viz tab. 2.8).

Pro přibližné stanovení vůle platí – u barevných kovů: $v = (1,0 \div 1,1) \cdot t$
 – u ocelí: $v = (1,05 \div 1,15) \cdot t$.

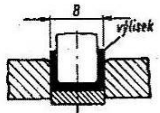
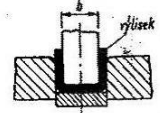
Vůle se vytváří vždy na úkor té části, kde není vyznačena přesnost rozměru součásti. Čím je vůle menší, tím větší je ohýbací síla. Při malých vůlech se mohou ohnuté okraje výlisku ztenčit. Při ohýbání do tvaru „U“ má vůle vliv i na velikost odpružení ohýbaného materiálu. (7)

2.3.4 Jakost a přesnost ohýbaných součástí

Jakost povrchu výlisku při ohýbání závisí na jakosti povrchu výchozího materiálu, geometrii ohýbací čelisti, vůli mezi čelistmi různé tloušťce výchozího materiálu, způsobu mazání a drsnosti povrchu ohýbaného materiálu.

Jednotlivé vzorce, podle kterých lze stanovit tolerance pracovních částí ohýbadel pro různé způsoby předepsání tolerance výlisku, jsou uvedeny v tabulce 2. 6.

Tab. 2.6 Vzorce ke stanovení pracovních částí ohýbadel pro různé způsoby předepsání tolerance výlisku (5)

Schéma operace	Způsob předepsání tolerance výlisku	Základní nástroj	Vzorce k stanovení rozměrů pracovních částí ohýbadel
			s přídatkem na opotřebení $P_o = 0,8P_u$
	$B - U_s$	Pevná čelist	$B_c = (B - 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B - \frac{U_h}{U_s}$		$B_c = (B - 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B + \frac{U_h}{U_s}$		$B_c = (B + 0,2U_h + 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B + \frac{U_h}{U_s}$		$B_c = (B + 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B \pm U$		$B_c = B^{+p_c}$
			$P_o = 0,2P_u$
	$b - U_h$	Pohyblivá čelist	$b_c = (b + 0,2U_h)_{-p_c}$
	$b + \frac{U_h}{U_s}$		$b_c = (b + 0,2U_h + 0,8U_s)_{-p_c}$
	$b + \frac{U_h}{U_s}$		$b_c = (b + 0,2U_h - 0,8U_s)_{-p_c}$
	$b \pm U$		$b_c = b_{-p_c}$

Kde v tab. 2. 9 znamená:

b, B jmenovitý rozměr šířky ohybu [mm]

U_h	horní úchylka [mm]
U_s	dolní úchylka [mm]
p_{ϵ}	dovolená úchylka na zhotovení pevné / pohyblivé čelisti [mm]
B_{ϵ}	šířka pevné čelisti [mm]
B_{ϵ}	šířka pohyblivé čelisti [mm]

Výchozím předpokladem pro kvalitní výlisek je správné určení materiálu a konstrukce nástroje vzhledem k předpokládané funkci výrobku a výrobní dávce. Je také třeba stanovit nejdůležitější parametry ohýbání – přesnost, odpružení, poloměr ohybu a jakost povrchu.(9)

Přesnost při ohýbání v ohýbadlech závisí na mnoha činitelích, jako jsou:

- tvár a rozměry ohýbaného výlisku
- stejnorodost mechanických vlastností výchozího materiálu
- nestejná tloušťka ohýbaného materiálu
- počet ohybů (na kolik operací se bude prvek ohýbat)
- druh a přesnost použitého ohýbadla
- zařazení kalibrování po ohýbání
- přesnost ustavení ohýbadla na pracovním stroji.

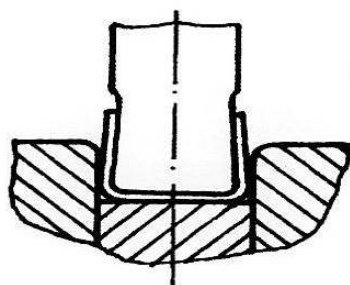
Tolerance výlisků zhotovených ohýbáním může být různě předepsaná. Pevné čelisti jsou vystaveny většímu opotřebení než pohyblivé čelisti, proto se pro ně doporučuje volit optimální přídavek na jejich opotřebení $P_0 = 0,8 \cdot P_u$ (P_u je úchylka ohýbaného tvaru). Pro pohyblivé čelisti je vhodné volit optimální přídavek $P_0 = 0,2 \cdot P_u$.

2.3.5 Eliminace odpružení vhodnou konstrukcí funkčních částí ohýbadla

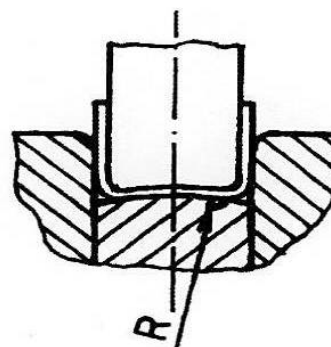
Přestane-li na ohýbanou součást působit ohýbací síla, projevuje se snaha materiálu vrátit se do původního stavu. Toto se projeví zvětšením úhlu otevření mezi ohnutými rameny polotovaru a zvětšením ohýbaného rádiusu.

Tyto změny lze eliminovat následujícími způsoby viz obr. 2. 14:

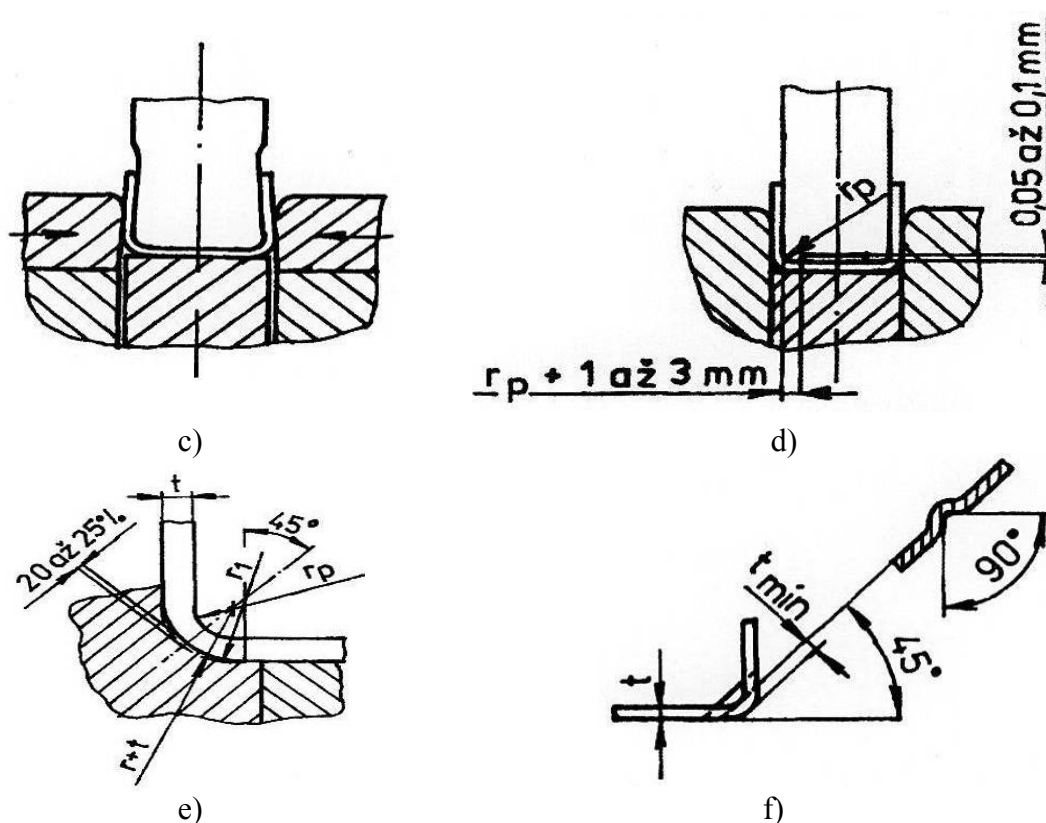
- zkosením ohybníku o úhel odpružení β , jak udává kapitola 2. 2. 4.
- zaoblením ohybníku a přídržovače
- kalibrováním bočními čelistmi
- ztenčením materiálu v rozích v blízkosti ohybu
- vylisováním výztužných žebér v místě ohybu
- zpevněním materiálu deformačním rádiusem (ztenčením materiálu v místě ohybu o (20 ÷ 25) % úpravou rádiusu ($r + t$) na r_1)



a)



b)



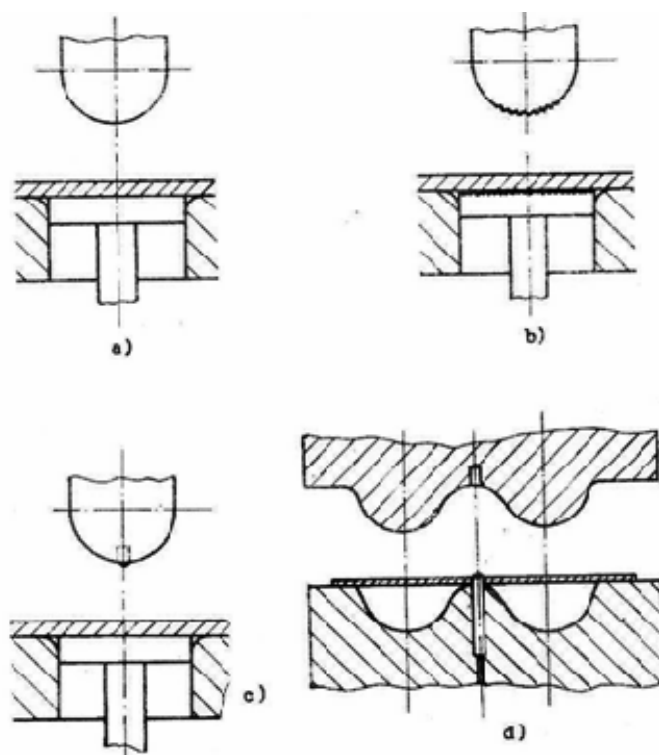
Obr. 2. 14. Eliminace odpružení vhodnou konstrukcí funkčních částí ohýbadla (10)

2.3.6 Zamezení posuvu materiálu při ohýbání

Během ohýbání nesymetrických ohybů může docházet k posuvu materiálu k jedné straně pevné čelisti a tím vzniká nepřesný ohyb.

Níže jsou uvedeny vybrané způsoby zamezení posunutí ohýbaného materiálu: (7)

- silným tlakem přidržovače (obr. 2. 15. a)
- zdrsněním povrchu ohybníku případně přidržovače (obr. 2. 15. b)
- zalisováním kalených špiček do ohybníku nebo do přidržovače, které se při ohýbání zaryjí do ohýbaného materiálu (obr. 2. 15. c)
- zajištění ohýbané součásti jedním nebo více kolíky, které jsou pevně nebo pružně uloženy v některé z funkčních částí ohýbadla a drží ohýbanou součást proti posunutí za vystřížený otvor (obr. 2. 15. d)



Obr. 2. 15. Schéma zamezení posunutí polotovaru.(7)

2.3.7 Přidržovače

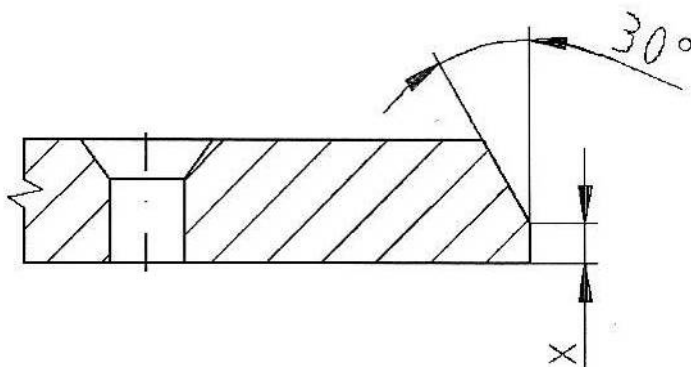
Přidržovače se používají u těch ohýbadel, kde se výlisek během ohýbání zvedá a oddálí od zakládacích dorazů, a tím může nastat nežádoucí sklouznutí ohýbané součásti. Přidržovač bývá ovládán pružinami, které jsou součástí ohýbadla nebo vzduchovým či pružinovým přidržovačem, který je přídavným technologickým zařízením lisu. Přidržovač zpravidla současně zastává funkci vyhazovače. (7)

2.3.8 Zakládací dorazy

Zakládací doraz musí zaručit správné založení polotovaru před ohybem. Tvar zakládacího dorazu nesmí překážet funkci ohýbadla. K usnadnění zakládání polotovaru bývají hrany zešikmeny pod úhlem 30° . Výška zakládací plochy X se má rovnat tloušťce ohýbaného polotovaru.

Zakládací dorazy se dělí na:

- doraz vytvořený zafrézováním do pevné čelisti
- doraz s tvarovou příložkou
- kolíkový doraz
- kolíkový pružící doraz



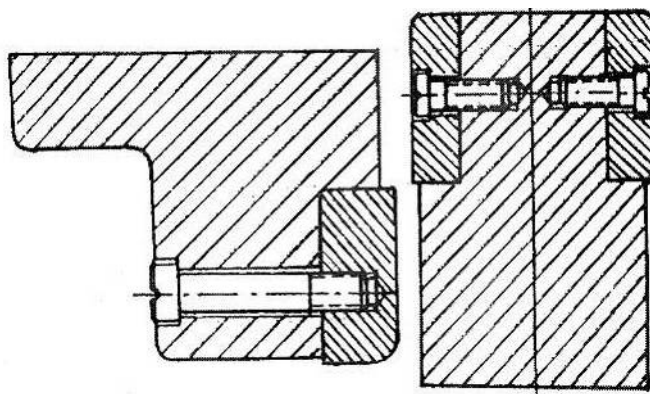
Obr.2. 16. Schéma zakládacího dorazu.(7)

2.3.9 Volba materiálu ohýbacích nástrojů (ohybík, ohybnice)

Materiál je jedním z hlavních ukazatelů technologičnosti vylisku. Je tedy třeba volit materiál splňující dvě základní podmínky.

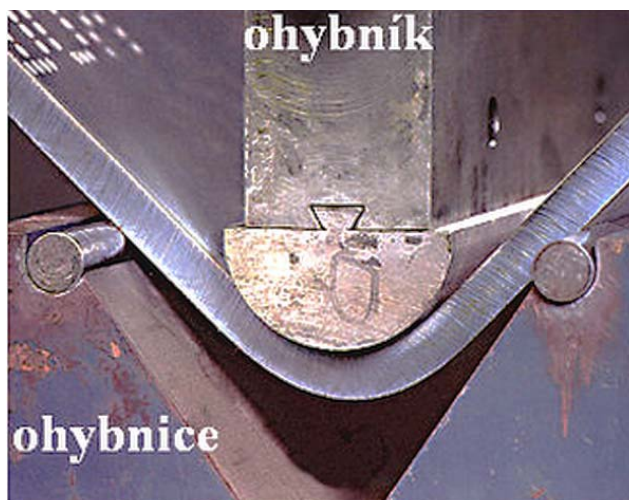
- zachování konstrukční a technologické funkce (z hlediska pevnosti a jakosti povrchu).
- nejnižší pořizovací náklady.

Ohýbací proces probíhá mezi dvěma činnými částmi nástroje - ohybníkem a ohybnicí. Ty se vyrábí, buď celistvé, nebo dělené. Pro případy rozměrnějších ohybů z hlediska úspory materiálu a menší tvarově složité ohyby se dělají ohybníky vložkované, viz obr. 2. 17.



Obr. 2. 17. Vložkované ohybníky (7)

Ohybnice se dělají rovněž celistvé (u ohranovacích lisů při ohybu do „V“) nebo skládané, bez nebo s vyhazovači, popř. s přidržovači. Zvláštní skupinu tvoří ohybnice nepevné, u nichž se ohýbání provádí pevným ohybníkem proti nepevné ohybnici, vytvořené plastickou hmotou (polyuretanem nebo pryží). Tvar a objem plastické hmoty, popř. celá konstrukce ohybnice je závislá na jiných zásadách než u klasických ohybnic. (7)



Obr 2. 18. Ohýbací nástroj (11)

Vzhledem k tomu, že na opotřebení (vydírání) je více namáhaná nepohyblivá část (ohýbnice), provádí se v praxi častěji vložkování ohýbnice (viz obr. 2. 18.).

Ohýbníky a ohýbnice se konstruují, buď z uhlíkové oceli ČSN 11 500, 11 600, nebo z ocelí uhlíkových nástrojových, z nichž se nejčastěji vytváří vložky, nebo celé nástroje.

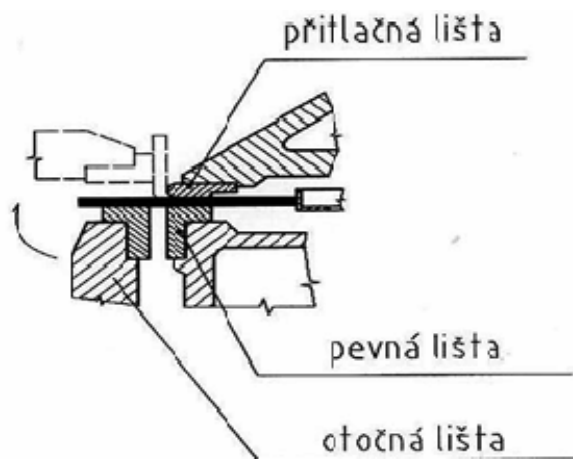
2.4 Stroje a nástroje pro ohýbání a stříhání

Stroje resp. zařízení používaná při ohýbání jsou různá a používají se podle způsobu a zejména s přihlédnutím k velikosti a množství ohýbaných součástí. Patří k nim (1):

- ohýbačky
- ohýbací lisy
- ohraňovací lisy

2.4.1 Ohýbačky

Ohýbačky se používají k ohýbání rozměrnějších součástí např. do 4 m délky. Konstrukčně jsou provedeny s ručním, mechanickým, hydraulickým pohonem příp. s pohonem ohýbací lišty programově řízeným. Princip funkce ohýbačky znázorňuje obr. 2. 18.(1)

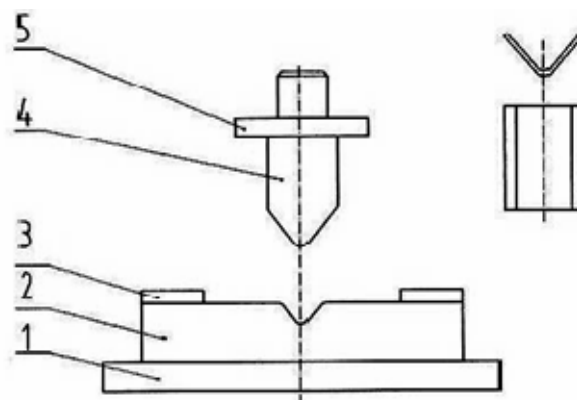


Obr. 2. 19. Princip funkce ohýbačky (1)

2.4.2 Ohýbací lisy

Ohýbání se provádí na lisech v ohýbacím nástroji, ohýbadle, u kterého pohyblivá čelist vykonává přímočaré vratné pohyby. Toto ohýbání se provádí na mechanických nebo hydraulických lisech, nebo na speciálních strojích, což je závislé na vlastním technologickém procesu. Ohýbadla pro aplikaci na lis se stavějí, v porovnání s ostatními nástroji, dosti jednoduchá, často nemívají ani vlastní vedení. (11) Příklad jednoduchého ohýbadla bez vedení a vyhazovače je uveden na obr. 2. 19.

- 1 - základová deska
- 2 - ohybnice
- 3 - zakládací doraz
- 4 - ohybník
- 5 - destička pro zvětšení dosedací plochy



Obr. 2. 20. Jednoduché ohýbadlo (1)



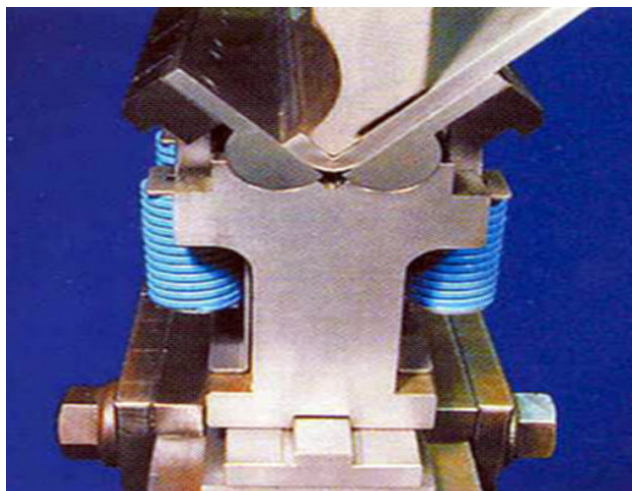
Obr. 2. 21. Mechanický lis (11)



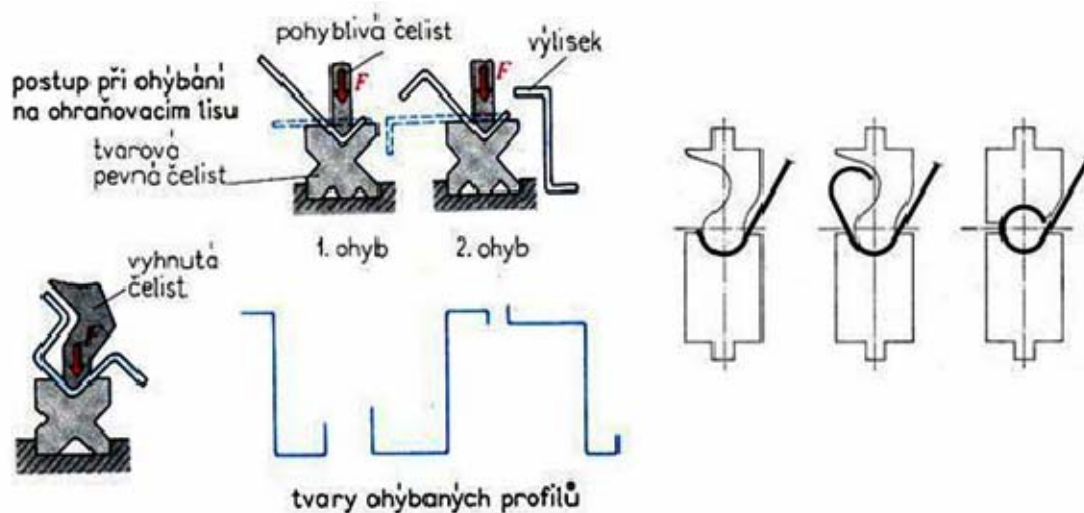
Obr. 2. 22. Hydraulický lis (11)

2.4.3 Ohraňovací lisy

Ohraňovací lisy jsou v podstatě mechanické lisy a jsou určeny ke tvarování rozměrnějších polotovarů v délce např. (6 ÷ 8) m. Způsob práce je podobný jako v nástrojích u mechanických lisů. Nástroje jsou však jednodušší a mají univerzálnější použití. Součást s více různými ohyby je zhotovena postupně v technologickém sledu operací, kdy dochází k otáčení spodní lišty mezi jednotlivými operacemi nebo jsou lišty vyměňovány.



Obr. 2. 23. Detail ohybu ohraňovacím lisem (11)



Obr. 2. 24. Příklady technologie ohraňování (11)

Technologie ohýbání nekonvenčním způsobem

Ohýbání v nepevných nástrojích se provádí většinou na ohraňovacích lisech. V tomto případě je pevná čelist opatřena pryžovou nebo polyuretanovou vložkou zasazenou do tělesa čelisti. Proces ohýbání je u těchto nástrojů odlišný od ohýbání v pevných nástrojích. Velikost tlaku q_k v plastické vložce a tím i přesnost ohybu je dána poměrem objemu vložky a vzniklé části nástroje. Největší tlak q_k je na čele ohybníku, a proto se ohybová hrana tvaruje dříve než u pevných nástrojů, což nahrazuje kalibraci ohybové hrany. Ke kalibraci přispívá i napětí vzniklé relativním pohybem nepevné vložky, kolmo na ohybovou hranu, ven z nástroje. Ohýbání v nepevných nástrojích se používá pro ohyb tenkých plechů podobně jako u stříhání. Pro snížení nebezpečí poškození vložky se těleso čelisti odlehčuje.

2.5 Dělení materiálu

V technologii tváření se používají různé polotovary, např. tyčový materiál, svitky, tabule, apod., které se dělí na přesnou hmotnost, resp. na požadovaný rozměr. Dělení materiálu má vliv i na kvalitu výrobku, a to kvalitou plochy v místě dělení. Z hlediska dělení materiálu můžeme používat následující způsoby: řezání, upichování, lámání, sekání, stříhání.

- **Dělení řezáním**

Materiál se může dělit řezáním na okružních, rámových nebo pásových pilách. Při řezání se část materiálu ztrácí ve formě třísek (nejde o tváření) a hmotnost odpadu závisí na šířce pily. Řezat materiál lze jen do určité tvrdosti, jinak se musí předem vyžít. Řezáním lze zajistit hladký řez a přesnou hmotnost řezaného polotovaru a kolmost řezu, což je u některých technologiích dělení problematické.

- **Dělení upichováním**

Používá se poměrně zřídka, neboť to je drahý způsob dělení materiálu, který se provádí na upichovacích automatech nebo univerzálních soustruzích. Ztráty materiálu jsou poměrně značné, na druhé straně lze získat velmi hladké plochy. Používá se pro přesné rozměry polotovarů (např. pro protlačování), nedochází ke stlačení.

- **Dělení lámáním**

K lámání se používají speciální lámací stroje. Před lámáním se polotovar nahřívá kyslíko-acetylenovým plamene v místě, kde dojde k ulomení. Tím se vytvoří vrub a zmenší se plocha průřezu. Lámáním nelze dělit měkké materiály, které by se pouze ohnuly. Mez pevnosti musí být vyšší, jak 600 MPa. Nevýhodou je i nízká kvalita lomové plochy, možnost vzniku trhlin a jejich šíření do materiálu. Používá se hlavně pro přípravu polotovarů pro tváření za tepla.

- **Dělení sekáním**

Používá se převážně k dělení materiálu určeného pro volné kování. Nástrojem je sekáč, který můžeme používat, buď ručně, nebo pomocí stroje, např. bucharu. Nevýhodou je nízká produktivita, nerovná plocha se záseky, vysoká fyzická námaha. Nejčastěji se používá jako doplňková operace při odsekávání přebytečného materiálu na konci výkovku.

- **Dělení stříháním**

Stříhání je nejrozšířenější operace při dělení materiálu, řadí se do technologie plošného tváření. Používá se na:

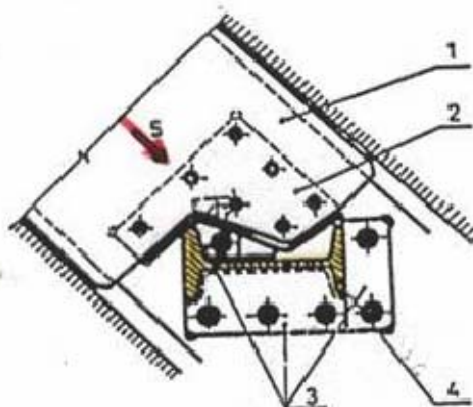
- přípravu polotovarů, např. stříhání tabulí plechu, dělení sviteků, stříhání profilů, stříhání vývalků, atd.,
- vystřihování součástek z plechů pro přímé použití nebo jako polotovarů pro další technologie, jako ohýbání, tažení, protlačování, apod.,
- na dokončovací nebo pomocné operace.

Dělit materiál stříháním můžeme za tepla i za studena. Za studena se stříhají pouze měkké oceli do pevnosti zhruba 400 MPa a nebo plechy. Tvrdé materiály se ohřívají na teplotu asi 700 °C. Materiál se může dělit stříháním rovnoběžnými noži, skloněnými noži a nebo kotoučovými noži, resp. noži na profilový materiál. Dělit materiál můžeme, jak v podélném směru, tak i v příčném směru.

2.5.1 Stříhání noži na profily a tyče, trubky

Tímto způsobem se často stříhá profilový materiál - čtvercový, kruhový, profily, atd. Zatímco příčný průřez funkčních částí nástrojů zůstává ve všech případech zhruba beze změny, mění se podélný tvar podle účelu stříhu.

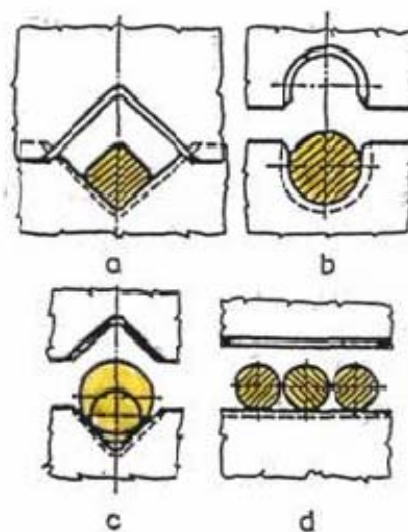
- 1 – střížník
- 2 – pohyblivý nůž
- 3 – pevný nůž
- 4 – stříhaný profil
- 5 – směr pohybu nože



Obr. 2. 24. Nože na stříhání profilu (11)

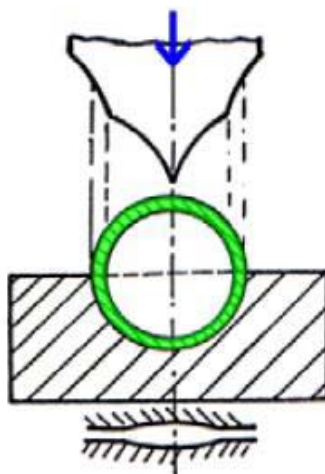
Při stříhání jakéhokoliv profilového materiálu platí zásada, aby přestřihovaná tloušťka v každém okamžiku byla téměř stále stejná. Této zásadě se potom přizpůsobuje obrys pohyblivého nože. Na obrázku je ukázán tvar nože pro stříhání profilů a tvar nožů určený, jednak pro stříhání čtvercových profilů, jednak tvar nožů pro stříhání kulatiny. Při šikmém posuvu pohyblivé části nástroje se docílí rovnoměrnějšího průběhu střížné síly v závislosti na zdvihu, než kdyby se volil pohyb nože podle některé z os průřezu.

- a – čtvercový průřez
 b – kruhový průřez
 c – kruhový průřez s rozdílným průměrem
 d – kruhový průřez s povolenou deformací profilu



Obr. 2. 25. Nože na stříhání čtvercových a kruhových profilů (11)

Při stříhání trubek, při jejich pokud možno minimálním zdeformování, má pohyblivá část nástroje tvar oblouků zakončených špičkou viz obr. 2. 26. Zašpičatělá část nejprve trubku propíchně, boky potom trubku stříhají tak, že výslednice sil na břitu směřuje kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Střížná mezera není rovněž po celé délce stejná, od krajů směrem ke středu roste. (11)



Obr. 2. 26. Stříhání trubek (11)

3 LITERÁRNÍ STUDIE TVÁŘECÍCH STROJŮ

Při volbě tvářecího stroje je rozhodující počet vyráběných kusů, rozměry součásti a potřebné tvářecí síly. Pro běžné práce za studena se mohou použít univerzální tvářecí stroje, jako jsou: výstředníkové jednočinné lisovací stroje se stavitelným zdvihem beranu, klikové lisovací stroje, ohraňovací lisovací stroje. Nebo jednoúčelové stroje uzpůsobené pro určitý způsob stříhání – nůžky na plech, vysekávací lisovací stroje na plech, děrovací lisovací stroje.

Mimo „klasických“ lisovacích strojů jsou vyráběny a sestavovány do linek také vystřihovací automaty.

Při snaze mechanizovat či automatizovat stříhání nebo lisování je pozornost soustředěna na tuto problematiku:

- podávání polotovaru (pásu, svitku)
- odstraňování výlisku a odpadu z nástroje
- ustředění výlisku
- zastavení operace v případě nedodržení rozměrů, vzniku zmetků či poruchy

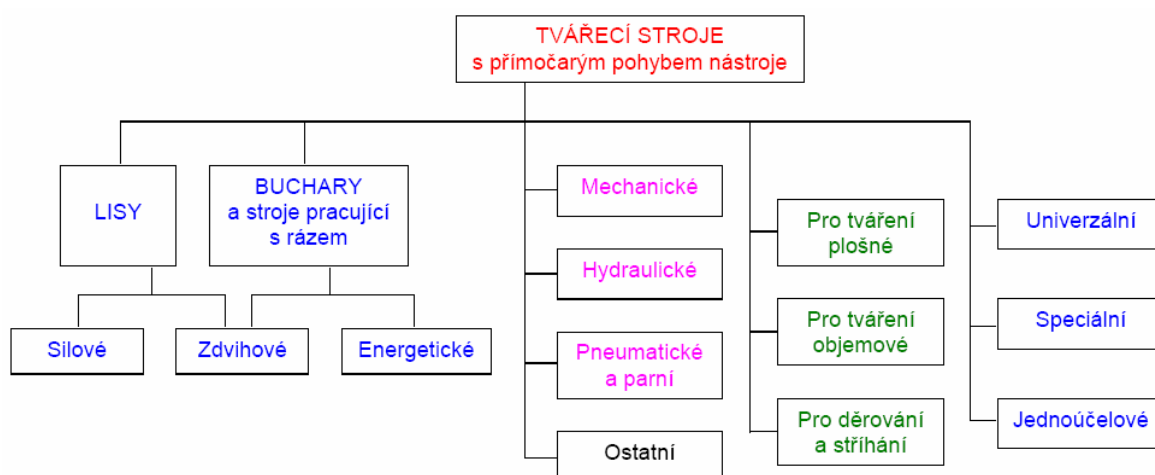
Při výběru stroje je nutno uvažovat ekonomicky, snažit se využít stávající zařízení, které je k dispozici a pokud je nutno pořizovat nový stroj, má být budoucí výroba na něm prováděná tak objemná, aby byl co nejvíce využit. (12), (13)

3.1 Rozdělení tvářecích strojů

Podle druhů relativního pohybu nástroje k tvářenému materiálu se tvářecí stroje dělí na:

- stroje s přímočarým pohybem nástroje
- stroje s rotačním nebo obecným pohybem nástroje

Nejvíce jsou rozšířeny stroje s přímočarým pohybem nástroje.



Obr. 3. 1. Základní třídění tvářecích strojů s přímočarým pohybem nástroje (12)

Podle druhů hlavní formy využití energie lze tvářecí stroje rozdělit do tří skupin:

a) Tvářecí stroje silové

Tyto stroje k překonání deformačního odporu tvářeného materiálu využívají převážně energii potenciální při rychlosti beranu menší než asi $v = 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Typickým představitelem těchto tvářecích strojů je hydraulický lis, u kterého síla na beranu F je konstantní a nezávislá na dráze beranu h . Tvářecí dráha nástroje s , tj. plastická deformace tvářeného tělesa je omezena silou F na beranu.

Základním parametrem silového tvářecího stroje je síla F na beranu.

b) Tvářecí stroje energetické

K překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu využívají převážně energii kinetickou – energie volného pádu při rychlosti beranu $v = (4 \div 8) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Typickým představitelem této skupiny je padací buchar.

Základním parametrem energetických strojů je kinetická energie.

c) Tvářecí stroje zdvihové

K překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu využívají obou základních forem energie, tj. energie potenciální i kinetické. Typickým představitelem této skupiny je klikový lis, u kterého síla F na beranu a rychlost beranu je funkcí dráhy h .

Základními parametry zdvihového tvářecího stroje jsou jmenovitá síla F_j a dráha h , na které může tato síla působit. (12), (13)

3.2 Tuhost tvářecích strojů

Kriteriem pro volbu rozměrů a tvarů většiny součástí tvářecích strojů je jejich největší dovolená pružná deformace.

Měřítkem odolnosti proti pružným deformacím je tzv. tuhost, která je definovaná jako poměr mezi zatížením a přetvořením v místě zatížení. Rozeznávají se různé druhy tuhosti – tuhost statická nebo dynamická, tuhost v posunutí, v natočení, tuhost v tahu nebo tlaku a další.

Lisy pro plošné tváření mají tuhost mnohem nižší než lisy pro objemové tváření. Malá tuhost zhoršuje využití lisu, snižuje životnost nástrojů, je příčinou velké energetické ztráty a intenzivní opotřebení jednotlivých součástí lisu. Z praxe je známo, že životnost tvarovacích nástrojů při práci na lisech s otevřeným stojanem tvaru C (viz obr. 3. 2. a) je zhruba poloviční proti práci na lisech s uzavřeným stojanem tvaru O (viz obr. 3. 2. b).

Pro jednostojanové lisy se uvádí tuhost pracovního prostoru v průměru:

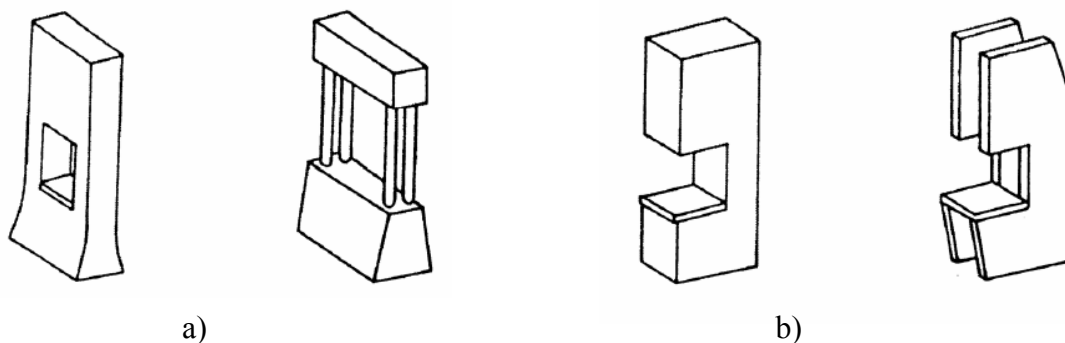
$$T = 6,3 \cdot \sqrt{F_j} \quad (3.1)$$

Pro stroje pro objemové tváření je vyžadována větší tuhost např. pro kovací lisy je to:

$$T = 17 \cdot \sqrt{F_j} \quad (3.2)$$

kde F_j jmenovitá síla lisu [N]

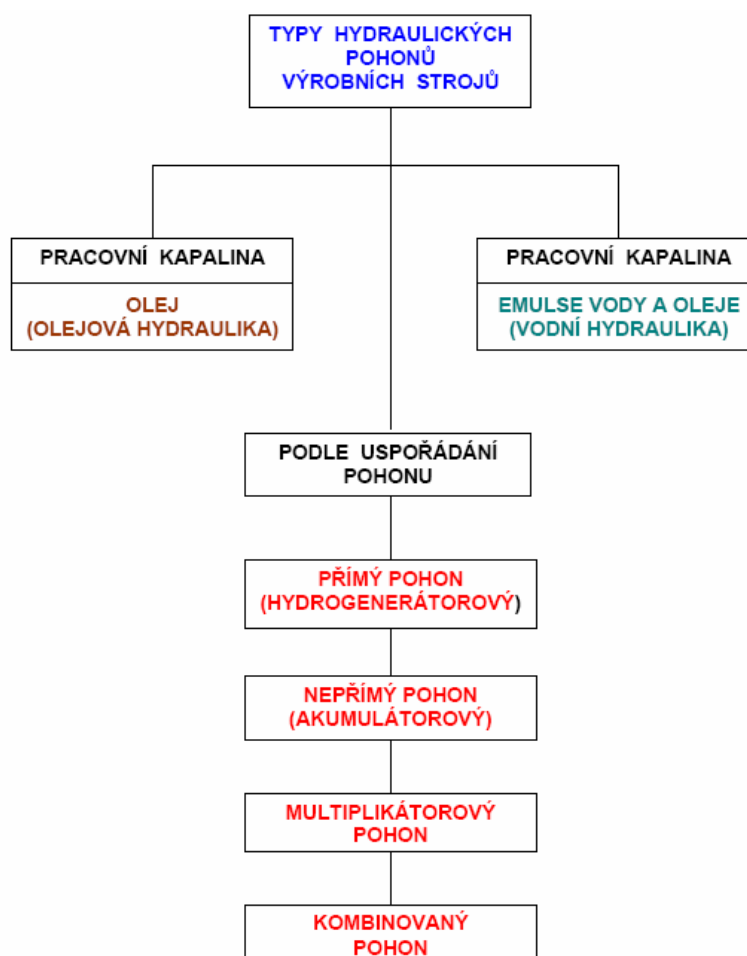
Tuhost má kromě vlivu na životnost nástrojů také vliv na odpory proti smykovému tření, na přesnost rozměrů výrobku atd. (12), (13)



Obr. 3. 2. Rozdělení stojanů a rámců tvářecích strojů (12)

- a) stojany uzavřené – (typu O)
b) stojany otevřené – (typu C)

3.3 Konstrukční uspořádání pohonů silových tvářecích strojů



Obr. 3. 3. Konstrukční uspořádání pohonů silových tvářecích strojů. (12)
(vlastnosti a bloková schémata)

Jako tlakové médium se používá vodní emulze nebo olej. Mezi výhody emulzní kapaliny patří nehořlavost, nízká cena a snadná dostupnost.

Olej je vhodný pro malé tvářecí jednotky, možnost použití rychloběžných pístových čerpadel a šoupátkového rozvodu - dopravované médium slouží i jako mazivo. Jeho viskozita je však závislá na teplotě.

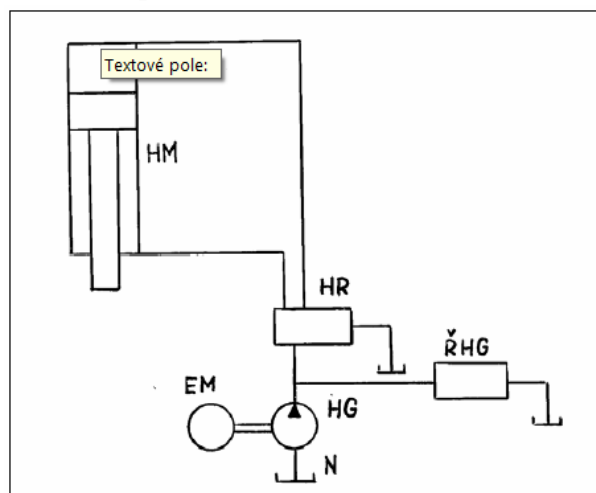
3.3.1 Přímý pohon (hydrogenerátorový, čerpadlový)

Mechanismy s přímým pohonem

Sériové nebo sérioparalelní řazení hydraulických prvků s hydrostatickým generátorem

Přímý pohon

- tlaky do 20 MN
- vhodné pro programové řízení
- větší uplatnění



Obr. 3. 4. Přímý pohon (blokové schéma) (12)

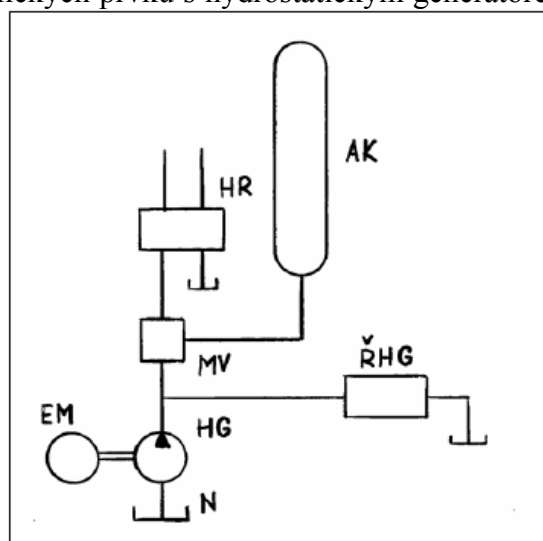
3.3.2 Nepřímý pohon (akumulátorový)

Mechanismy s nepřímým pohonem

Sériové nebo sérioparalelní řazení hydraulických prvků s hydrostatickým generátorem a akumulátorem

Nepřímý pohon

- pro velké lisovací rychlosti
- pro velké jmenovité síly u pomaluběžných lisů



Obr. 3. 5. Blokové schéma nepřímého (akumulátorového) pohonu (12)

3.3.3 Kombinovaný pohon

Mechanismy s kombinovaným pohonem

Kombinace např. dvou generátorů, multiplikátoru a generátoru, kombinace multiplikátoru, akumulátoru a generátoru aj.

Kombinovaný pohon - pro velké jmenovité síly, použití multiplikátoru, pulsátoru (multiplikátor s klikovým mechanismem)

3.4 Hydraulické lisy

VÝHODY:

- Rychlost beranu se pohybuje v rozmezí $v = (0 \div 0,25) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Malá tvářecí rychlost – nedochází k intenzivnímu zpevnění
- Jsou vhodné pro hluboké tažení – malá rychlost (nebezpečí utržení dna)
- Jsou vhodné pro lisování kovových prášků, příp. keramiky
- Nižší rychlost se dá lépe regulovat, lze sledovat tvářecí proces
- Hydraulický lis nelze přetížít – nepotřebuje žádné pojistky proti přetížení
- Lze průběžně měřit tvářecí sílu
- Síla lisu potřebná na tváření závisí na přetvárném odporu tvářeného materiálu
- Pracují klidně, bez hluku a otřesů (ne však čerpadla a ventily)
- Nepotřebují velký základ, jsou jednoduché na obsluhu, lze je poměrně snadno mechanizovat a automatizovat

NEVÝHODY:

- Menší výkon – menší produktivita (nutno zkrátit vedlejší časy)
- Nejsou vhodné pro zápusťkové kování malých výkovek – chlazení
- Nutno přesně stanovit tvářecí sílu, jinak by lis nestačil na vylisování
- Nemají pevnou spodní úvrať – výšku je nutno regulovat zarážkou (13)

3.4.1 Postup návrhu tvářecího stroje s hydraulickým pohonem

- 1) Volba maximálního provozního tlaku p
- 2) Stanovení rozměrů přímočarého hydromotoru
- 3) Kontrola základní ohýbací síly F a zpětné síly F_z
- 4) Návrh hydraulického schématu
- 5) Stanovení průtočných množství
- 6) Volba hydrogenerátoru
- 7) Kontrola skutečných rychlostí
- 8) Stanovení zdvihů
- 9) Výpočet jednotlivých časů a celkového času
- 10) Výpočet hydraulického výkonu v jednotlivých časových úsecích
- 11) Stanovení příkonu hydrogenerátoru
- 12) Volba hnacího elektromotoru
- 13) Stanovení světlostí vedení (sací, tlakové, hlavní, odpadní)
- 14) Výběr a volba prvků – tlakové ventily, rozváděče, filtry
- 15) Pevnostní kontroly všech dalších navrhovaných částí (12)

4 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY (VLASTNÍ ŘEŠENÍ)

4.1 Technologický postup výroby ohýbadla

Výrobní předpoklady, zadané parametry:

Zadaná součást: ohybová matrice

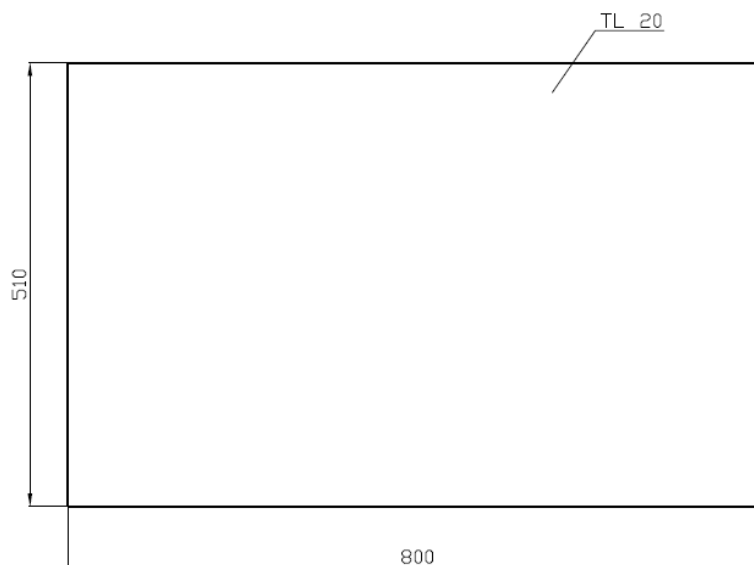
Počet vyráběných kusů: 1x matrice pro ohýbaný materiál o $\varnothing d = 12 \text{ mm}$

4.1.1 Materiál

Pro výrobu ohybové matrice byl vybrán materiál z oceli 14 220. Ocel je vhodná k cementování, kyanování a objemovému tváření, dobře tvárná za tepla a po žíhání i za studena, dobře obrobitelná, dobře svařitelná. Používá se pro strojní součásti s velmi tvrdou cementovanou vrstvou a velkou pevností v jádře po kalení.

Materiál je dodán v požadovaném rozměru polotovaru 800 x 510 x 20 mm

Obr. 5. 1. Polotovar na výrobu nástroje



4.1.2 Technologický postup výroby nástroje

Výpočet potřebné vůle u ohýbadel (viz kap. 2.4.3.)

Protože obecný vztah $v = (t \div t_{\max}) + c \cdot t$, pro vůli mezi činnými částmi ohýbadel, je především experimentálně sestaven pro plechy, byla použita přibližná hodnota

pro ocel: $v = (1,05 \div 1,15) \cdot t = 1,05 \cdot 12 = 12,6 \text{ mm}$

Stanovení úhlu odpružení β (viz kap. 2.3.6)

$$\operatorname{tg}\beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{190}{0,58 \cdot 12} \cdot \frac{200}{2,1 \cdot 10^5} = 1,48^\circ$$

Vzhledem k dostatečně velké kalibrovací síle bylo docíleno nulového úhlu odpružení a při konstrukci ohýbadla se úhel eliminoval.

1. Operace - obrábění paprskem laseru

Postup vypalování:

Obsluha laserového stroje načte dráhu nástroje z dodaného výkresu ve formátu *.dxf (autocad), kterým je vyřiznut tvar ohybníku a ohybnice. Dráha nástroje je včetně technologických přídavek.

2. Operace - obrábění vodících drážek

Tvarovou kotoučovou frézou s rádiusem R13 se vyfrézují vodící drážky na frézce FCV 63 na pracovních plochách ohybnice.

3. Operace - vrtání děr

Bylo vyvrtáno 8 děr o průměru \varnothing 12 mm na pohyblivé části ohýbadla (ohybníku) a 6 děr o průměru \varnothing 12 mm na pevné části ohýbadla (ohybnici) pro připevnění lineárního vedení lisu. Dále byly vyvrtány 2 díry o průměru \varnothing d 12 mm na ohybnici pro připevnění k základové desce.

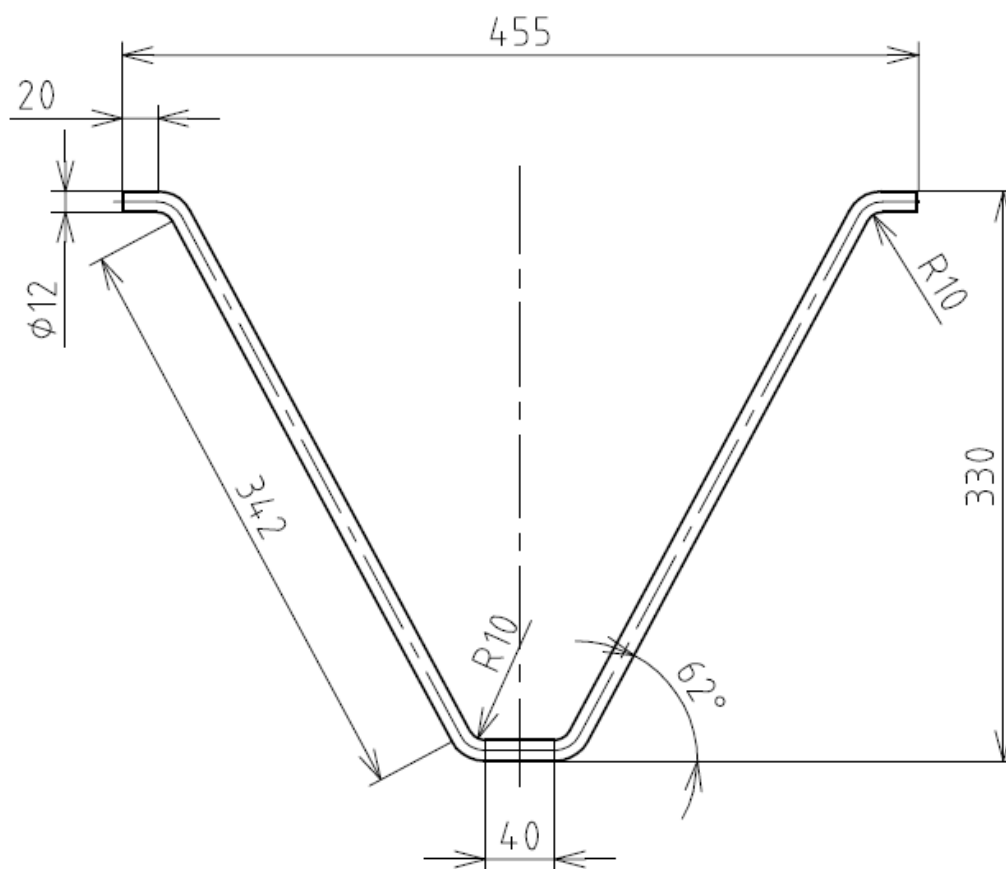
4. Operace - povrchové kalení

Vzhledem k tomu, že jsou kladeny velké požadavky na odolnost povrchu proti opotřebení a zároveň zachování dostatečně houževnatého jádra ohybové matrice, bylo provedeno povrchové kalení na HRC 60 \pm 2 do hloubky 2 mm činné plochy ohýbadla i ohybnice.

4.2 Technologický postup výroby ohýbaného profilu

Charakteristika ohýbaného profilu:

Součást “ohýbaný profil” slouží jako výztuha nosné konstrukce průmyslových výtahů. Profil se vyrábí ve velké sérii. Požadavky na přesnost nejsou velké, proto jsou rozměry netolerované.



Obr. 5.2 Ukázka ohýbaného profilu

5.2.1 Materiál součásti

Součást je vyrobena z oceli ČSN 41 1375, označení materiálu 11 375, další její označení je uvedeno v tab. 5. 1. a její chemické složení v tab. 5. 2.

Tabulka 5. 1 Označení oceli

Značka oceli dle ČSN	Značka oceli dle EN nebo EN ISO	Číslo materiálu W.Nr.
11 375	S235JRG2	1.0038

Tabulka 5. 2. Chemické složení oceli

C	P	S	Mn	N	Cu
max. 0,19 %	max. 0,045 %	max. 0,045 %	max. 1,5 %	max. 0,014 %	max. 0,6 %

Třída odpadu: 005

Způsob výroby: uklidněná nebo neuklidněná

Provedení: válcováno za studena

Rozměrová norma: ČSN 45 5350.11

Stav: žiháný

Mez pevnosti: $R_m = (360 \div 510)$ MPa

Mez kluzu: $R_e = (175 \div 235)$ MPa

Největší tažnost: $A_{10} = 26 \%$

Min. nárazová práce: $KV = 27$ J

Max. hodnota: $CEV = 0,35$

Svařitelnost: zaručená

Tvářitelnost za studena: Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S235JRC). To se týká i tažení za studena.

Použití: K mírnému nebo hlubokému tažení, k objemovému tváření. Svařitelnost zaručená.

5.2.2 Stanovení základních rozměrů ohýbané součásti

Výpočet poloměru neutrální vrstvy

Výpočet je proveden dle vztahu (2. 3)

$$\rho = r + x \cdot t = 10 + 0,42 \cdot 12 = 15,04 \text{ mm}$$

Stanovení délky uvažovaného oblouku

Při stanovení délky oblouku uvažovaného ohybu se využije vztah (2. 5)

$$l = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \varphi}{180} = \frac{\pi \cdot 15,04 \cdot 62}{180} = 17,27 \text{ mm}$$

$$\varphi = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 118^\circ = 62^\circ$$

Součást se skládá ze čtyř oblouků stejných poloměrů a všechny navzájem svírají 62° .

Stanovení celkové délky polotovaru

$$L = \sum l + \sum a = 4 \cdot 17,27 + 2 \cdot 20 + 40 + 2 \cdot 341,5 = 832,1 \doteq 832 \text{ mm}$$

Stanovení mezního prodloužení

Jedná se o poměrnou hodnotu, při jehož překročení dojde k porušení materiálu. Hodnota se určí dle vztahu (2. 10).

$$\varepsilon_k = \frac{\frac{t}{2}}{R_0 + \frac{t}{2}} = \frac{6}{10 + 6} = 0,375 \text{ mm}$$

Protože je ohýbán materiál kruhového průřezu, byl jako tloušťka materiálu t použit průměr polotovaru $\varnothing d$.

Stanovení minimálního poloměru ohybu (viz vztah 2. 9)

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) = \frac{12}{2} \cdot \left(\frac{1}{0,375} - 1 \right) = 10 \text{ mm}$$

Výpočet ohýbací síly

Vztah pro výpočet ohýbací síly se liší v závislosti na tvaru ohýbaného profilu, tj. tvar „V“ nebo „U“.

Při výpočtu se bude vycházet ze základního ohybového momentu M_o , který je pro oba způsoby stejný (viz lit. 1), do kterého byl dosazen kruhový průřez modulu pružnosti W_o .

Pro kruhový průřez: $W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$

$$M_o = \frac{F_o \cdot l}{4} = W_o \cdot R_m \cdot (1,3 + 0,8\varepsilon)$$

$$M_o = \frac{F_o \cdot l}{4} = W_o \cdot R_m \cdot (1,3 + 0,8\varepsilon_k) = (1,3 + 0,8\varepsilon_k) \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{32} \cdot R_m \Rightarrow F_o$$

$$F_o = \frac{(1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon_k) \cdot \pi \cdot d^3 \cdot R_m}{8 \cdot l} = \frac{(1,3 + 0,8 \cdot 0,375) \cdot \pi \cdot 12^3 \cdot 480}{8 \cdot 418} = 1091 \text{ N}$$

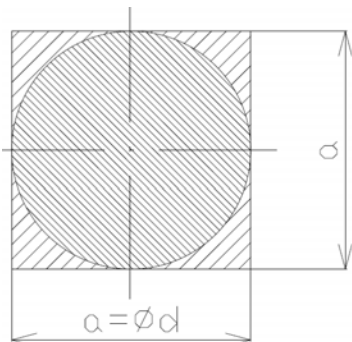
Stanovení kalibrovací síly

$$F_k = S \cdot p = 12 \cdot 455 \cdot 80 = 432000 \text{ N} = 432 \text{ kN}$$

Kalibrovaná plocha S polotovaru byla určena kolmým průmětem pohybem ohybníku – 455 x 12 mm. Přítlačný tlak byl zvolen 80 MPa, který je dostačující v průběhu kalibrace profilu.

Vzorec je sestaven pro obdélníkové průřezy, proto je třeba kalibrovací síla upravit koeficientem pro přepočítání pro kruhový průřez.

Koeficient je poměr mezi plochami čtverce a a vepsaného kruhu o průměru $\varnothing d$ (viz obr. 5. 3.).



$$f = \frac{S_{\text{čtverce}}}{S_{\text{kruhu}}} = \frac{4}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{\pi}{4} = 0,785$$

Obr. 5. 3. Kruhový a čtvercový průřez

Tímto poměrovým koeficientem se zmenší kalibrovací sílu F_k a získáme skutečnou kalibrovací sílu F_{ks} :

$$F_{sk} = k \cdot F_k = 423000 \cdot 0,785 = 339120 N \doteq 339,1 kN$$

Výpočet celkové ohýbací síly

$$F_c = F_0 + F_{ks} = 1091 + 339120 = 340211 N = 340,2 kN$$

Podle experimentálních zkoušek potřebné ohybové síly, bylo zjištěno, že na kalibrování a eliminování úhlu odpružení stačí 320000N, tj. 320 kN.

Práce potřebná pro ohýbání

$$A_0 = m \cdot F_c \cdot h \cdot 10^{-3} = \frac{1}{3} \cdot 340211 \cdot 325 = 36856 J \doteq 36,9 kJ$$

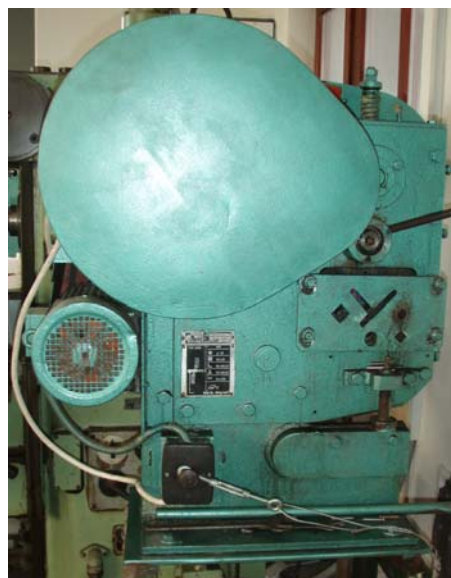
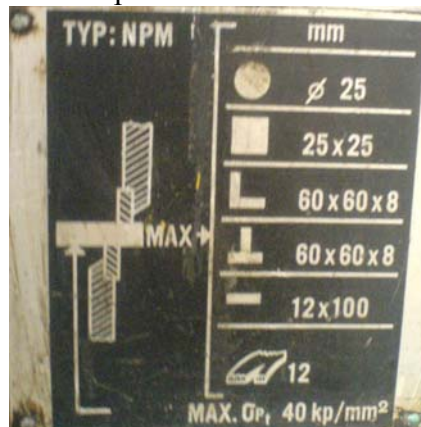
Technologický postup výroby ohýbaného profilu

1. Operace - stříhání

Provádí se na profilových nůžkách

Typ: NPM 10

Přehled použitelnosti: viz obr. 5. 4.



Obr. 5. 4. Profilové nůžky

Materiál je dodán ve tvaru kulatiny o průměru $\varnothing d=12$ mm dlouhé $l = 6$ m, stříhá se na délku $L = 844,8$ mm.

2. Operace - ohýbání

Provádí se na jednoúčelovém lisu, viz obr. 4. 10.

$$t_A = \frac{s}{v} = \frac{0,35}{0,15} = 2,33 s$$

$$t_{Ac} = 2 \cdot t_A = 4,66 s$$

s – zdvih lisu [m]

v – rychlost lisu [$m \cdot s^{-1}$]

t_A - čas jednoho zdvihu [s]

t_{Ac} - čas celé operace [s]

3. Expedice – příprava na transport (skládání)

5 KONCEPČNÍ NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO LISU

Vzhledem k tomu, že se jedná o nestandardní, nízkonákladový jednoúčelový hydraulický lis, při jehož konstrukci se vycházelo z komponentů, které byly v rámci firmy k dispozici. Proto se nemohlo držet základního postupu uvedeného v kap. 3. 4.

Při hledání základních součástí lisu, jako je hydraulický válec a agregát, bylo nutné zjistit, jestli splňují požadavky na jmenovitou sílu lisu.

5.1 Hydraulický agregát

Hydraulický agregát byl zakoupen v celku z vyřazeného stroje a skládá se z následujících částí:

- 1) Hydraulická vana s objemem 110 l.



Obr. 4. 1. Hydraulická vana

- 2) Elektromotor

Typ:



Obr. 4. 2. Elektromotor

3) Zubové čerpadlo

Typ: PZ1-63, pravý
v. č. 393

Technické parametry:

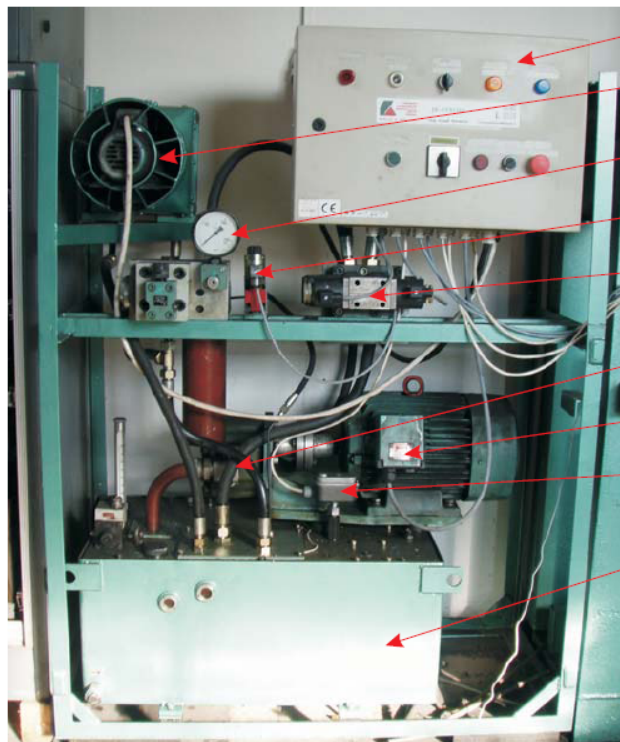
maximální tlak: $p = 100\text{AT}$

maximální průtok: $Q = 1440 \frac{l}{\text{min}}$



Obr. 4.3. Zubové čerpadlo

Celková sestava hydraulického agregátu



ELEKTROROZVADEČ

CHLAZENÍ OLEJE

REDUKČNÍ VENTYL

TLAKOVÝ SPÍNAČ

TŘÍCESTNÝ ELMAG. VENTIL

ZUBOVÉ ČERPADO

ELEKTROMOTOR

TERMOSTAT

OLEJOVÁ VANA

Obr. 4. 4. Hydraulický agregát

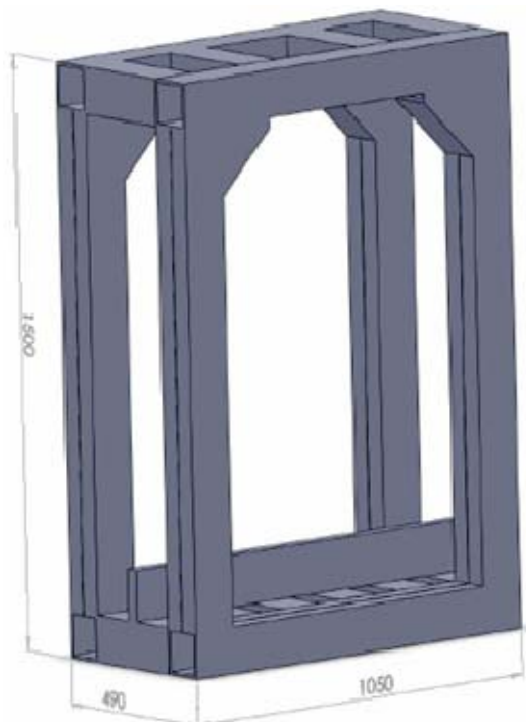
5.2 Lis

1) Rám lisu

Je podle sortimentu zboží velkoobchodu FERONA Brno vyroben z materiálu 11 373, EN S235JRG1 ve tvaru U profilů (viz obr. 4. 5.), který má mez pevnosti $R_m=235$ MPa, a proto můžeme celý celek brát jako svařenec (viz obr. 4. 6.).

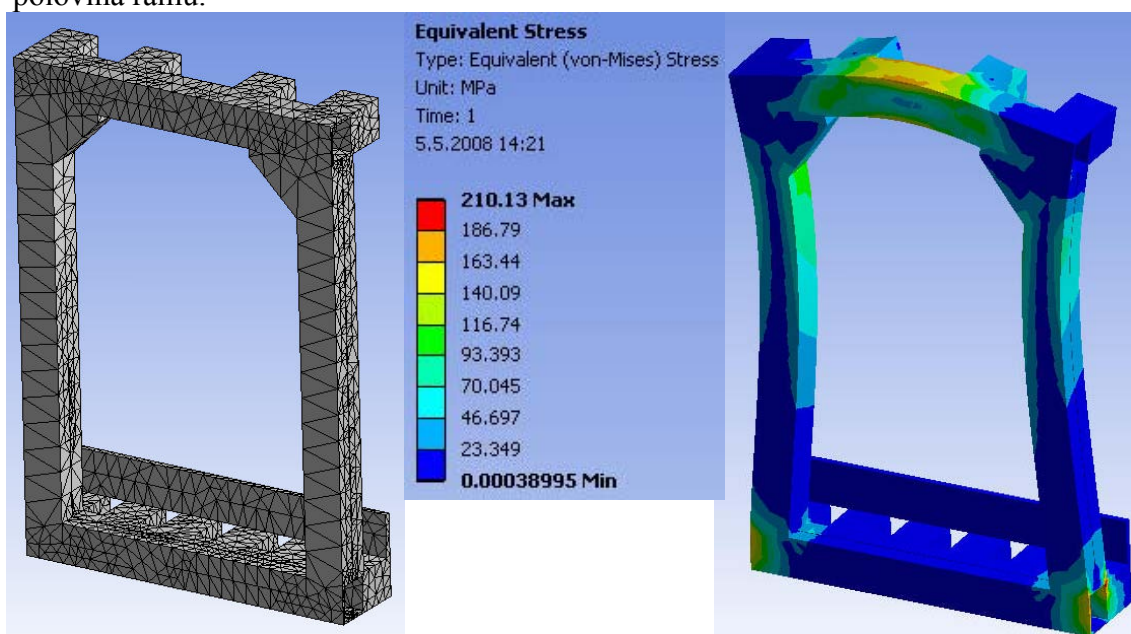


Obr. 4. 5. „U“ profil



Obr. 4. 6. Svařenec rámu

Pro rychlé ověření bezpečnosti rámu jsem nechal vymodelovaný rám propočítat metodou konečných prvků MKP v programu ANSYS (viz obr. 4. 7.), kde je znázorněno napětí. Z hlediska zjednodušení je do výpočtu zahrnuta jen symetrická polovina rámu.



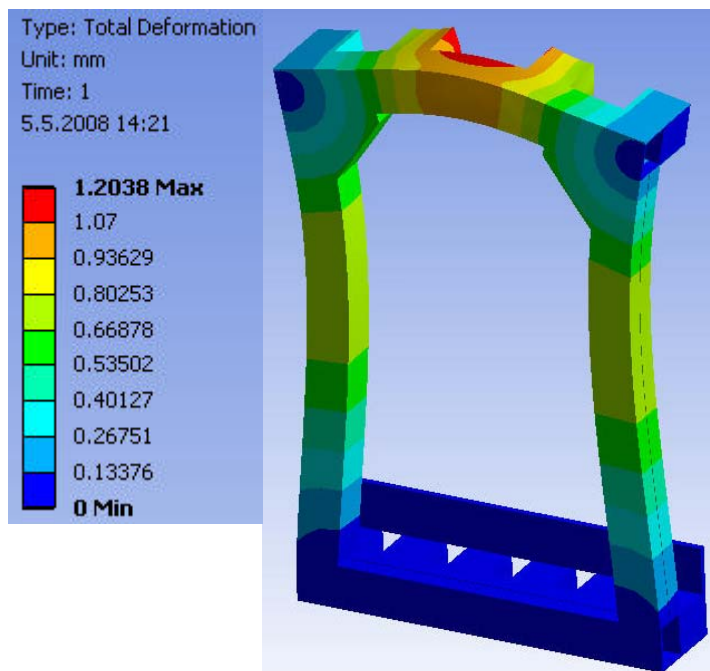
Obr. 4. 7. Napětí v rámu při zatížení 100 t

Z následujících výsledků bylo zjištěno, že tuhost rámu je dostatečná. Maximální napětí v rámu při zatížení 100 t v kritických místech nabývá hodnot 210 MPa, to bylo porovnáno s mezí kluzu materiálu rámu 235 MPa a následně zjištěna bezpečnost.

Bezpečnost:

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{235}{210} = 1,11$$

$1,11 > 1 \rightarrow$ vyhovuje



Obr. 4. 8. Průběh celkové deformace

2) Hydraulický válec

Směrodatnou hodnotou je průměr válce $\varnothing d$, podle kterého se může analyticky zjistit max. síla lisu.

$$F = p \cdot S = \frac{p \cdot \pi \cdot d^2}{4} = \frac{10 \cdot \pi \cdot 130^2}{4} =$$

$$= 132732 N \doteq 132,7 kN$$

$\varnothing d = 130 \text{ mm}$

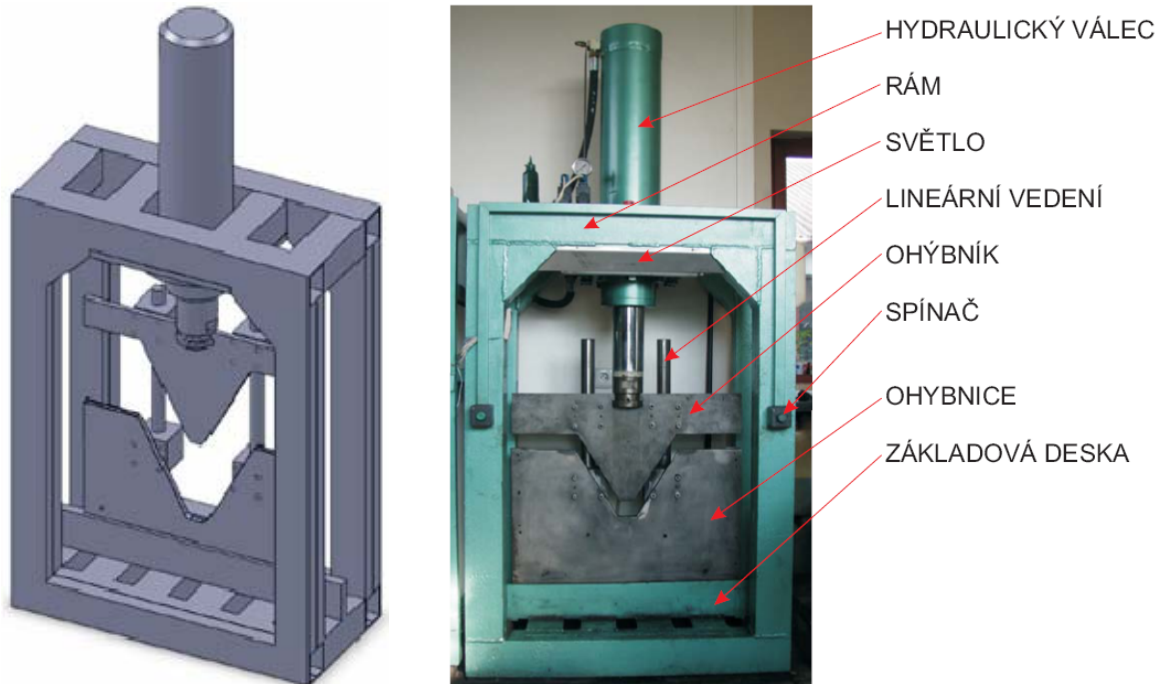
$p = 10 \text{ MPa}$

Max. síla lisu je 13,3 t



Obr. 4. 9. Hydraulický válec

Celková sestava lisu.



Obr. 4. 10. Sestava lisu

Technické parametry lisu:

Jmenovitá síla	132 000	N
Rychlost lisu	0 ÷ 0,15	m·s ⁻¹
Max. pracovní výška Z	400	mm
Pohon lisu		
Výkon elektromotoru čerpadla	7,5	kW
Provozní tlak kapaliny	10	MPa
Rozměry lisu bez hnacího agregátu š x l x v	490 x 1050 x 2150	mm
Hmotnost lisu	1500	kg

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této části diplomové práce je vyhodnocena ekonomická stránka návrhu lisu. Aby mohla být určena doba návratnosti investic do realizace lisu, musí se co nejpřesněji stanovit jeho cena.

Jedná se jednoúčelový, nízkonákladový lis, z toho vyplývá, že je většina použitých, funkčních součástí z vyřazených strojů odkoupených za cenu šrotu, tj. 5 Kč/kg.

Cena, kterou platí firma DE JONG LIFTEN za jeden kus výrobku, je $c = 6$ Kč.

Náklady na nástroj:

a) Materiál

ČSN 14 220 byl koupen ve formátu 800 x 510 x 20 mm v Královopolské strojárně Brno, kde jsme současně nechali vypálit laserovým paprskem budoucí tvar nástroje, tj. ohybníku a ohybnice i s technologickými přídávky.

Cena materiálu včetně práce za opracování = 10 000 Kč včetně DPH

b) Obrábění

Obrobení vodících drážek pro polotovar na ohybnici a drážky proti zamezení posuvu na ohybníku bylo řešeno ve vlastní režii (za použití vlastních strojů), a proto bylo počítáno jen se stráveným časem při jeho samotné výrobě.

Čas potřebný na výrobu	10 Nhod
Mzdový tarif	80 Kč/hod
Jednicová mzda	800 Kč

c) Povrchové kalení 2000 Kč

Celkem 12 800 Kč

Náklady na lis:

Čas potřebný na výrobu	250 Nhod
Cena materiálu rámu	7000 Kč
Mzdový tarif	100 Kč/hod
Jednicová mzda	25 000 Kč
Hydraulický agregát	2500 Kč
Pístnice	1100 Kč
Lineární vedení	5000 Kč
Ostatní součásti	10000 Kč

Celkem za lis: 50 600 Kč

Náklady na profilové nůžky: 15 000 Kč

Celkem za stroje a nástroje: 78 400 Kč

Plán výroby ohýbaných profilů firma DE JONG LIFTEN odhadla přibližně na max. 5000 ks za měsíc. Proto je výrobní dávka stanovena na 60 000 ks/rok.

Náklady na materiál

Materiál jako polotovár - tyč $\varnothing d = 12$ mm, dlouhé $l = 6$ m, dodává firma DE JONG LIFTEN ve vlastní režii.

Náklady na elektrickou energii

Náklady na elektrickou energii pro nůžky:

$$t_A = \frac{1}{ZD \cdot 60} = \frac{1}{30 \cdot 60} = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

$$N_{eN} = C_e \cdot P \cdot t_A = 4,50 \cdot 3 \cdot 1,66 \cdot 10^{-3} = 0,0225 \text{ Kč / ks}$$

$$C_e = 4,50 \text{ Kč/kWh}$$

$$P = 3 \text{ kW}$$

$$ZD = 20 \text{ min}^{-1}$$

Náklady na elektrickou energii pro lis

$$t_A = \frac{1}{ZD \cdot 60} = \frac{1}{12 \cdot 60} = 1,388 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

$$N_{eL} = C_e \cdot P \cdot t_A = 4,50 \cdot 7,5 \cdot 1,388 \cdot 10^{-3} = 0,0468 \text{ Kč / ks}$$

$$C_e = 4,50 \text{ Kč/kWh}$$

$$P = 7,5 \text{ kW}$$

$$ZD = 12 \text{ min}^{-1}$$

ZD	počet zdvihů [ZD/min]
P	výkon [kW]
C _e	cena el. energie [Kč/kWh]

Náklady na elektrickou energii celkem:

$$N_{eC} = N_{eN} + N_{eL} = 0,0693 \text{ Kč / ks}$$

Náklady na strojní mzdu

Náklady na strojní mzdu pro nůžky:

$M_h = 100$ Kč/h	hodinová mzda
t_c	celkový strojní čas
t_B	přípravný čas na jeden kus

$$N_{sN} = M_h \cdot t_c = 100 \cdot 2,493 \cdot 10^{-3} = 0,2493 \text{ Kč / ks}$$

$$t_c = t_A + t_B = 1,66 \cdot 10^{-3} + 0,83 \cdot 10^{-3} = 2,493 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

Náklady na strojní mzdu pro lis

$M_h = 100$ Kč/h	hodinová mzda
t_c	celkový strojní čas
t_B	přípravný čas na jeden kus

$$N_{sL} = M_h \cdot t_c = 100 \cdot 2,776 \cdot 10^{-3} = 0,2776 \text{ Kč / ks}$$

$$t_c = t_A + t_B = 1,388 \cdot 10^{-3} + 1,388 \cdot 10^{-3} = 2,776 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

Shrnutí stanovené normy na výrobu ohýbaného profilu

Čas potřebný na výrobu jednoho kusu je $5,269 \cdot 10^{-3}$ hod, z toho vyplývá, že za osmi hodinovou pracovní dobu se vyrobí 1518 kusů.

Náklady na strojní mzdu celkem N_{sC}

$$N_{sC} = N_{sN} + N_{sL} = 0,2493 + 0,2776 = 0,5269 K\check{c}$$

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu N_c

$$N_c = N_{eC} + N_{sC} = 0,0693 + 0,5269 = 0,5962 K\check{c}$$

Zisk na jeden kus výrobku

$$Z = \frac{(c - N_c) \cdot 100}{c} = \frac{(6 - 0,5962) \cdot 100}{6} = 90,06\%$$

Určení fixních nákladů na lis

Lis byl zařazen do druhé odpisové skupiny SKP 29.4, to znamená dobu odpisování 5 let.

$$\text{Odpisy za rok} \quad \frac{69000}{5} = 13\,800 K\check{c}$$

$$\text{Odpisy za měsíc} \quad \frac{13800}{12} = 1\,150 K\check{c}$$

$$\text{Odpisy na jeden kus při výrobní dávce 5000ks za měsíc} \quad \frac{1150}{10000} = 0,115 K\check{c}$$

Vzhledem k tomu, že je výrobní dávka 5000 ks/měsíc předpokládané množství od firmy DE JONG LIFTEN, proto budeme při určování návratnosti (bodu zvratu) uvažovat jako fixní náklady celkovou cenu všech strojů a nástrojů potřebných pro výrobu profilu.

Určení bodu zvratu:

FN – fixní náklady za období 1 rok v Kč

VN – průměrné variabilní náklady na jeden kus výrobku v Kč

c - prodejní cena jednoho kusu výrobku

$$q_{BZ} = \frac{FN}{(c - VN)} = \frac{78400}{(6 - 0,5962)} = 14508ks$$

Po vyrobení 14 508 ks ohýbaného profilu budou splaceny náklady na pořízení.

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout technologii výroby ohýbaného profilu a sestavu lisovacího nástroje, včetně koncepčního návrhu jednoúčelového lisovacího stroje.

Celá práce nevychází ze standardních postupů z hlediska určení ceny 1 ks ohýbaného profilu, ale bylo postupováno reverzně. Firma DE JONG LIFTEN vždy zadávala výrobu profilu do kooperace jiným firmám za cenu 8 Kč/ks, které zpracovávaly profil na ohraňovacích lisech. Tento způsob výroby je časově náročný s nízkou produktivitou (velký počet operací) a tedy i neekonomický. Proto firma DE JONG LIFTEN oslovila firmu JK-STROJE s požadavkem zpracovat studii na jednoúčelový stroj s tím, že bude mít výhradní právo na výrobu profilu za 6 Kč/ks.

Malá, rodinná firma JK-STROJE mě požádala o koncepční návrh celé problematiky. Při návrhu technologie ohýbání byl hlavní důraz kladen na snížení podílu ruční práce, čili snížení počtu operací potřebných k naohýbání profilu a snížení manipulačních časů. Proto bylo potřeba sestavit ohýbací nástroj a stroj tak, aby budoucí tvar ohýbaného profilu byl vyroben v jedné operaci. Tím byla podmíněna ekonomičnost celého projektu. Byla zvolena ohybová matrice (ohybník, ohybnice) viz příloha č.3, pro kterou se následně zvolila konstrukce nízkonákladového jednoúčelového lisu.

V literární rešerši je zpracovaná teorie a technologie ohybu. Dostupná literatura se zabývá především ohýbáním plechů a pásů, proto bylo nutno provést implementaci na profily kruhového průřezu. Dle vypočtené velikosti síly potřebné na ohyb polotovaru o průměru \varnothing 12 mm z oceli 11 375 byl navržen jednoúčelový lis. Vzhledem k tomu, že firma JK-STROJE se zabývá projekcí, automatizací, rekonstrukcí, servisem a prodejem výrobních strojů a zařízení, byla celá výroba stroje ve vlastní režii. Nízké náklady na projekt spočívaly v použití základních strojních součástí, jako je hydraulický válec a agregát ze starších vyřazených strojů. Nástroj – ohybník a ohybnice – byl vyroben na zakázku, proto se náklady na jeho pořízení a výrobu zohlednily při technicko-ekonomickém zhodnocení.

Technicko-ekonomické zhodnocení není provedeno podle manažersko-ekonomických postupů, kvůli nestandardnosti celého projektu a tím i nedostupnosti potřebných dat pro zpracování. Ve vlastní režii firmy DE JONG LIFTEN je doprava a pořízení materiálu na výrobu ohýbané součásti, proto se celkové náklady firmy JK-STROJE skládají jen z pořizovací ceny nástrojů a stroje potřebných pro výrobní proces ohýbaného profilu včetně energií. Ze stanovené normy výroby je kalkulován zisk na jeden kus výrobku 90,06%. K návratnosti investic (dosažení bodu zvratu) dojde při výrobě 14508 ks. Z toho vyplývá, že při předpokládané výrobní dávce 60 000 ks/rok je tento zvolený postup výroby maximálně efektivní. Riziko představuje objektivnost výrobní dávky od firmy DE JONG LIFTEN, která vychází z údajů minulých let a není odvozena z nasmlouvaných zakázek, protože množství vyráběných profilů závisí na poptávce po produktech firmy DE JONG LIFTEN.

Další možnost zefektivnění celého výrobního procesu je zvyšování parametrů strojů nebo ve větší míře mechanizace a automatizace. Postup automatizace celého výrobního procesu je ve vývoji a jedná se o zavedení zásobníku s pneumatickým pístovým podavačem polotovarů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) DVOŘÁK, M a kol. *Technologie II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4
- (2) DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření. Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- (3) FOREJT, M. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického. 1992. 167 s. ISBN 80-214-0415-9.
- (4) NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby – část tváření* [online]. Studijní opory pro kombinované studium. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 89 s. [cit. 2008-03-20]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/specialni_tecnologie_vyroby_novotny_piska.pdf>
- (5) ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986
- (6) TIŠNOVSKÝ, M., MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
- (7) NOVOTNÝ, K. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- (8) KOTOUČ, J. a kol. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01-003-1.
- (9) BAREŠ, Karel a kol. *Lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 542 s.
- (10) ČSN 22 7340 *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*, 1990. 16 s.
- (11) LENFELD, Petr. *Technologie II – tváření kovů* [online]. Internetová podpora výuky technologie tváření kovů a plastů. Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie, 2005. [cit. 2008-02-18]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm#072>.
- (12) MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení – tvářecí stroje*. [online]. ČVUT Praha, Fakulta strojní, 2006/2007, 87 s. [cit. 2008-02-18]. Dostupné na World Wide Web: <http://www3.fs.cvut.cz/web/uploads/media/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf>
- (13) NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení – tvářecí stroje*. [online]. Studijní opory pro kombinované studium. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 122 s. [cit. 2008-03-25]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf>
- (14) www.dejong.cz [online]. [cit. 2008-01-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.dejong.cz/docs/produkty.html>>
- (15) MARCINIAK, Z., DUNCAN, J., L. a HU, S., J. *Mechanics of sheet metal forming*. 1. vyd. Butterworth-Heinemann Oxford, 2002. 211 s. ISBN 0 7506 5300 0.

SEZNAM PUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

zkratka	jednotky	Označení
A_0	J	ohýbací práce
b	mm	šířka ohýbaného materiálu
b_1	mm	šířka materiálu po ohnutí
$B_{\check{c}}$	mm	šířka pevné čelisti
$b_{\check{c}}$	mm	šířka pohyblivé čelisti
c	Kč	prodejní cena jednoho kusu výrobku
c_1	-	součinitel, vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o ohybnici
E	MPa	modul pružnosti v tahu
F_0	N	ohýbací síla
F_c	N	celková ohýbací síla
F_j	N	jmenovitá síla lisu
F_k	N	kalibrovací síla
F_{ks}	N	skutečná kalibrovací síla
FN	Kč	fixní náklady za období 1 rok
F_p	N	síla přidržovače
F_z	N	zpětná síla stroje
h	mm	pracovní zdvih ohýbadla
k	-	bezpečnost
KV	J	minimální nárazová práce
l	mm	délka ohýbaného úseku polotovaru
l_m	mm	rameno ohybu
m	-	součinitel respektující průběh síly
M_0	MPa	ohybový moment
M_h	Kč/hod	hodinová mzda
N_C	Kč/ks	celkové náklady na výrobu jednoho kusu
N_{eC}	Kč	náklady na elektrickou energii celkem
N_{eL}	Kč	náklady na elektrickou energii pro lis
N_{eN}	Kč	náklady na elektrickou energii pro nůžky
N_{sC}	Kč/ks	náklady na strojní mzdu celkem
N_{sL}	Kč/ks	náklady na strojní mzdu pro lis
N_{sN}	Kč/ks	náklady na strojní mzdu pro nůžky
p	MPa	měrný tlak
P_0	mm	přídavek na opotřebení pevné čelisti
$p_{\check{c}}$	mm	dovolená úchylka na zhotovení pevné/pohyblivé čelisti
P_u	mm	úchylka ohýbaného tvaru
q_{BZ}	Ks	bod zvratu
r	mm	poloměr zaoblení
R_e	MPa	mez kluzu
r_m	mm	poloměr ohybnice
R_{max}	mm	maximální poloměrem ohybu
R_{min}	mm	minimální poloměr ohybu
r_n	mm	poloměr ohybníku

r_p	mm	poměr pohyblivé čelisti s ohledem na pružení
S	mm ²	kalibrovaná plocha polotovaru
t	mm	tloušťka materiálu
T	N · m ⁻¹	tuhost pracovního prostoru stroje
t_l	mm	tloušťka materiálu po ohnutí
t_A	s	čas jednoho zdvihu
t_{Ac}	s	čas celé operace
t_c	hod	celkový čas strojní
t_B	hod	přípravný čas na jeden kus
U_h	mm	horní úchylka rozměru
U_s	mm	dolní úchylka rozměru
v	mm	vůle mezi ohybníkem a ohybnice
v^c	m · s ⁻¹	rychlost lisu
VN	Kč	průměrné variabilní náklady na 1 kus výrobku
W_0	mm ⁴	modul odporu průřezu v ohybu
x	mm	posunutí neutrální osy
X	mm	výška zakládací plochy
Z	%	zisk na jeden kus výrobku
z_r	-	součinitel původního průřezu
z_z	-	součinitel ztenčení
α	°	úhel ohybu
β	°	úhel odpružení
ε	mm	mezní (max.) poměrné přetvoření krajních tahových vláken
ε_k	mm	mezní prodloužení
ρ	mm	poloměr neutrální osy
σ_{pt}	MPa	mez pevnosti
φ	°	úhel ohnutého úseku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Fotografie lisovacího stroje
Příloha 2	Ukázka simulace z programu FORMFEM
Příloha 3	2-DP-00 Sestava nástroje
Příloha 4	3-DP-00/01 Ohybnice
Příloha 5	3-DP-00/02 Ohybník
Příloha 6	4-DP-00/03 Výkres ohýbaného profilu
Příloha 7	4-DP-00/04 Zakládací doraz

