

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: technologie a nauky o mater.

Fakulta: strojní

Školní rok: 1973/74

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Pavla H U M L A

obor strojírenská technologie

Protože jste splnil... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Vliv ohýbacího nástroje na kvalitu výlisků

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s používanými způsoby konstrukce ohýbacích nástrojů pro ohyb do tvaru "U" a "V".
2. Hlediska pro hodnocení kvality výlisků získaných ohýbáním.
3. Přehled vlivů, které jsou určující pro kvalitu výlisku z hlediska operace ohýbání.
4. Výběr zásadních vlivů daných způsobem konstrukce nástroje a návrh metodiky studia jejich působení.
5. Konstrukční návrh zkušebního nástroje (nástrojů).
6. Návrh dalšího postupu řešení.

Všechny práce se řídí směrnicemi MŠK, které jsou
veřejně dostupné v knižnici č. j. 31 727/62-III/2 z 23. 6.
1962 a v 1962-Věstník MŠK XII., sešit 81 z 23. 6.
1962 § 19 autorského zákona č. 115/55 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Os. Fední knihovna
BIBLIOTECA - STUDENTSKÁ 5

S

V 125/1974

Rozsah grafických laboratorních prací: **2 formáty A1**

Rozsah průvodní zprávy: **40 stran**

Seznam odborné literatury:

1. KOLEKTIV: Lisování, SNTL Praha 1971
2. BREMMERGER, M.: STANZERKI - HANBUCH für konstruktore, Mnichov 1965
3. ZUBCOV: Lisování, SNTL Praha 1955
4. MALOV, A.N.: Technologija choločnoj šampovki, GNTI Moskva 1963

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Viktor Mikeš CSc

Konsultanti:

Ing. Jiří Strnad

Datum zahájení diplomové práce:

15. 10. 1973

Datum odevzdání diplomové práce:

31. 5. 1974



Chaloupecký
Doc. Ing. Václav Chaloupecký CSc
Vedoucí katedry

Krejčíř
Doc. Ing. Oldřich Krejčíř CSc
Děkan

V Liberci dne 10. října 1973

VŠST Liberec	VÝTAH Z DIPLOMOVÉ PRÁCE	DP - ST 1097/74	
Fakulta strojní		KTM	str. 1

1. RÁMCOVÉ ZADÁNÍ :

Vliv ohýbacího nástroje na kvalitu výlisků

2. JMÉNO DIPLOMANTA :

Pavel Huml

3. VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE :

Ing. Viktor Mikeš CSc

4. STRUČNÝ VÝTAH Z DIPLOMOVÉ PRÁCE :

Práce uvádí přehled a klasifikaci vlivů, ovlivňujících kvalitu výlisků při ohýbání. Pro výběr základních vlivů daných způsobem konstrukce ohýbacího nástroje je navržena metodika jejich studia a zkušební nástroj. Vychází z potřeb státního výzkumného úkolu P15-124-012-00-07 "Výzkum charakteristik přesnosti výrobků z plechu".

5. MÍSTO VYPRACOVÁNÍ A OBHAJOBY DIPLOMOVÉ PRÁCE :

Katedra technologie a nauky o materiálu Vysoké školy strojní a textilní v Liberci.

O B S A H

	str.
1. ÚVOD	4
2. CHARAKTERISTIKA OHÝBACÍHO PROCESU	5
2.1 Rozdělení	5
2.2 Ohýbání pásů velkým zakřivením bez zpevnění	8
2.3 Ohýbání se zpevněním	16
2.4 Rozbor ohybu do tvaru V	20
2.4.1 Prostý ohyb	21
2.4.2 Ohyb s kalibrací	24
2.5 Rozbor ohybu do tvaru U	27
2.5.1 Prostý ohyb	28
2.5.2 Ohyb s kalibrací	29
3. KVALITA VÝLISKŮ	30
3.1 Hlediska pro hodnocení kvality výlisků	30
3.2 Přehled vlivů určujících kvalitu výlisků	34
3.2.1 Vliv ohýbaných polotovarů na kvalitu výlisků	35
3.2.2 Vliv ohýbacího procesu na kvalitu výlisků	48
3.3 Vliv konstrukce ohýbadel na kvalitu výlisků	52
3.3.1 Stanovení rozměru ohýbadla	53
3.3.2 Vůle mezi činnými částmi ohýbadel	54
3.3.3 Vliv vůle a poloměru zaoblení ohybnice na kvalitu vnějšího povrchu výlisků	56
3.3.4 Konstrukční prvky ohýbadel	63
4. POUŽÍVANÉ KONSTRUKCE OHÝBADEL "PRO V" A "U" OHYB	69
4.1 Konstrukční řešení ohybu do tvaru V	69
4.2 Konstrukční řešení ohybu do tvaru U	77

str.

5.	VÝBĚR VLIVŮ KONSTRUKCE OHÝBADEL OVLIVŇUJÍCÍCH KVALITU VÝLISKŮ	83
5.1	Ohýbání do tvaru „V“	84
5.2.	Ohýbání do tvaru „U“	85
5.3	Metodika studia vybraných vlivů	88
6.	KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZKUŠEBNÍHO NÁSTROJE	91
7.	NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU ŘEŠENÍ	93
8.	ZÁVĚR	94
9.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	95
10.	PŘÍLOHA	
	- konstrukční návrh zkušebního ohýbacího nástroje /sestava 01-00/	

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 4

1. ÚVOD

Tváření kovů patří k nejproduktivnějším oborům technologie zpracování kovů. Nachází uplatnění ve všech oborech průmyslu.

Při studiu tvářecích operací /tedy i ohýbání/ se v literatuře většinou soustředila pozornost na možnosti použitelnosti jednotlivých procesů pro nejrůznější rozměry a tvary výrobků. Výsledkem bylo nalezení způsobu výroby, stanovení působení jednotlivých vlivů v kvalitativní formě. Neuvádí však, jak výrazně se tyto vlivy na kvalitu výlisků uplatní.

Velmi prudký růst výroby průmyslového zboží a jeho lepší jakost vyžaduje další cílevědomý vývoj a zdokonalování lisování, celého průmyslu. Na tomto vývoji záleží plánovitý rozvoj naší socialistické společnosti a neustálé zvyšování životní úrovně obyvatelstva. Kromě technologické discipliny je podstatným činitelem dokonalosti výrobků kvalitní technické řešení všech částí.

Celospolečenský význam zvyšování kvality výrobků v národním hospodářství zdůraznil také XIV. sjezd KSČ. Technická úroveň výrobků má podstatný vliv na spokojenost nejširších vrstev obyvatelstva a je výrazem nejen ekonomické, ale i životní úrovně. Proto se kvalita výrobků dostává do popředí mimořádného zájmu a je jedním z prvořadých faktorů úspěšného hospodářského růstu.

Z těchto důvodů je třeba věnovat pozornost tvářecím operacím z hlediska kvality výlisků. Proto je žádoucí získání přesnostních charakteristik jednotlivých tvářecích operací /jejich konkrétních konstrukčních řešení/ a spolehlivě je aplikovat v nejširším měřítku při řešení praktických úkolů.

Tento cíl sleduje i má práce, která vychází z potřeb státního úkolu P15 - 124-012-00-07 "Výzkum charakteristik přesnosti výrobků z plechu".

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 5

II. CHARAKTERISTIKA OHÝBACÍHO PROCESU

2.1 Rozdělení

Tabulka 2.1 udává schematický přehled základních prací a jednotlivých úkonů v lisovací technice s ohledem na zařazení ohýbání. Lisovací technikou se podle normy ČSN 22 6201 rozumí zpracování kovových i jiných polotovary a hmot pomocí tlaku působícího na vhodnou část lisovacího nástroje.

Podle tab. 2.1 tedy ohýbání patří do druhé skupiny lisovacích operací - tváření, do pracovního úkonu přetváření. Přetvářením se v lisovací technice rozumí trvalé deformování materiálu tak, že se vzniklým napětím buď ohýbá, mírně vytahuje, nebo stlačuje. Nejdůležitější skupinou přetvářecích operací je ohýbání. Poznatky z ohýbání lze prakticky aplikovat na všechny druhy přetváření.

Ohýbáním rozumíme změnu rovného /plochého/ tvaru v ohnutý, přičemž se vytváří ostrá, popř. oblá hrana nebo oblá plocha /požadované zakřivení/. Charakteristickým znakem ohýbání, pružně - plastické deformace, je změna tvaru osy tvářené součásti.

Podle způsobu pohybu nástroje vzhledem k tvářenému materiálu lze metody ohýbání rozdělit do dvou základních skupin :

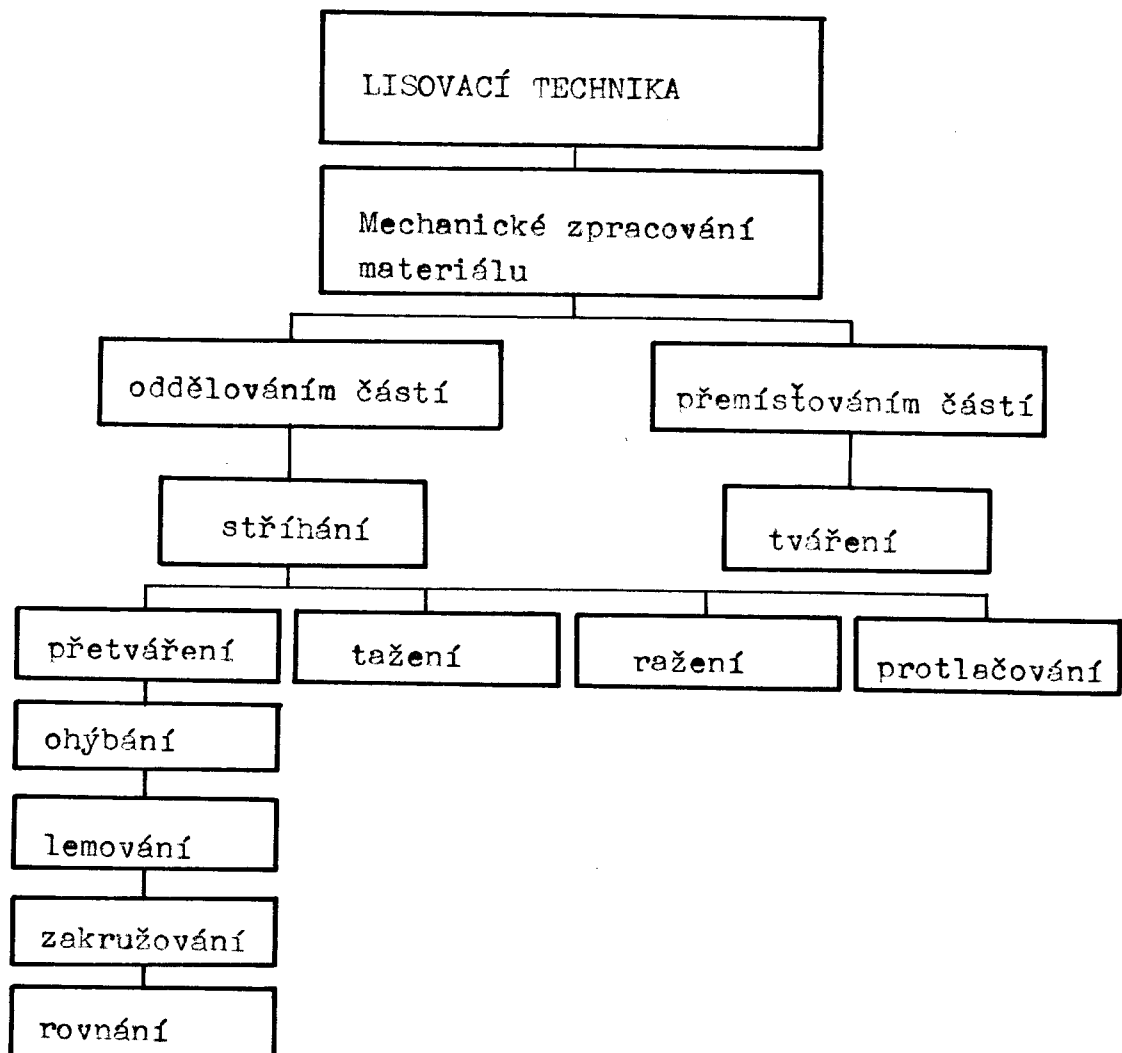
1. ohýbání na lisech, kdy materiál je tvářen v ohýbadle, jehož pohyblivá čelist /ohybník/ koná přímočaré vratné pohyby,
2. ohýbání ve válcích, kdy válec nástroje konají otáčivý pohyb.

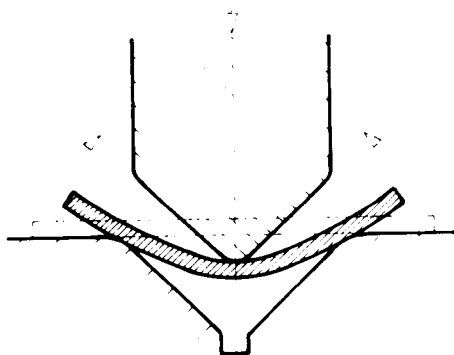
Z hlediska poslání této práce půjde pouze o ohýbání na lisech, o tváření plochy rovinné v plochy různě vůči

sobě orientované vytvářením ostrých nebo oblých hran, které lze provádět různými způsoby, a to :

- a/ ohýbáním, kdy směr pohybu ohybníku je přibližně shodný se směrem osy úhlu tvořeného rameny ohnutého předmětu / obr. 2.1 / - ohyb do tvaru „V“,

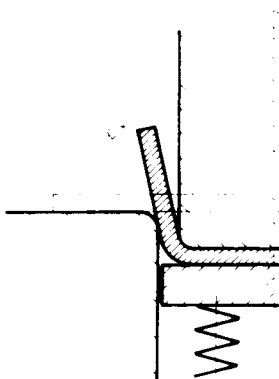
Tab. 2.1 Schematický přehled základních prací a jednotlivých úkonů v lisovací technice





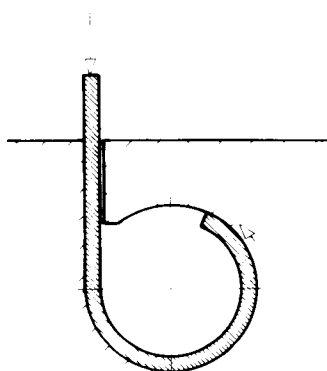
Obr. 2 . 1 Ohýbání

b/ lemováním, kdy směr pohybu pohyblivé čelisti je totožný se směrem ohnutého ramene /ohnutých ramen/ /obr. 2. 2/ - ohyb do tvaru „U“,



Obr. 2 . 2 Lemování

c/ zakružováním, kde je na tvářený materiál vyvíjen tlak vyvolávající posouvání plechu po zakřiveném povrchu pevné čelisti /obr. 2.3/ .



Obr. 2.3. Zakružování

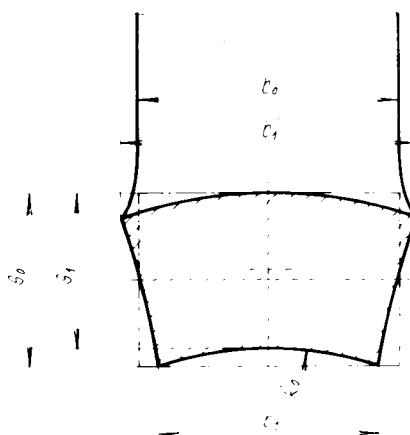
Tento způsob je uveden pro úplnost rozdělení ohýbání na lisech a nebude dále podroben zkoumání.

2 . 2 Ohýbání pásů velkým zakřivením bez zpevnění

Ohýbání plechů je pružně tvárná deformace. Při ohybu úzkých polotovarů $b < 3s$ vzniká prostorová deformace, poněvadž příčný průřez se deformuje ve třech směrech /obr. 2.4/. Výsledkem ohybu je zkreslení průřezu. V okolí vnitřního povrchu se zvětšuje šířka z b na b_1 , na opačné straně se zmenší na b , a objevuje se příčné zakřivení s poloměrem R , $R_s = 2r$, kde r je poloměr ohybu polotovaru/. Kromě toho dochází ke zmenšení tloušťky s na hodnotu s_1 . Jinak řečeno, na místo pravoúhlého průřezu získáme ohnutím zborcený lichoběžník. Je-li naproti tomu ohýbaný materiál značně široký $b \geq 25-30/s$, jsou deformace materiálu v jeho šířce ztíženy vlivem odporu způsobeného velkou šířkou polotovaru a ve střední části širokých pásů k nim prakticky vůbec

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 9

nedochází. Jde tedy o rovinnou deformaci / $\varepsilon_2 = 0$, $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ /, při níž změna délky vlákna v podélném směru se kompenzuje výhradně změnou jeho tloušťky ve směru radiálním.



Obr. 2.4 Změna příčného průřezu při ohýbání úzkých tyčí

Proto lze u širokých pásů /polotovarů/ tuto deformaci zanedbat a považovat ji za rovinnou. Teorie ohýbání je proto založena na zjednodušujících předpokladech:

1. šířka pásu se nemění /rovinná deformace/,
 2. těleso je tuhoplastické a nedochází ke zpevnění.
- Zanedbáváme tedy jak pružnou deformaci, tak změnu meze kluzu /obr. 2.5/.

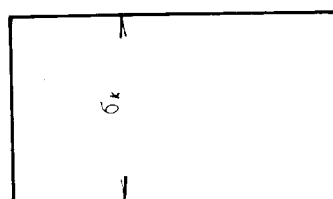
Schemata napjatosti a deformace při ohybu udává / 1 / tabulka 2.2.

Hlavní směry deformace a napjatosti jsou označeny takto : 1 - směr podélný /osový/, rovnoběžný s osou ohýbaného materiálu, 2 - směr příčný /šířka materiálu/, rovnoběžný s povrchovými přímkami válcového povrchu ohybu, 3 - směr radiální, kolmý k vnějšímu i vnitřnímu povrchu ohýbaného materiálu.

Tab. 2.2 Přehled schémat napětí a deformací při ohýbání

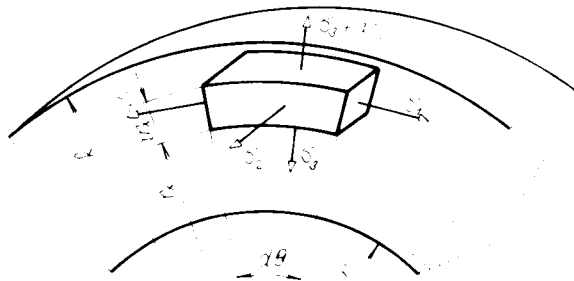
Pásy nebo polotovary	Pásmo příčného řezu	Schemata	
		stavu napjatosti	stavu deformace
úzké /b < s/	stlačované		
	roztahované		
široké /b > 3s/	stlačované		
	roztahované		

51



Obr. 2.5 Pracovní diagram tuho-
plastického materiálu

K určení rozložení napětí v průřezu značně zakřiveného pásu jsou v /4/ prozkoumány podmínky rovnováhy elementu /obr. 2.6/.



Obr. 2.6

Byly odvozeny rovnice :

$$\hat{\sigma}_s = \hat{\sigma}_k' \ln r_x / r \quad /2.1/$$

na straně stlačování

$$\hat{\sigma}_s = -\hat{\sigma}_k'' \ln R / r_x \quad /2.2/$$

na straně prodlužování.

Polohu neutrální osy r_n určíme z podmínky, že hranice stlačované a prodlužované vrstvy leží v místě, kde se vyrovnávají napětí vypočtená z rovnic /2.1/ a /2.2/

$$\ln r_n / r = \ln R / r_n \quad \text{a tedy}$$

$$r_n = \sqrt{R \cdot r}$$

Poloměr neutrální osy r tvoří geometrický průměr vnějšího a vnitřního poloměru ohýbané vrstvy. Se vzrůstem zakřivení se neutrální vrstva přesunuje ze střední osy směrem k vnitřnímu povrchu, neboť geometrický průměr je vždy menší než průměr aritmetický.

Ve skutečnosti je při ohýbání vnitřní povrch ohýbaného materiálu namáhán tlakem nástroje p , což je ekvivalentní k podélnému natahování ohýbaného materiálu, neutrální vrstva se přesunuje ještě více směrem ke středu ohybu. Poloměr r_n odpovídá pak nerovnosti

$$r_n < \sqrt{r \cdot R} .$$

Existuje ještě třetí případ, kdy je namáhán vnější povrch ohýbaného materiálu. To odpovídá podélnému stlačování ohýbané tyče a vzrůstu poloměru r_n nad hodnotu geometrického průměru / $r_n > \sqrt{r \cdot R}$ / .

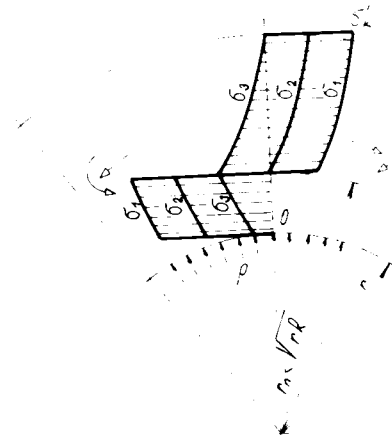
Pro stlačovanou stranu je v /4/ odvozen vztah

$$\hat{\sigma}_1 = -\hat{\sigma}_k \sqrt{1 + \ln r_x / r}]$$

a pro stranu natahovanou

$$\hat{\sigma}_1 = \hat{\sigma}_k \sqrt{1 - \ln R / r_x}] .$$

Je-li znám průběh napětí v příčném průřezu /obr.2.7/



Obr.2.7 $\hat{\sigma}_1$ - osových, $\hat{\sigma}_2$ - směřujících kolmo k rovině ohýbání, $\hat{\sigma}_3$ - radiálních, při ohýbání a tažení

ohýbaného materiálu a poloha neutrální osy na které napětí mění smysl, je možno určit poměr rychlosti deformací materiálu v každém bodu tělesa, jakož i průběh deformace. Je třeba poznamenat, že předem stanovená neutrální vrstva o poloměru r na které dochází ke změně smyslu osových napětí, odděluje zároveň vnější oblast, kde v daném okamžiku dochází k osovému prodloužení vláken, od oblasti vnitřní, ve které se vlákno zkracuje.

Protože podle předpokladu se šířka ohýbaného materiálu nemění, nastává při prodlužování vnějších vláken úbytek jejich tloušťky a naproti tomu při zkracování vláken ležících na vnitřní straně se jejich tloušťka zvětšuje. Může tedy, v závislosti na poloze neutrální vrstvy, dojít ke vzrůstu celkové tloušťky materiálu, převyšuje-li přírůstek tloušťky vnitřních vrstev úbytek tloušťky vrstev vnějších, nebo naopak - tloušťka se může zmenšit v opačném případě. To je příčinou toho, že libovolný bod v průřezu ohýbaného materiálu se během ohýbání vzdaluje od vnitřního povrchu plechu a současně se přibližuje k jeho vnějšímu povrchu. Dochází tak k radiálnímu přesunu částic materiálu. Z toho vyplývá, že je nutno rozlišovat v průběhu ohýbání materiálu dvě neutrální vrstvy /plochy/ :

1. neutrální vrstva /plocha/ napětí, na které přírůstky podélných napětí mění smysl, kdežto skutečné její prodloužení je záporné - došlo ke zkrácení ,
2. vrstva nulového prodloužení na niž podélné deformace jsou nulové, v této vrstvě je tahové napětí a došlo ve skutečnosti k prodloužení .

V /4/ je odvozen vztah pro změnu tloušťky ohýbaného materiálu

$$ds = s/2\theta \left[\frac{r_n^2}{R \cdot r} - 1 \right] d\theta$$

Z uvedeného vzorce vyplývá, že ohýbání bez osových sil, při kterém $r_n^2 = r \cdot R$, nevyvolá změnu tloušťky plechu. Naproti tomu při ohýbání spojeném s osovým tažením, kdy $r_n^2 < r \cdot R$, nastává ztenčení materiálu. Při ohýbání se současným stlačováním / $r_n^2 > r \cdot R$ / se tloušťka plechu zvětšuje.

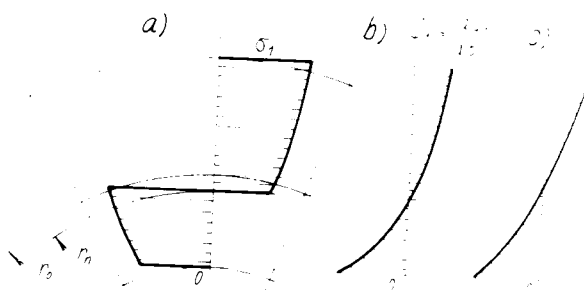
Pro podélnou deformaci platí vztah

$\varphi_1 = \ln l/l_0$, upravený pro podmínky ohýbání přejde do tvaru

$$\varphi_1 = \ln r/r_0 .$$

Polohu obou neutrálních vrstev, rozložení podélných napětí δ_1 , rychlosti osových deformací $\dot{\varphi}_1$, jakož i deformací φ_1 , v průřezu materiálu ohýbaného bez působení podélných

sil znázorňuje obr. 2.8, kde značí r_n poloměr neutrální vrstvy napětí, r_0 poloměr vrstvy nulového prodloužení.

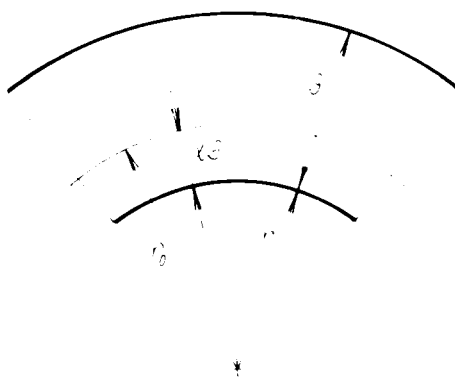


Obr. 2.8 Rozložení : a/ napětí σ_1 , b/ rychlostí osových deformací $\dot{\varphi}_1$, c/ osových deformací v průřezu ohýbaného materiálu

Jak již bylo řečeno, tlačí nástroj na vnitřní povrch ohýbaného materiálu a dochází tedy k ohýbání za současného působení podélné tahové síly. To způsobuje přesun ke středu ohybu jak neutrální vrstvy napětí, tak rovněž vrstvy nulového prodloužení, což vede ke ztenčování ohýbaného materiálu.

Druhým důvodem ztenčování materiálu, které doprovází skutečné pochody ohýbání, je zpevnování tvářeného kovu. Poněvadž je celková deformace krajní vnitřní vrstvy větší než krajní vnější vrstvy, je vzrůst napětí způsobený zpevněním materiálu větší na straně vnitřní než na vnější. Aby nedošlo ke změně výslednice veškerých sil v podélném směru, musí dojít k přesunu neutrální vrstvy směrem ke směru zakřivení, což vede k zmenšení tloušťky ohýbaného plechu. Toto zmenšení se stává viditelným teprve tehdy, je-li poloměr ohybu menší než přibližně pětinasobek tloušťky ohýbaného materiálu /zeslabení s/s až 0,8 /.

Posunutí plochy nulového prodloužení ze středu materiálu se obvykle určuje pomocí součinitele x /4/, vyjadřujícího poměr vzdálenosti této plochy od vnitřního povrchu materiálu k jeho původní tloušťce /obr. 2.9/



Obr. 2.9

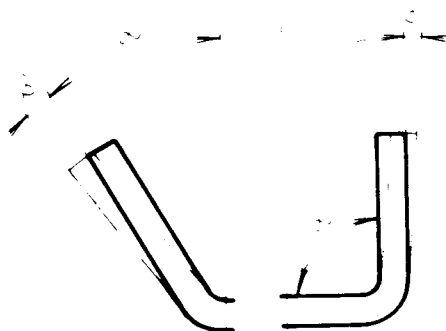
Určení součinitele x : $x = /r_0 - r / s_0$,
kde s_0 - původní tloušťka materiálu před ohýbáním.

Ze známé polohy vrstvy nulového prodloužení se určí rozměry rozvinutého výlisku. Délka vrstvy nulového prodloužení je stejná jako délka výchozího materiálu. U předmětů ohnutých do kruhového oblouku o středovém úhlu θ je možno určit délku výchozího polotovaru l podle vzorce

$$l = r_0 \theta = /r + x s_0 / \theta ,$$

přičemž hodnotu součinitele x příslušnou pro daný poměr r/s_0 lze odečíst z diagramu viz /4/, tabulek /1,8/.

Každá trvalá deformace je provázena deformací pružnou. Jakmile přestane působit na materiál deformační síla, zmizí i pružná deformace. To se u ohýbaných součástí projeví obvykle zvětšením úhlu ohybu o přídavný úhel /odpružení/ /obr. 2.10/. Velikost tohoto zvětšení závisí na mechanických vlastnostech materiálu, na rozsahu deformace, zvláště na poloměru ohybu a na úhlu ohybu.



Obr. 2.10

Lze vypočítat velmi složitým způsobem nebo určit zkouškami, jejichž výsledky jsou sestaveny do tabulek nebo diagramů. Touto problematikou se blíže zabývá část 3.2.1 .

2. 3. Ohýbání se zpevněním

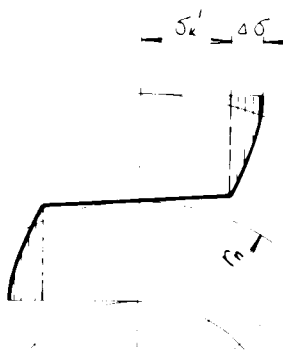
Ohybový moment

Ve skutečnosti u materiálů tvářených za studena, tedy i při ohýbání, vzrůstá mez kluzu v závislosti na stupni plastické deformace. Proto se zvětšuje i napětí σ_1 , přičemž tento vzrůst je největší v krajních vláknech. Na obr. 2.11 šrafovaná plocha vyjadřuje přírůstek napětí vyvolaný zpevněním.

Přírůstu napětí odpovídá vzrůst ohybového momentu. Je tím větší, čím menší je poloměr zakřivení /větší plastická deformace/. Závislost mezi momentem M a zakřivením materiálu $1/\rho$ s vyznačením přírůstku ohybového momentu vyvolaného zpevněním viz. obr. 2.12 .

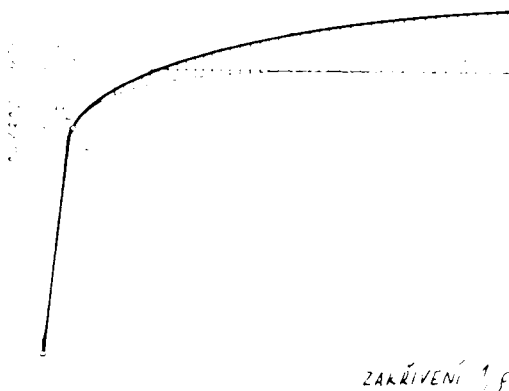
Protože v průběhu ohýbání dochází ke složitým jevům, jako např. ke zmenšování tloušťky mat., radiálnímu přesunu materiálu, k změně smyslu plastické deformace ve vláknech nelze proto aplikovat zpevnění na zobecnění křivky diagramů

zpevnění vyjádřené v souřadnicích $\sigma_k = \varphi_i$. Nemůžeme vycházet z jednoosé napjatosti, nýbrž přímo z procesu ohýbání.



Obr. 2.11 Zpevnění ohýbaného mat.,
průběh napětí

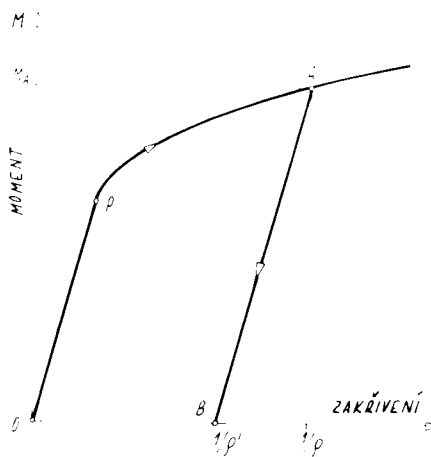
Získáme tak diagram o souřadnicích ohybový moment - zakřivení /nebo úhel ohybu/. Abychom nebyli závislí na rozměrech ohýbaného předmětu na osu pořadnic nanášíme poměr ohybového momentu M k momentu odporu $W = bs/6$ a na osu úseček relativní zakřivení $s/2$.



Obr. 2.12 Zpevnění ohýbaného mat.,
průběh ohýbacího momentu

Zpětná pružná deformace - dopružování

Podle zákona pružného odlehčení plasticky deformovaných těles dojde po odlehčení plastické deformace ke změně rozměrů deformovaného tělesa. Pro ohýbanou součást to znamená, že se zmenší zakřivení z hodnoty $1/\rho$ na $1/\rho'$ /obr. 2.13/.



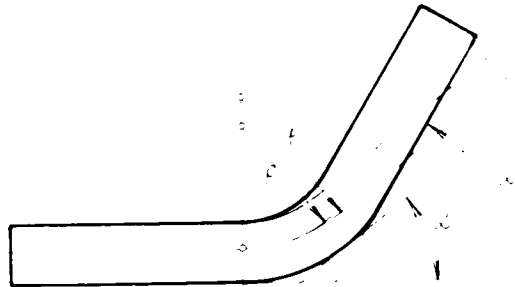
Obr. 2.13 Vztah mezi ohybovým momentem a zakřivením při zatěžování /OPA/ a při odlehčování /AB/

Pružnou fázi procesu odlehčování představuje přímka AB, probíhající rovnoběžně s přímkou OP, vyjadřující pružnou fázi procesu zatěžování. Chceme-li tedy získat konečný ohyb výlisku s poloměrem ρ' při úhlu ohybu α' , je nutno během ohýbání součást ohnout více, t.j. do poloměru ρ a úhlu α /obr. 2.14/.

Zbylá pnutí

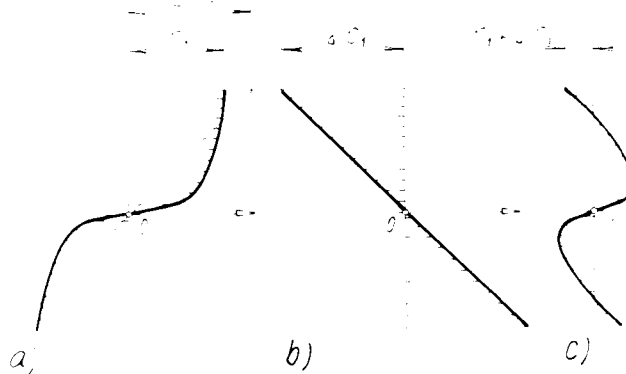
V průřezu ohýbaného pásu vznikají podélná napětí, jejichž rozložení je vyjádřeno křivkou geometricky podobnou křivce na diagramu zpevnění /4/, obr. 2.15 a.

Proces odlehčování je doprovázen přírůstkem napětí $\hat{\sigma}_1$ s opačným znaménkem, jejichž rozložení průběhu průřezu je lineární vzhledem k pružnému charakteru procesu odlehčování /obr. 2.15b/.



Obr. 2.14

V důsledku postupného zatěžování materiálu v oblasti trvalé deformace vlákna již trvale deformovaná brání vláknům pružně deformovaným nabýt po odlehčení původní délky, čímž vznikají zbylá pnutí, která jsou algebraickým součtem napětí $\hat{\sigma}_1$ a $\Delta\hat{\sigma}_1$ /obr. 2.15C/ .

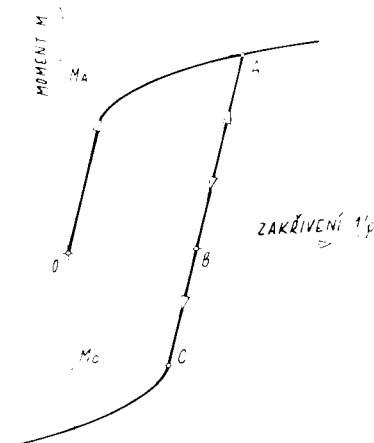


Obr. 2.15 Schéma zbylých pnutí : a/ napětí při plastické deformaci, b/ napětí při odlehčení, c/ zbylá napětí

Za pozornost stojí skutečnost, že v protahované vrstvě vzniknou po odlehčení tlaková zbylá pnutí a ve stlačované vrstvě opačná. To má význam na pevnost ohnuté součásti.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74	
Fakulta strojní		KTM	str. 20

Je-li zatížena momentem souhlasně jako při ohýbání, nastane plastická deformace až po překročení původního momentu M_A /obr. 2.16/ .



Obr. 2.16 Vliv napětí na pevnost ohnuté součásti : M_B - mezní moment při namáhání shodném se směrem ohýbání, M_C - při namáhání v opačném směru

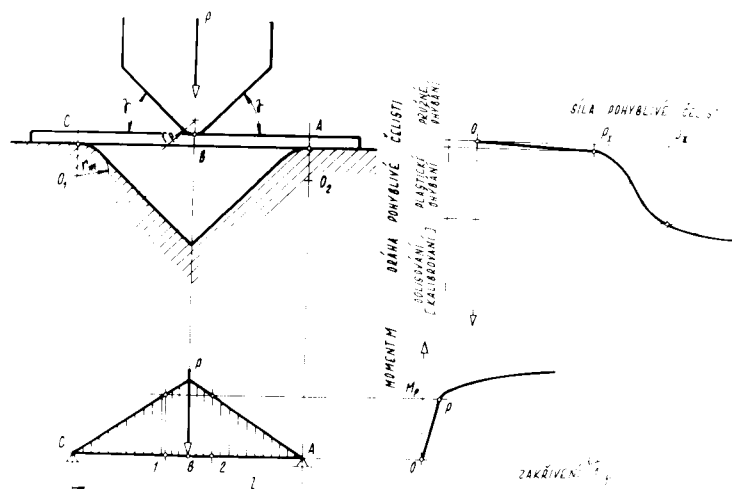
V opačném případě vznikne plastická deformace při značně nižší hodnotě M_C . Uplatňuje se zde Bauschingerův jev. Proto mají být ohnuté výlisky při své funkci namáhány ve směru shodném se směrem jejich plastické ohybové deformace.

2. 4. Rozbor ohybu do tvaru „V“

Provedeme rozbor průběhu ohýbání plochého materiálu v ohýbadle, jehož pohyblivá čelist má dvě pracovní plochy svírající s osou úhel $90-\beta$ a jejichž styčná hrana má poloměr zaoblení r_p /obr. 2.17/ .

Pracovní plochy ohybníku a ohybnice jsou rovnoběžné. Během přibližování pohyblivé čelisti k pevné dochází k postupnému ohýbání tvářeného materiálu. Postupně se zmenšuje poloměr zaoblení ohýbané součásti a rameno ohybu l .

Pochod ohýbání lze rozdělit na tři fáze : 1/ pružný ohyb, 2/ plastický ohyb, 3/ dolisování - kalibrace.



Obr. 2.17 Počáteční fáze procesu ohýbání
 Proces ukončený po druhé fázi se nazývá prostý ohyb.
 Následuje-li ještě kalibrace, hovoříme o ohybu s ka-
 librací.

2. 4. 1 Prostý ohyb

V počáteční fázi způsobuje ohybník tlakem na tvá-
 řený materiál v bodě B jeho pružný ohyb. Ohnutý plech
 již nepřiléhá k čelnímu povrchu ohybnice, nýbrž se o
 ni opírá v bodech AaC , jejichž vzdálenost se přibližně
 rovná vzdálenosti bodů O_1 a O_2 ležících ve středu zaoble-
 ní ohýbacích hran a poloměru zaoblění r_m . Tvářený
 materiál si potom můžeme představit jako nosník o dvou
 podpórách zatížený uprostřed osamělou silou P /obr.2.17/.
 Obrázek rovněž znázorňuje rozložení ohybových momentů
 v podélném směru materiálu. Maximální moment je v půso-
 bišti síly a je dán vztahem.

$$M_g = P \cdot l / 4 \quad . \quad /2.3/$$

Společně se vzrůstem tlaku ohybníku vzrůstá síla P i
 ohybový moment M. V určitém okamžiku dosáhne mezní

hodnoty

$$M_p = b \cdot s^2 / 6 \cdot \hat{\sigma}_k' \quad /2.4/$$

odpovídající začátku plastické deformace krajních vrstev materiálu v bodě B za předpokladu, že $\mu = 0,5$ a že jde o rovinnou deformaci. Ve vzorci /2.4/ značí:

b- šířka materiálu,

s- tloušťka materiálu,

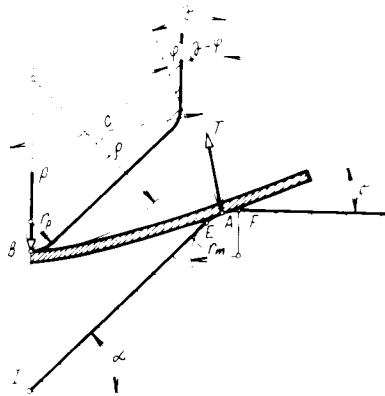
$\hat{\sigma}_k' = 2 / \sqrt{3} \hat{\sigma}_k$ označuje výchozí mez kluzu tvářeného materiálu znásobenou vztahem $2 / \sqrt{3}$.

Obrázek 2.17 také znázorňuje průběh ohybací síly P v závislosti na dráze ohybníku v jednotlivých fázích ohýbání. Pro názornost je také uvedena závislost ohybacího momentu na zakřivení polotovaru s vyznačením mezního ohybového momentu M_p . Dosáhne-li hodnota momentu velikost danou vzorcem /2.4/, končí první fáze volného ohýbání - pružný ohyb.

Při dalším pohybu ohybníku se oblast plastické deformace postupně rozšíří a zasahuje stále větší úsek pásu vymezený body 1 a 2, na kterém hodnota ohybového momentu přesahuje hodnotu M_p . V tomto úseku vzniká trvalý ohyb o proměnlivém zakřivení /proměnlivá hodnota M/, největším v bodě B za současného zvedání obou ramen ohýbaného předmětu, tvořící s vodorovným směrem stále větší úhel γ , jak znázorňuje obr. 2.18.

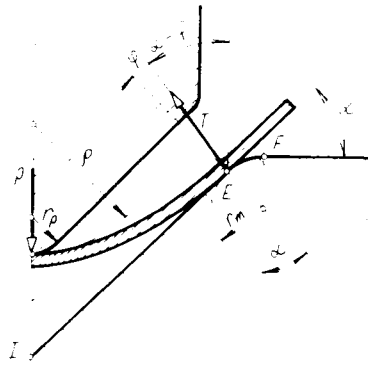
Poněvadž tvářený materiál klouže po povrchu nástroje a přesunuje se do středu, je výslednice T reakcí vyvolaných ohybníci v bodě A odkloněna o úhel tření φ od kolmice k ramenu ohýbaného předmětu. V okamžiku, kdy bod A dotyku ohýbaného materiálu s ohybníci se při přesunu po oblouku EF ocitne v bodě E, kde zaoblená ohybací hrana přechází do přímkové části, úhel ohybu ramen dosahuje požadované hodnoty α /obr. 2.19/.

Při dalším pohybu zůstává tento úhel stálý. Naproti tomu však výslednice tlaku ohybnice T se přesunuje do středu podél přímky IE, při zachování stálého směru. Tím se vyvolává další zmenšování poloměru ohybu v bodě B,

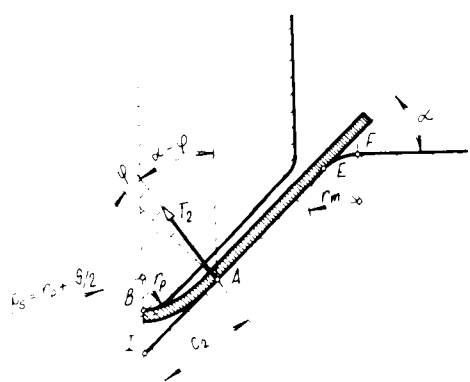


Obr. 2.18

který v určitém okamžiku dosáhne požadované hodnoty $r_s = r_p + s/2$. Tím končí v této fázi proces tváření materiálu /volné ohýbání/, kterému byl dán požadovaný úhel ohybu při požadovaném poloměru r_s /obr. 2.20/.



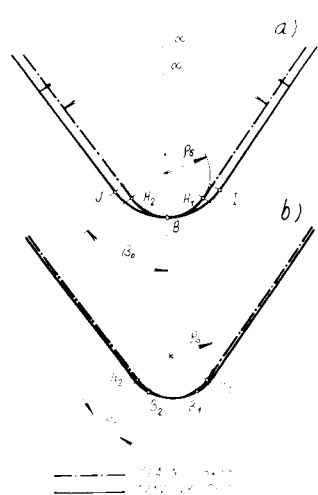
Obr. 2.19



Obr. 2.20

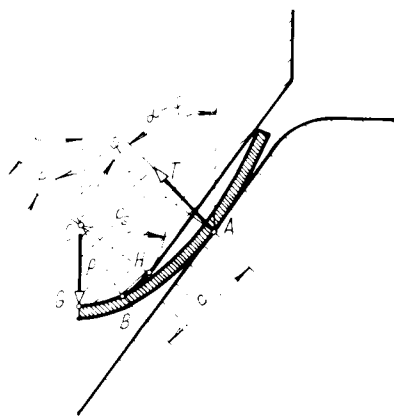
2. 4. 2 Ohyb s kalibrací

Na výkresu je obrys ohnutého polotovaru obvykle znázorněn kruhovým obloukem, přecházejícím v bodech H_1 a H_2 do rovných úseků ramen svírajících spolu daný úhel α /obr. 2.21a/.



Obr. 2.21 Průběh ohybu: a/ po ukončení druhé fáze ohýbání /volný ohyb/, b/ po kalibraci
 V druhé fázi pochodu ohýbání dostává tvářený materiál tvar podle obr. 2.21a. V bodě B ležícím na ose úhlu ohybu ramen

má poloměr ohybu požadovanou hodnotu ρ_r , avšak s rostoucí vzdáleností od tohoto bodu se zakřivení materiálu postupně zmenšuje a přechází v bodech J a I do rovných úseků ramen, které spolu svírají požadovaný úhel α /bod B/. Nehledě ke shodě rozměrů α a ρ_r se získaný obrys předmětu poněkud liší od předepsaného tvaru na výkresu. Tato odchylka nemá však většinou podstatný význam u běžných výlisků. Ohýbání je proto možno v tomto stavu ukončit, protože bylo dosaženo požadovaných rozměrů. Tento druh ohýbání se nazývá ohýbání volné, popř. ohýbání bez lisování. Obvykle se používá při ohýbání velkých předmětů na ohraňovacích lisech. Obvyklé jsou případy, kdy výlisek musí být ohnut přesně do kruhového oblouku /brzdová čelist/ nebo kdy úhel rozevřené rameny musí být dodržen s větší přesností. Při těchto požadavcích je nutno materiál dodatečně lisovat mezi pracovními povrchy ohýbačů. Takové dolisování představuje třetí fázi procesu ohýbání. Tvar výlisku se potom blíží ideálnímu tvaru /dle kalibrovacího tlaku/, úhel β_0 se zmenšuje /obr. 2.21b/. Další pohyb ohybníku od stavu /obr.2.20/ způsobuje přiléhání materiálu k jeho povrchu /obr. 2.22/.



Obr. 2.22 Průběh ohybu a soustava sil během kalibrování výlisků

Bod B tvořící mez oblouku dotyku se tedy postupně přibli-

Žuje k bodu H, ležícímu na rozmezí zaoblené hrany ohybníku a přímkového úseku obrysu. Tím se úhel β_0 , který je tvořen poloměrem OB a poloměrem OH, postupně během dolisování zmenšuje /obr. 2.21b/. Zmenšování úhlu β_0 však způsobuje rychlé narůstání dolisovací síly. Je zřejmé, že získání ideálního obrysu, při kterém $\beta_0 = 0$, je nemožné, neboť by vyžadovalo velký tlak. Proto se v praxi kalibrovací tlak volí zkusmo podle požadavků na kalibrovaný výlisek a podle možnosti strojního parku, který je k dispozici. Orientační hodnoty podle /4/ udává tab. 2.3.

Tab. 2.3 Orientační hodnoty měrných tlaků pro kalibrování

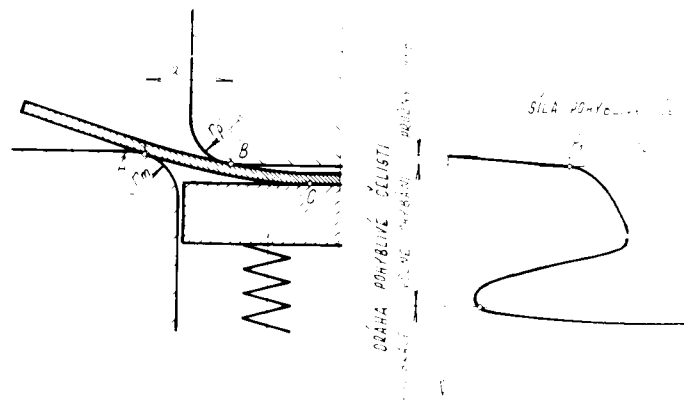
Materiál	Tloušťka materiálu /mm/	
	do 3	od 3 do 10
Hliník	3 - 4	5 - 6
Mosaz	6 - 8	8 - 10
Ocel : /28-50/ kpmm	8 - 12	10 - 12
/40-65/ kpmm	10 - 12	12 - 15

Zkracování vzdálenosti c mezi body dotyku materiálu s pevnou a pohyblivou čelistí způsobuje, že dříve ohnuté úseky materiálu se posunou za bod dotyku A s pevnou čelistí a s postupujícím vzájemným přibližováním rovnoběžných povrchů se v průběhu kalibrování rozehnou /obr. 2.22/. V těchto úsecích se tedy během kalibrování mění smysl ohybového momentu. To má zásadní vliv na velikost odpružení. Odpružování materiálu podél oblouku GB způsobuje vzrůst úhlu

rozevření ramen, kdežto dopružování rozehnutých úseků, ležících vně bodu A, vyvolává zmenšení tohoto úhlu. Konečný účinek dopružování kalibrovaného výlisku bude značně menší než při volném ohýbání a může také vyvolat změnu smyslu odpružení /úhel ohybu se zmenší/. Podrobněji se touto otázkou zabývá stať 3.2.2 .

2.5 Rozbor ohybu do tvaru „U“

Ohýbání do tvaru „U“ lze chápat jako současné lemování obou ramen. Schéma takového procesu je na obr. 2.23 .



Obr. 2.23 Počáteční fáze lemování

Během pracovního pohybu ohybníku je střední část polotovaru přitlačována k čelnímu povrchu přidržovačem, zatímco se ramena vyčnívající za ohybník ohýbají posuvem po zaoblené ohýbací hraně ohybnice. Po ohnutí budou mít ramena směr shodný se směrem pohybu ohybníku. Stejně jako při předcházejícím rozboru ohybu do tvaru „V“ lze i tento proces rozdělit na tři fáze. Pružný a plastický ohyb tvoří fáze volného ohýbání. Následuje-li dále kalibrace výlisku, hovoříme o ohýbání s kalibrací.

2.5.1 Volné ohýbání

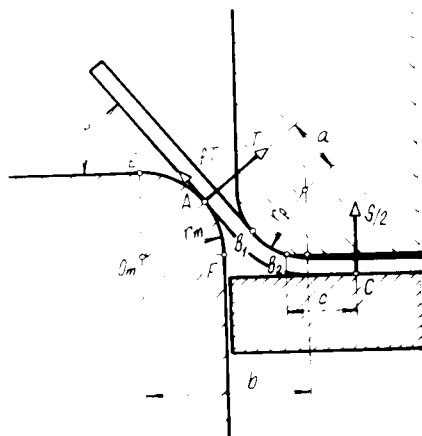
Během první fáze /pružná deformace/ nastává počáteční ohyb materiálu, jak je znázorněno na obr. 2.23.

Tím se tlak nástroje soustřeďuje v těchto bodech :
v bodě A - síla T vyvolaná ohybnicí, v bodě B - síla ohybníku a v bodě C - síla přidržovače.

V počáteční fázi procesu jsou tyto síly rovnoběžné a jejich podmínka rovnováhy je

$$T + S = P \quad .$$

Při tomto zatížení nastane největší ohybový moment v bodě B /obr. 2.23/. V okamžiku dosažení hodnoty podle vzorce /2.4/ končí fáze pružného ohybu /dosažení plastické deformace v krajních vláknech/ a nastává plastický ohyb. Postupně s pracovním pohybem ohybníku se rozšiřuje kolem tohoto průřezu plasticky deformovaná oblast a současně se v tomto místě zvětšuje zakřivení materiálu, až poloměr vnitřního povrchu plechu bude odpovídat poloměru ohybníku r_p /obr. 2.24/.



Obr. 2.24 Průběh ohybu a soustava sil při lemování
Fočinaje tímto okamžikem dochází k dalšímu ohýbání materiálu jeho postupným navíjením na válcový povrch ohybníku. Zvětšuje se tak délka oblouku $B_1 B_2$, ve kterém ohýbaný materiál o poloměru $\rho_s = r_p + s/2$ přiléhá k pohyblivé čelisti a ohýbané rameno vytváří stále

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 29

větší úhel α s původním vodorovným směrem. Zároveň se bod dotyku A tohoto ramena s ohýbací čelistí přesunuje podél oblouku EF. Poněvadž ohýbaný materiál klouže po povrchu ohybnice, působí kromě složky T, směřující kolmo k povrchu ohýbaného ramena, rovněž tangenciální složka FT.

5. 2 Ohyb s kalibrací

Jak vyplývá z předchozích úvah, skládá se obrys výlisku ze tří částí /obr. 2.24/ :

- středního oblouku B₁ B₂ s konstantním poloměrem ρ_s ,
- bočních úseků AB₁ a CB₂, na kterých zakřivení klesá postupně na nulu.

Lze-li délku přechodného úseku AB₁ zmenšit na požadované rozměry volbou příslušné vůle v ohýbadle, je možné zmenšení úseku CB₂ na požadované rozměry kalibrováním výlisku v konečné fázi procesu.

Dosedne-li přidržovač pohybující se tlakem ohybníku na základovou desku nebo jiný pevný prvek ohýbadla, nastane přitlačení výlisku k čelnímu povrchu pohyblivé čelisti. Úsek CB₂ se pak zkracuje, což je doprovázeno příslušným vzrůstem tlaku v ohybníku.

Při ohýbání plechu do tvaru „U“ působí určité obtíže pružné výlisku, což způsobuje vyhnutí ramen profilu. Tomu lze předejít buď ohnutím ramen o úhel α menší než 90° se zřetelem k pozdějšímu jeho zvětšení nebo také dodatečnými plastickými deformacemi v místě ohybu, čímž se odstraní zbylá pnutí. Těmito otázkami se zabývá stať 3.3 .

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DF - ST 1097/74	
Fakulta strojní		KTM	str. 30

3. KVALITA VÝLISKŮ

3.1 Hlediska pro hodnocení kvality výlisků

V této části kapitoly 3 jsou probrána hlediska pro hodnocení kvality výlisků na podkladě srovnání parametrů skutečných /výlisek/ s požadavky uvedenými ve výrobní /výkresové/ dokumentaci.

Vyrobění dokonalé /kvalitní/ součástky vede přes celou řadu problémů, které jsou charakteristické pro jednotlivé technologické procesy. Chceme-li vyrobenou součástku srovnat s našimi požadavky, musíme znát hlavní nedostatky a potíže, vznikající při konkrétním procesu.

Mezi nedokonalosti ohýbání patří :

- nepřesnost úhlu ohybu, způsobená různě velkým odpružením při ohýbání, jímž se úhel ohybu zmenšuje a poloměr ohybu zvětšuje , průměrnou velikost odpružení vyloučíme úpravou geometrie nástroje, avšak úchytky způsobené nestejnou měrností mechanických vlastností materiálu a tloušťky plechu se dají zmenšit jen složitějším nástrojem nebo přidavnou operací ,
- deformace průřezu v oblasti ohybu a částečně i v přilehlé části ramen , největší je zmenšení tloušťky,
- deformace ramen poblíž oblasti ohybu při volném ohýbání,
- nepřesné umístění místa ohybu /nepřesné délky ramen/ vyvolané nesprávným uložením polotovarů a nestejným třením na hranách čelistí ,
- nestejný tvar ohybu po jeho délce, způsobený šikmostí okraje plechu k ose ohybu ,
- porušení materiálu /trhliny/ na vnější straně ohybu, způsobené malým poloměrem ohybu, malou tvárností materiálu, nerespektováním směru vláken a uložením přístřihu otřepem k vnější straně ohybu ,
- zpevnění materiálu v oblasti ohybu vyvolané tvářením za studena.

Nedokonalosti běžného postupu lze pochopitelně podstatně zmenšit, avšak výrobní náklady se tím zvýší, protože se zvýší cena nástroje a případně přidá další operace. Těmito otázkami se zabývá stať 3.3 .

Kvalitu ohýbaných součástí lze posoudit podle výrobních podkladů, které shrnují požadavky na výlisek. V podstatě sledovaná hlediska pro hodnocení kvality ohýbaných součástí jsou:

1. rozměrová a tvarová podobnost s výkresem výlisku /přesnostní charakteristika/,
2. jakost povrchu výlisku .

Na základě těchto skutečností lze usuzovat na kvalitu výlisků. Čím více se blíží skutečné rozměry, tvar, stav povrchu /s ohledem na mechanické hodnoty/ předepsaným hodnotám, tím je výlisek kvalitnější.

1. Rozměrová a tvarová podobnost s výkresem výlisku

Při ohýbání polotovaru do tvaru V je na výkrese výlisku obvykle jeho obrys znázorněn kruhovým obloukem, přecházejícím v určitých místech do rovných úseků ramen svírajících spolu požadovaný úhel ohybu .

Při volném ohýbání se obrys výlisku v nástroji poněkud liší od obrysu na výkresu /obr. 2.21/. To má podstatný význam na konečný tvar výlisku po vyjmutí z nástroje. Průměrná hodnota odpružení se při tomto způsobu ohýbání poměrně snadno /téměř/ odstraní /nestejná tloušťka, různé mechanické vlastnosti polotovaru/ . Pro materiály vhodné na ohýbání jsou na základě zkoušek sestaveny diagramy odpružení v závislosti na poměrném poloměru ohybu r/s a úhlu ohybu $/\theta/$. O tyto hodnoty se provede úhel sevření pracovních ploch nástroje menší než požaduje výkres výlisku.

Výsledkem volného ohýbání je zvětšení části zakřivení výlisku /větší poloměr ohybu při zachování úhlu ohybu/ a zmenšení přímých úseků ramen oproti výkresu výlisku.

Úhel ohybu se ve většině případů zachová /průměrná hodnota/. Měřítkem přesnosti /kvality/ tohoto tvaru výlisku jsou tedy odchylky /obr. 3.1/ od výkresových hodnot v :

- zaoblení přímých ramen / ρ_s a ρ_v /,
- délce přímých ramen / l a l_v /,
- úhlu ohýbání / α a α_v /,
- otevření výlisku / O a O_v /,
- výšce výlisku.

Při zachování podmínky: tloušťka, mechanické vlastnosti = konst. je odchylka úhlu ohybu nulová.

Jestliže je délka pracovní části ohýbnice menší než rameno výlisku, přibývá hledisko jeho přímosti.

Podobná měřítka posouzení přesnosti výlisku lze stanovit i pro ohýbání s kalibrací. Odchylky se od předepsaných rozměrů podstatně zmenší.

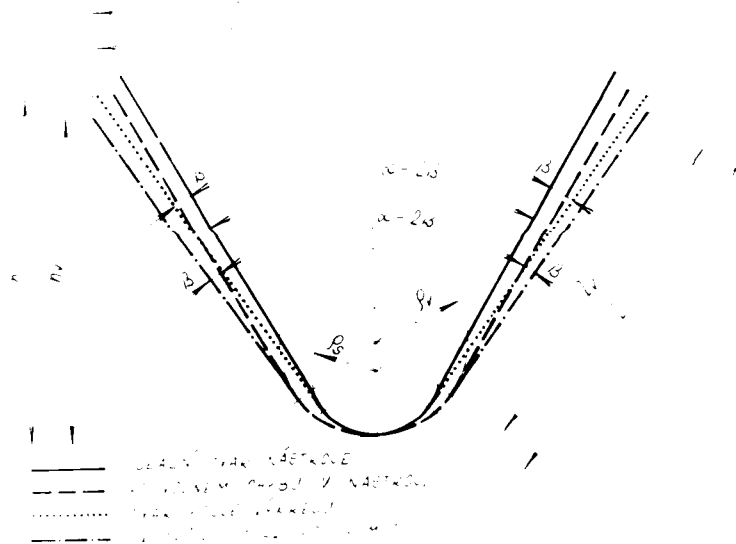
2. Jakost povrchu výlisků

Jakost povrchu ohýbaných součástí lze posuzovat podle funkčního využití výlisku z hlediska při kterém :

- nezáleží na jeho mechanických hodnotách,
- na jeho mechanických hodnotách záleží .

V prvním případě jde o posouzení vad povrchu z hlediska estetického /záděry, otlačení, poškrábání, trhliny v oblasti ohybu/, kdy jde hlavně o ochranu proti korozi, o stav povrchu a z hlediska dalšího zpracování výlisků /např. povrchová úprava/. Uvedené vady mají nepříznivý vliv na životnost nátěrů. Na povrchu kovu mohou ulpět nejružnější nečistoty, které zhoršují přilnavost nátěru, neboť tvoří mezivrstvu jeho zakotvení. Mohou působit i chemicky a rozrušovat nebo měnit jeho vlastnosti.

Makronerovnosti mohou dosáhnout i takových hodnot, že se nejvyšší vrcholky jen špatně nátěrem překryjí, nátěr je zeslaben a povrch kovu jím proniká /koroze/.



Obr. 3.1 Rozměrové a tvarové odchylky vylisku od výkresových hodnot

Stejně negativní vlivy mají uvedené vady i na jiné povrchové úpravy.

V druhém případě jsou pro funkci výlisku prvořadě jeho mechanické vlastnosti, a proto vady povrchu posuzujeme z hlediska pevnostního. Patří sem výlisky používané jako strojní součásti namáhané napětím, často cyklickým. Ohýbáním se tyto mechanické vlastnosti mění: nastává zpevnění povrchu vlivem ohýbání při poklesu pevnosti vlivem poruch krystalové mřížky a zbylých napětí v kovu /závisí na druhu materiálu, na stupni deformace, na tvaru nástroje/.

Jiným zdrojem zpevnění výlisku je stárnutí po plastické deformaci. Nežádoucí vlivy zpevnění se projeví zkřehnutím oceli /lze sledovat při poklesu vrubové houževnatosti/a posunutím přechodové teploty ke křehkým lomům. V případě cyklického namáhání výlisku vady povrchu zvyšují možnost únavového lomu /vruby/.

Na tyto jevy je třeba brát zřetel při volbě materiálu na pevnostně namáhaný výlisek i určení parametrů ohýbání.

3. 2 Přehled vlivů určujících kvalitu výlisků

Kvalita výlisků při ohýbání v podstatě závisí na vlivech:

1. ohýbaných polotovarů,
2. ohýbacího procesu,
3. ohýbacího nástroje /ohýbadla/ .

Mezi hlavní faktory ohýbaných polotovarů ovlivňujících kvalitu výlisků patří :

- a/ tvar a rozměr ohýbaného výlisku,
- b/ stejnorodost mechanických vlastností ohýbaného materiálu,
- c/ nestejná tloušťka ohýbaného materiálu,
- d/ technologičnost konstrukce výlisků.

Ohýbací proces ovlivňuje kvalitu výlisků:

- a/ počtem operací při ohybu /provádí-li se zhotovení součásti najednou nebo po několika ohýbacích operacích,

b/ zařazením kalibrování po ohýbání.

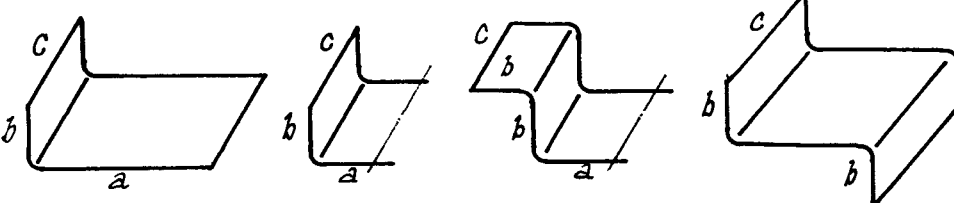
Vliv ohýbacího nástroje na kvalitu výlisku uvádí stať 3.3.

3. 2. 1 Vlivy ohýbaných polotovarů na kvalitu výlisků

a/ Tvar a rozměr ohýbaného výlisku

Přesnost výlisků se mění se změnou jejich rozměrů a tvaru /způsob ohýbání/. Orientační hodnoty tolerancí rozměru ohýbaných součástí, kterých lze dosáhnout při běžném způsobu ohýbání, jsou uvedeny v tabulce 3.1, 3.2, 3.3 .

Tab. 3.1 Tolerance rozměrů výlisků



C / mm /	S /mm/	a /mm/			b /mm/		
		< 50	50 až 100	100 až 150	< 50	50 až 100	100 až 150
100	< 1	± 0,3	0,4	0,5	0,5	0,8	1,0
	1-3	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,5
	3-6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5
100 až 200	< 1	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
	1-3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	1,5
	3-6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	2,0
200 až 400	< 1	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,5
	1-3	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5
	3-6	0,8	1,0	1,2	1,0	1,5	2,0
400 až 800	< 1	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5
	1-3	0,8	1,0	1,2	1,0	1,5	2,0
	3-6	1,0	1,2	1,5	1,5	2,0	± 2,5

Hodnoty platí pro ohyb 90, při větším úhlu ohybu je třeba tolerance zvětšit.

Vliv na toleranci poloměru ohybu má materiál, druh ohýbání, tolerance tloušťky plechu apod. .

Tab. 3.2 Tolerance poloměrů ohybu /1/

poloměr ohybu r /mm/	< 3	3 až 6	6 až 20	> 20
tolerance \pm mm	0,5	1	2	3

Tab. 3.3 Tolerance úhlu ohybu /1/

Materiál	Poměrný poloměr ohybu r/s		
	< 1	1 až 2	2 až 4
měkká ocel, mosaz = 30 kpmm	$\pm 15'$	$\pm 30'$	$\pm 1^\circ$
středně tvrdá ocel = 40 kpmm	$\pm 30'$	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 3^\circ$
mosaz polotvrdá = 35 kpmm tvrdá ocel = 60 kpmm	—	$\pm 3^\circ$	$\pm 5^\circ$

Tolerance tloušťky plechu v místě ohybu je jednosměrná, tloušťka se zmenšuje tím více, čím je menší poloměr ohybu a čím je tažnější materiál. Ztenčení zasahuje částečně i do ramen.

Doporučuje se připustit zeslabení tloušťky o 20% .
O deformaci příčného průřezu a zeslabení tloušťky ohýbané-

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 37

ho plechu pojednává kap. 2.

V zájmu kvalitního výlisku je důležité nezmenšovat tolerance rozměrů pod uvedené hranice.

Poloměr ohybu

Minimální přípustné poloměry ohybu r_{min} jsou přiměřeny plastičnosti materiálu z kterého výlisek děláme a ještě vylučuje výskyt trhlin v oblasti ohybu.

Minimální poloměr ohybu závisí na:

1. mechanických vlastnostech materiálu součásti,
2. úhlu ohybu, který má vliv na velikost tahového napětí ve vnějších vláknech výlisku,
3. směru čáry ohybu vzhledem ke směru válcování,
4. stavu okrajů ohýbaného polotovaru /jsou-li na krajích otřepy a jak jsou rozmístěny při ohybu/.

Největší poloměr ohybu je dán nutností, aby v krajních vláknech průřezu došlo k trvalému přetvoření. Jinak by prohnutí bylo jen pružné a materiál by se po odlehčení narovnal / v krajních případech /. Jestliže se provádí ohyb s velkým poloměrem zaoblení / $r/s \gg 12$ /, lze odstranit nepřesnosti konečného tvaru /odpružení/ ohýbáním s navínáním. Tažná síla způsobuje dodatečné napětí /deformaci 2 až 4 % / již zakřiveného materiálu.

Tyto otázky nejsou obsahem této práce a při ohýbání v lisovadlech se většinou uskutečňuje ohyb s malým poloměrem zaoblení / $r/s < 6$ /, takže ani nemají *žádný* význam.

Minimální přípustný poloměr ohybu musí odpovídat tvárnosti materiálu, aby nedošlo ke vzniku trhlin. To znamená, že dovolené napětí ve vnějších vláknech omezuje jejich deformaci. Vzniklé prodloužení vnějších vláken při ohýbání se stanoví ze vzorce

$$\varepsilon = \frac{s/2}{r+s/2} = \frac{1}{2r/s + 1} \quad /3.1/$$

Mezní prodloužení ε_k , t.j. takové prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu /napětí přesáhne σ_A /, určíme ze vztahu /3.1/.

Po vyloučení r dostaneme

$$r_{min} = s/2 \left[\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right].$$

To platí do důsledku pro méně tvárné materiály. U tažných materiálů je minimální poloměr ohybu omezen největším přípustným zmenšením tloušťky v oblasti ohybu /obvykle na $0,8s$ /.

Hodnoty minimálních poloměrů ohýbání pro běžné druhy ocelových plechů užívaných k lisování za studena /1/ a pro hliník a jeho slitiny /8/ jsou uvedeny v tabulce 3.4. Tyto hodnoty platí pro materiál do tloušťky $s = 3\text{mm}$. Při větších tloušťkách viz údaje v materiálových listech.

Při navrhování výlisků je třeba dbát zásady, že se má r_{min} používat jen když to bezpodmínečně vyžaduje jeho konstrukce. Na jedné straně se sice zmenší odpružení, ale je nutno dbát na orientaci čáry ohybu vzhledem ke směru válcování. Způsobují také větší sploštění místa ohybu /ztenčení tloušťky/. Z ekonomického hlediska je výhodnější hospodárnější nástřih materiálu, kdy nezáleží na směru vláken / $r/s > 12$ /. Pružení se vyloučí některou z úprav konstrukce ohýbadla, které jsou probrány ve stati 3.3.

Jak je patrné z tabulky 3.4, je r_{min} závislý na několika faktorech. Vliv každého uvedeného faktoru je následující:

1. Druh a stav materiálu /mechanické vlastnosti materiálu/

Tvárnost materiálu umožňuje ze působení vnějších sil jeho přetvoření do daného stunně a tveru, aniž dojde k porušení celistvosti tvářeného materiálu.

Stupeň tvárnosti souvisí u kovů velmi úzce s jejich vnitřní stavbou. Různá orientace zrn ovlivňuje kluzový

Hodnoty minimálních poloměrů ohýbání pro běžné druhy ocelových plechů /1/ a pro hliník a jeho slitiny /8/ jsou uvedeny v tab. 3.4 .

Tab. 3.4 Hodnoty minimálních poloměrů ohybu /1,8/

Materiál	Vyžádaný nebo normalizovaný		Zpevněný	
	napříč vláken	podél vláken	napříč vláken	podél vláken
10 340, 11 343.3 12 010	—	0,4s	0,4s	0,8s
10 030, 12 020	0,1s	0,5s	0,5s	1,0s
10 420, 12 030 12 031	0,2s	0,6s	0,6s	1,2s
12 040, 12 051	0,3s	0,8s	0,8s	1,5s
11 600, 12 050 12 051	0,5s	1,0s	1,0s	1,7s
11 700, 12 060 12 061	0,7s	1,3s	1,3s	2,0s
Pevnost v tahu kpm ⁻²	měkký	polotvrký	tvrdý	
	hliník a jeho slitiny			
6 - 10	0,2 - 0,5s	0,5 - 1s	—	
10 - 18	0,5 - 1s	1 - 1,5s	1,5 - 2s	
18 - 25	1 - 1,5s	1,5 - 2s	2 - 2,5s	
25 - 30	1,5 - 2s	2 - 2,5s	2,5 - 3s	
30 - 35	2 - 2,5s	2,5 - 3s	3 - 3,5s	
35 - 40	—	—	3,5 - 4s	
40 - 50	—	—	4 - 5s	

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 40

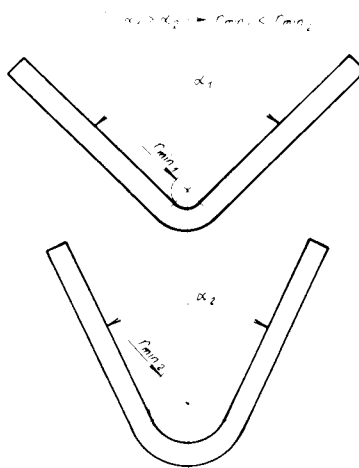
mechanismus, kovy s plošně středěnou krychlovou mřížkou mají větší soustavu kluzových rovin než kovy se šesti-
rečnou mřížkou, proto je možno najít vždy vhodně oriento-
vanou rovinu v krychlové mřížce, v níž dojde ke kluzu
snadněji.

Tvárnost je ovlivněna zejména chemickým složením, dru-
hem napjatosti během tvářecího procesu.

Vlivem zpevnění materiálu /i stříhání/se mimo jiné
zmenší také tažnost materiálu. To má za následek, že
k porušení dojde již při větším poloměru ohybu. Poloměr
ohybu je tedy tím větší, čím je vyšší modul zpevnění
ohýbané součástky.

2. Úhel ohybu

Se zmenšováním úhlu ohybu /obr. 3.2/, zvláště u kovů
s malým poměrným prodloužením, se velikost poloměru
ohybu musí zvětšovat.

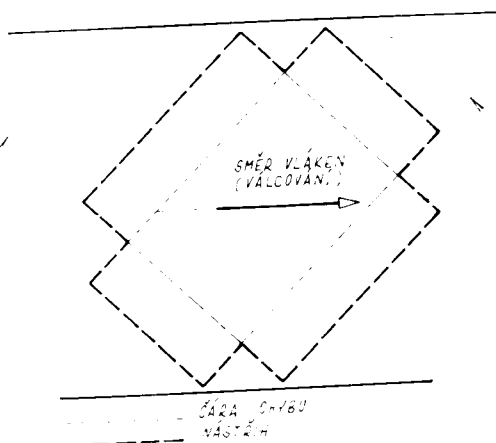


Obr. 3.2 Vliv úhlu ohybu na minimální poloměr ohybu

Se zvětšujícím se zakřivením roste tahové napětí ve
vnějších vláknech výlisku.

3. Orientace čáry ohybu a směru vláken

Souhlasí-li směr válcování /vláken/ se směrem tahového napětí, můžeme si dovolit větší zakřivení výlisku, než při namáhání vláken příčně, aniž by došlo k trhlinám v místě ohybu /anizotropie válcovaného materiálu/. Hrana ohybu má proto ležet napříč vláken, t.j. kolmo ke směru válcování nebo pod úhlem, který se blíží 90° /obr.3.3/. V druhém případě se však musí r zvětšit. Tato zásada /orientace/ platí pro pohyb poloměry / $r/s > 12/$.



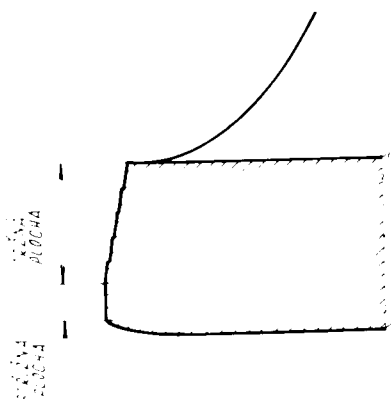
Obr.3.3 Orientace směru vláken a čáry ohybu

4. Stav okrajů ohýbaného polotoveru

Veškeré nerovnosti, trhliny a pukliny, ležící v natahované části podporují praskání. Proto je nutné vystřižené části ohýbat tak, aby otřep, u kterého se vyskytují příčné trhliny, byl na straně stlačované. Při stříhání vzniká podle obr. 3.4 střížná a tržná plocha. Proto střížná plocha má ležet na vnější straně ohybu, t.j. tvořila vlákna, která se budou natahovat. Jedině tak se umožní ohnutí silnějších výstřižků bez trhlín.

Často se ovšem stává, že je zvlášť předepsáno, aby tržná plocha ležela vně, neboť právě zde je ostřejší hrana.

V těch případech je nutno tabulkový minimální poloměr ohybu zvětšit 1,5 až 2 krát.



Obr. 3.4 Rozdělení ploch stříhaného materiálu a jeho ohyb

b/ Stejnorodost mechanických vlastností ohýbaného materiálu

Mechanické vlastnosti mají podstatný význam na velikost minimálního poloměru ohybu /str. 37 / a velikost pružení výlisků.

Pružení výlisků

Pružení patří mezi důležité faktory, ovlivňující kvalitu výlisků. Na velikosti pružení se podílí :

- materiál ohýbaného polotovaru,
- chýbadlo, kterým operaci vykonáváme,
- ohýbací proces /provádí-li se zhotovení součásti najednou, nebo po několika ohýbacích operacích/.

Odpružení se zpravidla vyjadřuje změnou úhlu a je tou veličinou, o níž je třeba zmenšit úhel ohybu nebo ohýbací čelisti, aby se dosáhlo požadovaného úhlu ohnuté součásti.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DF - ST 1097/74	
Fakulta strojní		KTM	str. 43

Velikost úhlu odpružení lze určit dvěma způsoby :

- analytickým výpočtem,
- pokusně zkouškami a měřením .

O prvním způsobu pojednává více vědeckých prací, vzorce, získané na základě těchto prací, jsou však složité a pro praxi se nehodí. Nemohou zachytit proměnné vlivy, ke kterým běžně při ohýbání dochází / např. seřízení lisu nástroje/. Proto se používá výsledků zkoušek pružení. Větší praktický význam má výpočet pružení pro poměry r/s větší /od 5 do 8/. Pro volné ohýbání platí přibližně vzorce pro výpočet pružení / 3 / :

pro ohyb do tvaru „V“

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \quad l/k.s \quad \cdot \hat{\sigma}_k/E \quad ,$$

pro ohyb do tvaru „U“

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \quad l/k.s \quad \cdot \hat{\sigma}_k/E \quad .$$

Ve vzorcích znamená :

- β - úhel pružení /jednostranný/ ve stupních,
- $\hat{\sigma}_k$ - mez kluzu /kpmmm/,
- E - modul pružnosti vztahu /kpmmm/,
- s - tloušťka materiálu /mm/,
- l - vzdálenost mezi opěrnými body ohybnice /mm/,
- l_1 - rameno ohybu, rovnající se $r_m + r_p + 1,2s$,
- k - součinitel, který určuje polohu vrstvy neutrálního prodloužení podle poměru $r/s = 1-x$ /str. 15/.

K určení velikosti pružení v oblasti poměrů $r/s > 5$ až 8 se doporučuje užívat /1/ grafické závislosti mezi úhlem pružení a tímto poměrem.

Na pružení ohýbaného plechu má z hlediska materiálu a konstrukce vylisku vliv několik činitelů :

- vlastnosti ohýbaného materiálu /mechanické vlastnosti tloušťka/,
- stupeň deformace při ohýbání /poměrný poloměr ohybu r/s /,
- úhel a způsob ohybu /tedy, jde-li o ohýbání do tvaru „V“ nebo „U“/.

Základní význam mají pružné vlastnosti materiálu. Prakticky největší problém je, že pružení může být pro každý případ jiné. Nepatrné rozdíly v tloušťce materiálu /tolerance/ již značně mění velikost odpružení. Tyto rozdíly mohou způsobit velkou nepřesnost rozměrů a tvaru výlisku, mohou být příčinou velkého kolísání síly, i neúspěchu ve výrobě /zmetek, havárie/. Hlavně je důležité, aby tloušťka příliš nekolísala uvnitř jedné výrobní dávky.

Týž materiál stříhaný různým směrem z tabule nepruží stejně.

Pružení se zvětšuje, jestliže je :

- vyšší mez kluzu / σ_k / ohýbaného materiálu,
- větší poměr r/s ,
- menší tloušťka ohýbaného materiálu,
- větší úhel ohybu ,

a ostatní podmínky ohýbání jsou zachovány.

Konkrétní hodnoty pružení pro vymezené podmínky ohýbání a materiály např. v /8/.

Kromě toho má ještě na pružení vliv :

- zařazení kalibrace po volném ohýbání,
- konstrukce nástroje.

První /druhý/ faktor je probrán ve stati 3.2.2 /3.3/.

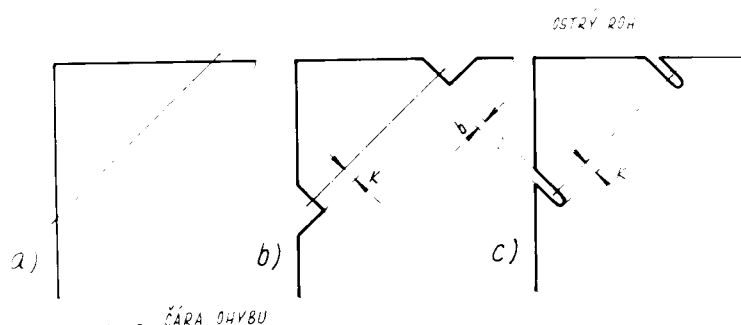
Neméně důležitý vliv na kvalitu výrobků má také přesnost nástřihu ohýbaného plechu. Na přesném stanovení rozvinutého tvaru výlisku /s ohledem na vrstvu nulového prodloužení/ je závislá přesnost výlisku.

c/ Nestejná tloušťka ohýbaného materiálu

Kolísání tloušťky /tolerance/ materiálu má výrazný vliv na odpružení výlisku, mění kalibrovací tlak v seřizovaném nástroji. Ovlivňuje jakost /drsnot/ povrchu, mění hodnotu vůle mezi pracovními plochami ohýbadla /str. 54 /.

d/ Technologičnost konstrukce výlisků

Technologičnost konstrukce výlisků z plechu závisí na respektování nedokonalostí ohýbání /str. 30./ při jeho konstrukci. Vychází do jisté míry ze zvyklostí lisovny. Jestliže se nástřih ohýbá jen v některé části /"jazýčky"/ je třeba dodržet zásadu, aby osa ohybu směřovala kolmo k obrysu součásti a aby místo ohybu bylo odděleno od neohýbaných částí materiálu. To ve většině případů vyžaduje úpravu obrysu /obr. 3.5/.



Obr. 3.5 Úprava nástřihu

Nástřihy musí být vždy tak upraveny, aby se materiál nikde neohýbal na hraně, která přechází do ztracena. Jinak se hrana ohýbá velmi nečistě a nepřesně. Okrajové části budou deformovány a poloměr ohybu bude při krajích větší.

Pro úpravu plechu při ohýbání "jazýčků" uvádí /4/ hodnoty, které zabezpečují ohyb bez trhlin v místě oddělení ohýbané a pevné části nástřihu /obr.3.6/ .

V případě, že pro vzdálenost a /obr. 3.6/ platí $a > s$, nejsou výřezy nutné.

Je také omezena vzdálenost místa ohybu od kraje materiálu. Obecně má být tím větší, čím je materiál tvrdší.

Rameno musí mít určitou nejmenší délku, aby se dal ohýb bez zvláštních opatření provést. $/H\eta/$. Pro splnění této podmínky má být :

při $r < 1\text{mm}$ $H \geq 3s$, avšak nejméně 2mm,

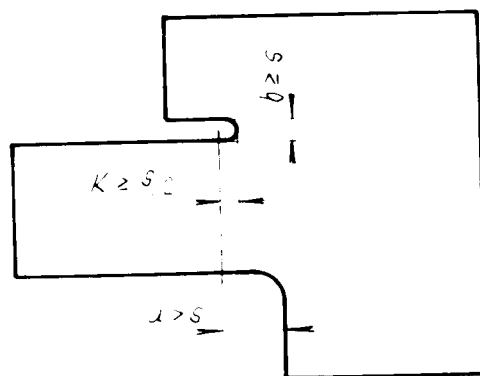
při $r = 1\text{mm}$ $H \geq /2,5 \text{ až } 3/ s$,

při $1\text{mm} < r < 5\text{mm}$.. $H \geq 2s$ /obr. 3.7/



Rameno musí mít určitou nejmenší délku, aby se dal ohyb bez zvláštních opatření provést. $/H\eta/$. Pro splnění této podmínky má být :

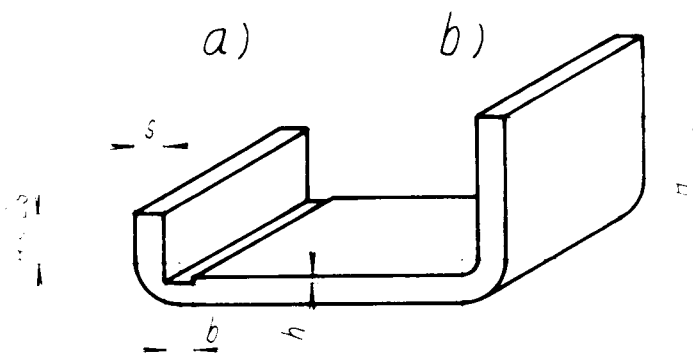
- při $r < 1\text{mm}$ $H \geq 3s$, avšak nejméně 2mm,
- při $r = 1\text{mm}$ $H \geq /2,5 \text{ až } 3/ s$,
- při $1\text{mm} < r < 5\text{mm}$.. $H \geq 2s$ /obr. 3.7/



ČÁRA OHYBU

Obr. 3.6

Jestliže tyto podmínky nejsou splněny a výlisek má menší výšku ramena, nedojde k čistému ohybu.

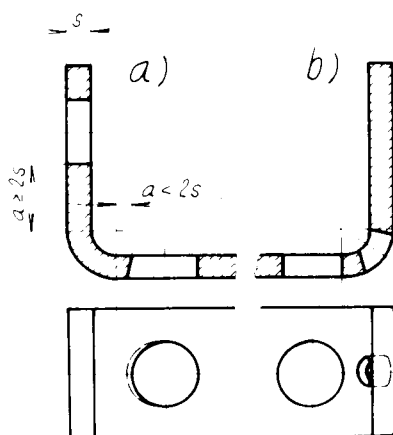


Obr. 3.7 Ohýbání krátkého ramena

V takových případech je třeba vytvořit na polotovaru drážky /obr. 3.7a/ široké 2 až 3mm a hluboké /0,1 až 0,3/s, které zlepší průběh ohýbání. Jiná možnost předpokládá určitou úpravu nástroje /kap. 3.3/. Je také možné dodatečné ražení po nedokonalém prvním ohybu. Tato řešení však nevedou ke kvalitnímu výlisku /pravidelný ohyb, stejnoměrná tloušťka/, pouze ohyb umožňují. Při požadavku dokonalého výlisku je třeba ohnout delší nástřih, aby byla výška ramen větší než H_m a potom dodatečně výšku upravit na žádaný rozměr /uříznutím, frézováním/.

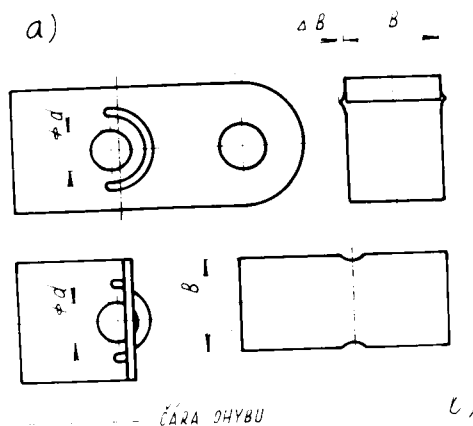
Tento poslední způsob však prodlužuje technologický proces výroby výlisku, zvyšuje jeho cenu a je tedy z ekonomického hlediska nevýhodný. Použije se u přesných výrobků, u nichž je buď předepsána přesná výška ramen a nebo se nesmí zmenšit tloušťka ramen.

Nemá-li dojít k deformaci otvoru ve výlisku, umístěném v oblasti ohybu, musíme dodržet zásadu, aby byl jeho okraj v určité vzdálenosti od této oblasti /obr. 3.8/. Nelze-li tuto podmínku dodržet, je třeba deformaci zabránit odlehčovacím otvorem přímo v oblasti ohybu /obr. 3.8b/ nebo požadované přesné otvory v oblasti ohybu vystříhnout dodatečně, což ale vyžaduje složitý nástroj.



Obr. 3.8 a/ otvory v oblasti ohybu a jejich deformace, b/ odlehčovací otvor a jeho účinek

Přesný otvor v místě ohybu můžeme zachovat, upravíme-li nástřih podle obr. 3.9a.



Obr. 3.9 Deformace v místě ohybu, a/ zachování přesného otvoru, b/ úprava odstraňující vybočení

Zeslabení stěny a vyboulení původně pravouhlého průřezu se nejvíce projevuje při ohybu úzkých tyčí $/b < 3s/$ a při malém poloměru ohybu $/r/s < 6/$ a způsobuje tak nepřesnosti výlisku. Jestliže je vybočení stran nepřijatelné, jsou možná dvě řešení :

- mechanické opracování výlisku /frézováním, broušením/,
- konstrukční úpravou ohýbaného polotovaru /obr.3.9b/

3. 2. 2 Vliv ohýbacího procesu na kvalitu výlisků

Ohýbací proces ovlivňuje kvalitu výlisků :

- zařazením kalibrování po volném ohybu,
- počtem ohybů /zda se uskuteční zhotovení součásti najednou nebo po několika ohýbacích operacích/.

Těmito uvedenými způsoby se výrazně ovlivňuje kvalita výlisků. Odstraňují se /omezují/ nedokonalosti ohýbání /kap. 3.1/ přidavnou operací - rovnáním, kalibrováním, ražením, tvarováním oblasti pohybu a podobně.

Při kalibraci závisí pružení /kromě již uvedených vlivů/ na :

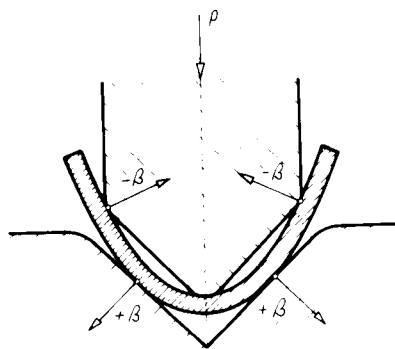
- stupni /síle/ kalibrace,
- seřízení lisu.

Proto ho nelze stanovit ani teoreticky, ani podle tabulek a určuje se zkusmo.

Z praxe jsou známy případy, kdy při odpružení, ohýbá-li se na doraz s malým poloměrem zakřivení / $r/s < 0,2 \div 0,3$ / a s ražením úhlu, se úhel ne zvětšuje, nýbrž zmenšuje. Tento úkaz vysvětluje průběh ohýbacího pochodu /stať 2.4.2/, zejména jeho dvě poslední fáze, narovnání ramen a ražení úhlu.

Při ohýbání s kalibrací nastává dvojí odpružení opačného smyslu /obr. 3.10/ :

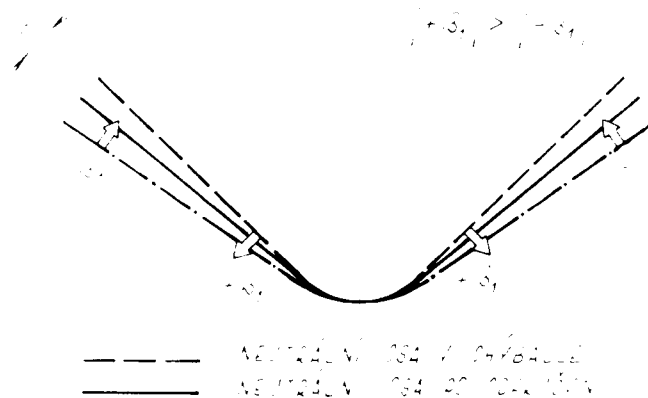
- odpružení zaoblení úhlu ohybu /kladné odpružení + e/,
- odpružení ramen, která se při ohýbání přitlačují /napřimují/ ohybníkem k ohybnici /záporné odpružení -e/.



Obr. 3.10 Druhy odpružení při ohýbání

Vlivem vzájemného působení kladného a záporného odpružení nastávají v závislosti na hodnotách r/s , tři možnosti. Celkový úhel odpružení je buď :

- kladný $\left[\begin{array}{l} / + e / > / - e / \\ / + e / = / - e / \\ / + e / < / - e / \end{array} \right]$ viz obr.3.11,
- roven nule
- záporný



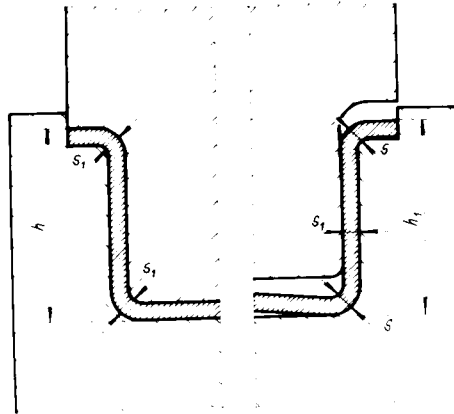
Obr. 3.11 Možnost odpružení /malá kalibrovací síla/

Při ohybu s kalibrací je důležité, že lze dosáhnout v jednom nástroji různé velikosti odpružení podle seřazení lisu /dolní úvrat/. V neposlední řadě má význam také kalibrace rozměru /přímost ramen/.

Kromě kalibrace existuje řada dalších přidavných operací, které ovlivňují kvalitu výlisků.

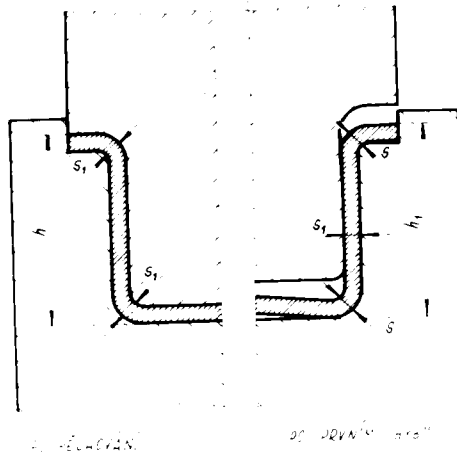
Jak bylo uvedeno /stať 2.2/ dochází v oblasti ohybu ke ztenčení tloušťky materiálu. Máme-li zásadní požadavek stejnoměrné tloušťky výlisku včetně oblasti ohybu, musí po běžném ohybu následovat operace další - pýchování úhlu. To je založeno na nárůstu tloušťky materiálu z hodnoty s na s_1 . Potřebný materiál získáme výloučením zakřivení ramena nabráním materiálu snížením výšky ramen z hodnoty h_1 na h /obr. 3.12/.

Pýchování se provádí v uzavřené ohybnici, ve které není možné tečení materiálu do stran. Lze takto /4/ získat zvětšení tloušťky do 40% /materiálové hledisko/, což je právě dostačující, aby byla splněna podmínka $s = \text{konst.}$ Příkladem získání výlisku více ohyby je ohýbání výlisku s ostrým rohem. Získání takového tvaru je běžným způsobem /1 ohyb/ prakticky vyloučeno /nízká kvalita/.



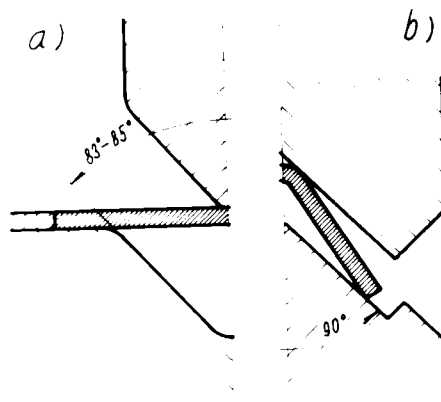
č. 100-01/74

20. 10. 1974



Obr. 3.12 Schema nástroje pro pěchování ůhlu vylisku
Chybání se tedy skládá z :

- chybu pod ůhlem menším než 90° v běžném ohýbadle /obr. 3.13a/,
- rozhýbání vylisku na opačnou stranu se současným tvářením ostré hrany /obr. 3.13b/ ..



Obr. 3.13 Ohýbání vylisku s ostrým rohem :
a/ volné ohýbání, b/ rozhýbání s ražením ůhlu

3. 3 Vliv konstrukce ohýbadel na kvalitu výlisků

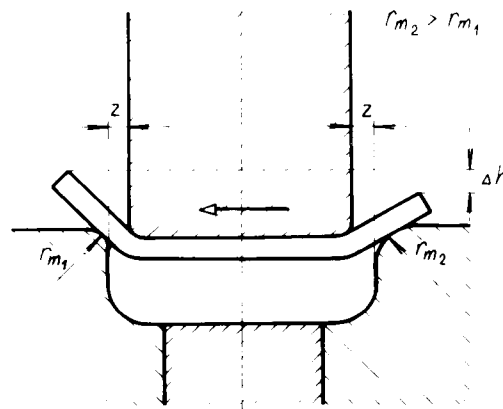
Ohýbací nástroje ovlivňují kvalitu výlisků svou :

- konstrukcí /konstrukčními prvky/,
- přestnostní charakteristikou,
- kvalitou povrchu .

Kromě těchto vlivů nástroje na kvalitu výlisků také záleží na jeho přesném ustavení na pracovním stroji /lisu/.

Mezi nedokonalostmi ohýbání, na které má vliv ohýbadlo, patří zejména:

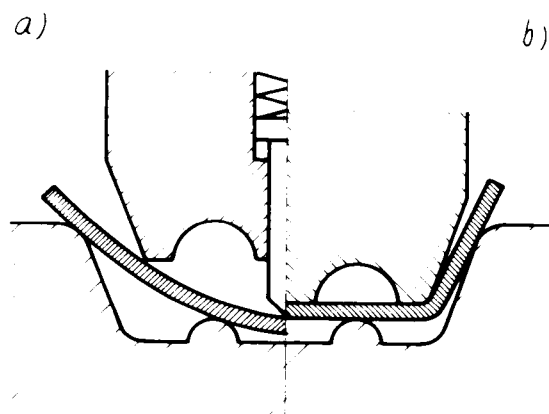
- otisky, otláčeniny, odření a záděry povrchu výlisku /objevují se hlavně u ohýbání měkkých materiálů/, příčinou je malé zaoblení ohýbacích hran ohybnice a nevhodná vůle mezi ohybníkem a ohybnicí/ i vlivem kolísání tloušťky ohýbaného materiálu/ a opotřebením nástroje /jakost povrchu pracovních částí/. Záleží ovšem také na charakteru mazání, jakosti povrchu ohýbaného polotovaru, na poměru délek ohýbaných ramen a pracovních ploch nástroje,
- trhliny, hlavně v oblasti ohybu. Objevují se vlivem nesprávně zvoleného poloměru zaoblení ohybníku r_p , vad materiálu,/i vlivem nesprávně vedené čáry ohybu/.
- posunutí ohýbaných ramen /různá délka/, hlavně při ohýbání profilů „U“ a „V“ v důsledku nepřesného ustavení základacích dorazů. Posunutí polotovaru v průběhu ohýbání působí různé poloměry zaoblení ohybnice r_{m1} a r_{m2} /obr. 3.14/, různý stupeň konečné úpravy pracovních ploch nástroje a jejich opotřebením, hlavně poloměrů zaoblení ohybnice,
- ztenčení materiálu při ohybu z příčiny :
 - a/ malého poloměru zaoblení ohybníku r_p ,
 - b/ zadření polotovaru mezi ohybníkem a ohybnicí /obr. 3.15/. K odstranění této příčiny je třeba změnit nástroj úpravou /obr. 3.15a/.



Obr. 3.14 Vliv nestejných poloměrů náběhových hran ohybnice

3. 3. 1 Stanovení rozměru ohýbadla

Rozměry pracovních částí ohýbadel musí odpovídat rozměrům uvedeným na výkresu vylisku s přihlédnutím k výrobním tolerancím nástroje. K tomu, aby žádané množství vylisků mělo požadované tolerance, je třeba navrhnout rozměry ohýbadla s přihlédnutím i na jeho opotřebení.



Obr. 3.15 Zmenšení namáhání materiálu /ztenčení/ při náhlých ohybech

Při stanovení pracovních částí ohýbadla se vychází ze základního rozměru výlisku. Chceme-li dodržet vnější rozměr /získá se podle rozměru ohybnice/, technologická vůle se dělá na úkor ohybníku. Rozměry základního nástroje /ohybnice/ se stanoví v soulasu s jmenovitými rozměry a příslušnými tolerancemi výlisku.

Při všech tolerancích má rozměr ohybnice odpovídat největšímu meznímu rozměru součásti A_{max} , zmenšenému o velikost přídatku na opotřebení nástroje P_0 . Obecný vzorec pro stanovení rozměru ohybnice je

$$A_{\xi} = / A_{max} - P_0 / + \rho_{\xi} ,$$

kde ρ_{ξ} značí dovolenou úchytku na zhotovení ohýbací čelisti /IT7 až IT8/.

Pevná čelist je vystavena většímu opotřebení než pohyblivá, proto se doporučuje volit optimální přídavek na jejich opotřebení $P_0 = 0,8P_u$, kde P_0 značí přídavek na opotřebení nástroje a P_u úchytku tvaru výlisku.

Pro pohyblivou čelist je vhodné optimální přídavek na opotřebení $P_0 = 0,2P_u$.

Obdobným způsobem stanovíme rozměr ohybníku. Protože během ohýbání se rozměr ohybníku opotřebováním zmenšuje, přidávají se k jeho nejmenším možným rozměrům již uvedené přídatky na opotřebení.

Obecný vzorec pro stanovení rozměru ohybníku je

$$a_{\xi} = / a_{min} + 0,8P_u / - \rho_{\xi} .$$

3. 3. 2 Vůle mezi činnými částmi ohýbadel

Technologická vůle z mezi ohybníkem a ohybnicí na jedné straně se stanoví podle vztahu /4/

$$z = [s + \Delta + \lambda s] ,$$

kde je : s - tloušťka plechu v mm,

Δ - horní tolerance tloušťky plechu v mm,

λ - koeficient, přihlížející k zmenšení tření ohýbaného plechu a pracovní povrch ohybnice /tab. 3.5/.

V závislosti na druhu a určení ohýbadla se mohou hodnoty z značně lišit.

Tab. 3.5 Hodnoty koeficientu λ

s [mm] Délka čary ohýbu [mm]	< 0,5	0,6 až 2,0	2,1 až 4,0	4,1 až 7,5	7,6 až 12,0
10	0,1	0,1	0,08	—	—
20	0,1	0,1	0,08	0,06	0,06
35	0,15	0,1	0,08	0,06	0,06
50	0,2	0,15	0,1	0,08	0,08
75	0,2	0,15	0,1	0,1	0,08
100	—	0,15	0,1	0,1	0,08
150	—	0,2	0,15	0,1	0,1
200	—	0,2	0,15	0,15	0,1

Jakost výlisků zhotovených v ohýbadlech s vůlí z s není nejlepší, proto se pro jednotlivé případy ohybu doporučují různé vůle.

Rozlišují se dva základní způsoby ohýbání :

- a/ ohnutí stěn výlisku do tvaru „V“,
- b/ ohnutí stěn výlisku do tvaru „U“.

V prvním případě je vůle $Z = s$, odpovídá zpravidla tloušťce ohýbaného materiálu, čehož se dosáhne seřizením lisu.

V druhém případě může mít vůle několik různých významů i hodnot v závislosti na skutečných podmínkách práce i geometrie nástroje.

V případě, že výška ohýbaného ramena je $H \leq 2s$, má mezera, zaručující dobrou jakost výlisku odpovídat minimální tloušťce ohýbaného materiálu : $z = s \min$

/t.j. $s - U_s$, kde U_s je spodní tolerance tloušťky plechu/.

V /7/ se uvádí, že vůle v těchto případech má mít hodnotu $z = 0,8s$ /redukce/, aby proběhl ohyb dokonaleji.

V případě, že použijeme chybník se sklonem bočních ploch $\alpha = 1 - 3^\circ$, je vůle $z = s \min - s \alpha$, t.j. odpovídá minimální až jmenovité tloušťce plechu.

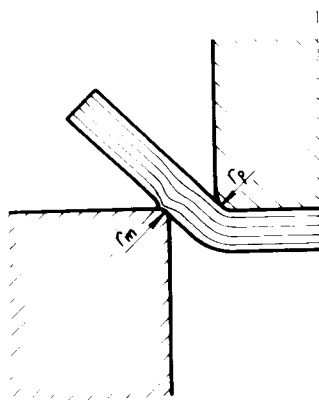
Touto úpravou se mimo jiné zmenšuje tlak ohybníku na ohybnici a snižuje možnost porušení nástroje nebo lisu při ohnutí silnějších materiálů. Při uspořádání ohýbadla s rovnoběžnými plochami ohybníku i ohybnice se doporučuje /1/ pro tloušťky do 3mm vůle $z = s$, ale jen v případě, že tolerance plechu není velká. Pro materiály o tloušťce $s \geq 3\text{mm}$ se doporučuje volit vůli $z = s_{\max} [s_{\max} = s^{+U_h}]$, kde U_h je horní tolerance tloušťky plechu/.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DF - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 56

Touto úpravou se mimo jiné zmenšuje tlak ohybníku na ohybnici a snižuje možnost porušení nástroje nebo lisu při ohnutí silnějších materiálů. Při uspořádání ohýbadla s rovnoběžnými plochami ohybníku i ohybnice se doporučuje /1/ pro tloušťky do 3mm vůle $z = s$, ale jen v případě, že tolerance plechu není velká. Pro materiály o tloušťce $s \geq 3\text{mm}$ se doporučuje volit vůli $z = s_{\max} [\sigma_{\max} = \sigma^* U_h]$, kde U_h je horní tolerance tloušťky plechu/.

3. 3. 3 Vliv vůle a poloměru zaoblení ohybnice na kvalitu vnějšího povrchu výlisků

Poloměry zaoblení ohybnice r_m jsou tak velké, aby se povrch výlisku nepoškodil. Malé poloměry zaoblení způsobují velké ztenčení ohýbaného materiálu a vznik odřenin, otláčenin. Je to způsobeno tím, že malé poloměry zaoblení omezí klouzání plechu po ohybnici, vyvine se velký specifický tlak a výlisek je poznamenán plastic-
kou deformací /obr. 3.16/.



Obr. 3.16 Otisk malým poloměrem zaoblení ohybnice

Podle zkušeností se doporučuje brát poloměr zaoblení ohybnice $r_m = /2-5/s$ pro běžné výlisky. Pravidelný průběh ohýbání vyžaduje stejné zaoblení hran

ohybnice. Není-li tomu tak, je polotovar vlivem rozdílného tření vtahován do ohybnice nerovnoměrně, ohnutá ramena mají různou délku. V případě ohybu do tvaru „U“ klouže materiál ve směru k menšímu poloměru r_m , v případě ohybu do tvaru „V“ klouže materiál ve směru k delšímu ramenu a většímu poloměru zaoblení r_m . Z těchto důvodů je ohýbání nesouměrných výlisků technologicky obtížné.

Kromě uvedených vad má poloměr zaoblení vliv na ohýbací sílu. S rostoucím poloměrem se síla snižuje.

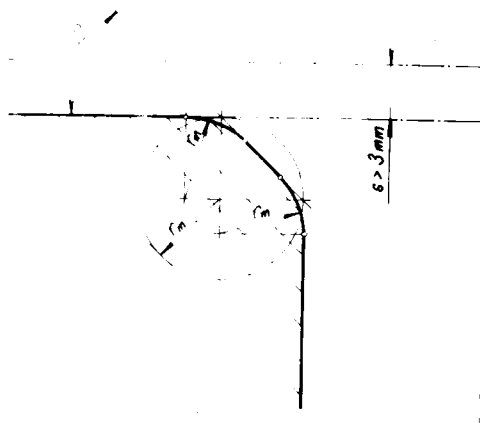
Zaoblení náběhových hran ohybnice pro ohýbání výlisků do tvaru „U“ pro výšku ohýbaných ramen $H > / 2-3/ s$ se doporučuje /8/ :

$r = 4,5s$ pro ocel 11 340

$r = 3,1s$ pro ocel 11 311

$r = 6,2s$ pro hliník 42 4005.1

U plechu nad 3mm je výhodnější srazit hrany pod úhlem 45° a přechody zaoblit radiusem r_m /obr. 3.17/.



Obr. 3.17 Náběhové hrany ohybnice, plech $s > 3\text{mm}$

Náběhem se ohýbá materiál dvakrát. Zaoblený roh ohybnice se někdy do materiálu otiskne, sešikmený tomu zabrání. Výška sražené hrany má odpovídat přibližně poloměru, který by se použil při obvyklém zaoblení. Takto upravených hran se dá použít jen při dostatečně dlouhých ramenech.

V (9) je uvedena metodika stanovení hodnot poloměrů zaoblení ohybnice r_m a vůle z , při kterých se v oblasti styku výlisku s ohybnicí neobjeví plastické deformace (viditelné otisky, zmenšení tloušťky v oblasti styku (0,1-0,15mm)), ke kterým při doporučených hodnotách $r_m=(2-5)s$ dochází (9). Nalezení takových hodnot vychází z použití teorie pružných stykových deformací (případ styku válce s rovinou). Polovina šířky plochy styku se stanoví ze vzorce:

$$b = \frac{10 \sigma_k [1 - \nu^2] r_m}{\pi E}$$

kde ν - Poissonuv koeficient, r_m - poloměr zaoblení ohybnice, E - modul pružnosti ohýbaného polotovaru, σ_k - mez kluzu.

V případě styku válce s rovinou při současném působení normálních a tečných napětí se složky napjatosti na stykovém povrchu stanoví:

$$\hat{\sigma}_x = 2\nu p_0 \left(\mu \frac{y}{b} - \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \right) \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}_y = p_0 \left(2\mu \frac{y}{b} - \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \right) \quad (1a)$$

$$\hat{\sigma}_z = -p_0 \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \quad (1b)$$

$$\hat{\tau}_{yz} = \mu p_0 \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \quad (1c)$$

kde μ - koeficient tření na povrchu styku, p_0 - největší tlak od působení pouze normálního napětí.

Hodnota p_0 můžeme určit z tvaru:

$$p_0 = 0,564 \sqrt{\frac{Q}{\lambda B r_m}} \quad (2)$$

kde $\lambda = \frac{1+\nu_1^2}{E_1} + \frac{1+\nu_2^2}{E_2}$, Q - síla stlačující tělesa, B - délka plochy styku (šířka pásu), ν_1, ν_2, E_1, E_2 - koeficienty ohybníku a moduly pružnosti stykových těles.

Při ohybu ocelových polotovarů platí $\nu_1 = \nu_2 = 0,3$ a moduly pružnosti stykových těles bereme stejné. Potom platí:

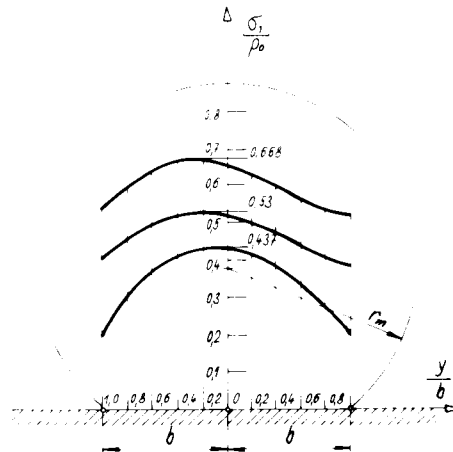
$$p_0 = 0,418 \sqrt{\frac{QE}{B r_m}} \quad (3)$$

Známe-li hodnoty složek napjatosti, můžeme stanovit intenzitu napětí v každém bodě stykového povrchu:

$$\hat{\sigma}_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\hat{\sigma}_x - \hat{\sigma}_y)^2 + (\hat{\sigma}_y - \hat{\sigma}_z)^2 + (\hat{\sigma}_z - \hat{\sigma}_x)^2 + 6\hat{\tau}_{yz}^2}$$

Na obr. 3.18 je vyznačen průběh změny $\hat{\sigma}_i$ podél povrchu styku při různých koeficientech tření.

Koeficient tření $\mu = 0,3$ při ohybu bez mazání,
 $\mu = 0,2$ s mazáním .



Obr. 3.18 Křivky průběhu intenzity napětí : 1 - $\mu = 0,1$
 2 - $\mu = 0,2$, 3 - $\mu = 0,3$.

Největší hodnoty /obr. 3.18/ intenzity napětí jsou při:

$$\begin{aligned} \mu = 0,2 & \dots\dots\dots \hat{\sigma}_i = 0,53\rho_0 \quad /4/ \\ \mu = 0,3 & \dots\dots\dots \hat{\sigma}_i = 0,668\rho_0 \quad /4a/ \end{aligned}$$

Aby se v oblasti styku polotovaru s ohybnicí nevyskytovala plastická deformace, musí být splněna HMH podmínka plasticity

$$\hat{\sigma}_i \leq \hat{\sigma}_k \quad /5/$$

Použijeme-li vztahu /3/ do rovnice /4/ a /4a/ a přihlídneme-li k nerovnosti /5/, získáme při :

$$\begin{aligned} \mu = 0,2 & \dots\dots\dots \hat{\sigma}_k = 0,22 \sqrt{QE/BI_m} \quad /6/ \\ \mu = 0,3 & \dots\dots\dots \hat{\sigma}_k = 0,28 \sqrt{QE/BI_m} \quad /6a/ \end{aligned}$$

Síla Q stlačující obě tělesa, je stanovena z podmínky rovnosti momentů vnějších a vnitřních sil /obr. 3.19/.

Po úpravě získáme vztah

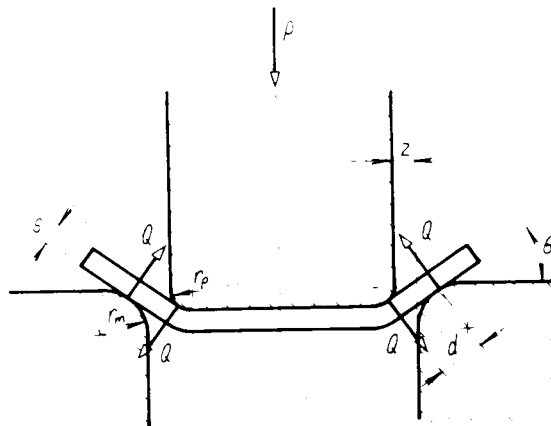
$$M = Q \cdot s \left[\frac{d}{s} + \frac{\mu}{2} \right] \quad /7/$$

Zapišeme ohybový moment v následujícím tvaru :

$$M = m' \cdot W \cdot \hat{\sigma}_k \quad /8/$$

kde m' - poměrný ohybový moment, W - průřezový ohybový moment.

Hodnoty poměrného ohybového momentu m' pro nízkouhlíkaté oceli /ukazatel zpevnění $n = 0,163, \frac{\sigma_k}{\sigma_{pt}} = 0,64$ / jsou uvedeny v tab. 3.6.



Obr. 3.19 Schema ohýbání do tvaru „U“

Tabulka 3.6 Hodnoty poměrného ohybového momentu m'

$R_p = \frac{r_p}{s}$	0,25	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
m'	3,10	3,25	3,3	3,25	3,18	3,10	2,94	2,73

Dosazením /8/ do /7/ a vyloučením Q získáme

$$Q = m' W \sigma_k / s \left(\frac{d}{s} + \frac{M}{2} \right) \quad . /10/$$

Největší síla Q vzniká v okamžiku, když středy zaoblení ohybníku a ohybnice leží na jedné horizontále /v tom okamžiku je rameno d nejmenší/. Hodnota ramena d se v tomto okamžiku stanoví z geometrické podobnosti :

$$d/s = \sqrt{z(2a + z)}$$

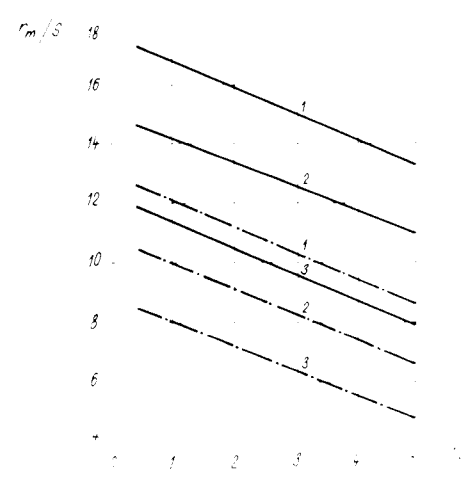
kde $a = 1 + R_p + R_m$, $R_p = r_p/s - 1$, $R_m = r_m/s$ - poměrný poloměr zaoblení ohybníku, $R_m = r_m/s$ - poměrný poloměr zaoblení ohybnice, z - vůle mezi ohybníkem a ohybnicí.

Použitím tvaru /10/, rovnic /6/ a /6a/ a hodnoty $E = 2.10 \text{ kpm}$ získáme pro :

$$\mu = 0,2 \dots R_m = \sqrt{d/s + 0,1} = 160 \text{ m}'/\hat{\sigma}_k, /12/$$

$$\mu = 0,3 \dots R_m = \sqrt{d/s + 0,15} = 260 \text{ m}'/\hat{\sigma}_k. /12a/$$

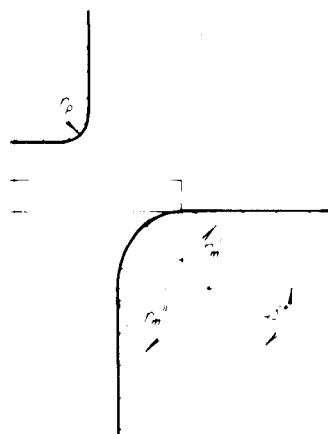
Rozborem těchto rovnic zjistíme, že hodnotu stykových napětí můžeme zmenšit jak cestou zvětšení poloměru zaoblení ohybnice, tak i cestou zvětšení vůle. Zvětšení vůle vede k značnému odklonění úhlu výlisku od žádaného, proto se větší než /1,10 - 1,15/ s nedoporučuje. Rovnice /12/ a /12a/ se pro konkrétní případy neřeší ale mohou být základem nomogramů při určené hodnotě vůle /obr. 3.20/. Na tomto obrázku jsou výsledky řešení rovnic /12/ a /12a/ pro některé oceli při $z = 1,1s$ / $\mu = 0,1$ /, a stanovující hodnotu poloměru zaoblení ohybnice, při kterém nedojde k plastické deformaci /ověřeno zkouškami /9/ /.



Obr. 3.20 Nomogram pro stanovení poloměru zaoblení ohybnice : 1-ocel $\hat{\sigma}_k = 24 \text{ kpm}$, 2-ocel $\hat{\sigma}_k = 30 \text{ kpm}$, 3-ocel $\hat{\sigma}_k = 43 \text{ kpm}$.

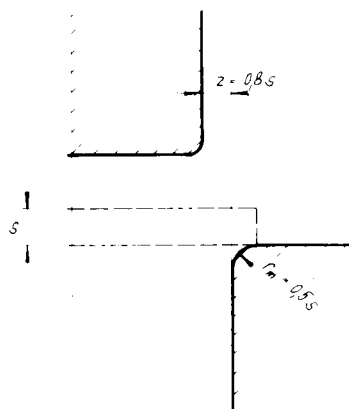
V případech, kdy délka ohýbaných ramen nedovoluje použít ohybnici s vypočtenými poloměry zaoblení /ohýbání

krátkých ramen/, lze doporučit /9/ pracovní profil ohybnice, sestávající ze dvou různých poloměrů : $r_{m'}$ = /2,5 - 4,5/ s a $r_{m''}$, stanovený dle rovnic /12/ a /12a/, přičemž velké hodnoty $r_{m'}$ platí pro měkké materiály /obr. 3.21/.



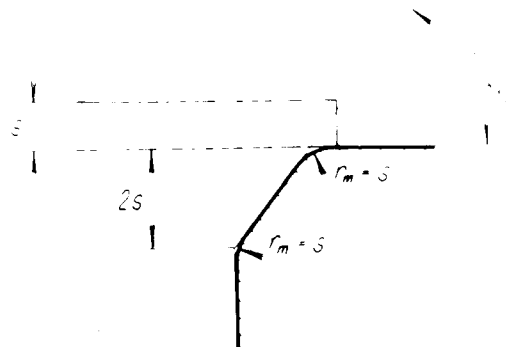
Obr. 3.21 Pracovní profil ohybnice při malé délce ohýbaných ramen

Podle /7/ spočívá úprava nástroje, která umožní ohnutí krátkého ramena ve volbě menšího poloměru ohýbací hrany ohybnice / $r=0,5s$ / a vůle mezi čelistmi, která je rovna $0,8s$ /obr.3.22/.



Obr. 3.22 Úprava ohybnice pro ohyb krátkého ramena

Jde tedy o částečné ztenčení stěny při ohybu. Při zachování běžného poloměru zaoblení ohybnice r_m a vůle z nemusí vůbec dojít k ohybu nástřihu. Lepší je také místo zaoblení ohybnice udělat úpravu náběhové hrany /obr.3.23/.



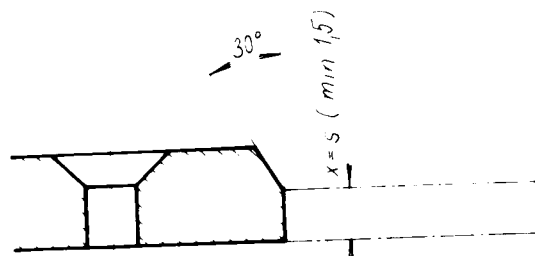
Obr. 3.23 Úprava nástroje pro ohyb krátkého ramena

3. 3. 4 Konstrukční prvky ohýbadel

Při konstrukci ohýbacích nástrojů jsou základní činitelé, mající vliv na jakost a přesnost výlisků, spolehlivé zajištění a přidržení materiálu při ohýbání.

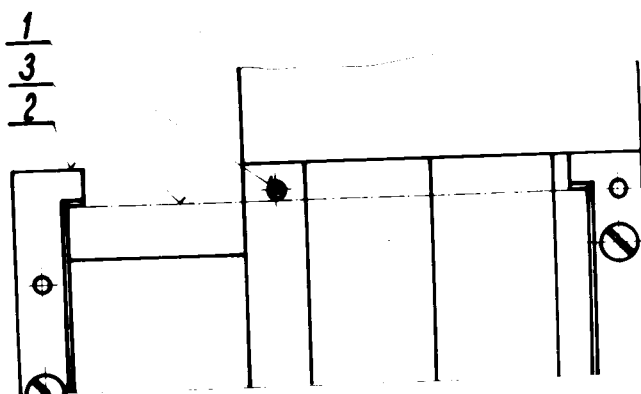
Zakládací dorazy

Zakládací dorazy musí zaručit správné založení vylučující klouzáni nástřihu bez přílišné vůle a zajišťují se proti posunutí kolíky. Upevňovací šrouby dorazu mají být zapuštěny, pokud to dovolí tloušťka dorazu. Tvar zakládacího dorazu nesmí vést k ohýbání /materiál nesmí zůstat viset na kolíku/. K usnadnění zakládání nástřihu jsou hrany dorazů sešikmeny pod úhlem 30° . Výška zakládací plošky x se má rovnat tloušťce materiálu, nejméně však 1,5mm /obr. 3.24/. Užívá se také kombinace s kolíky /vodící, stěvací/. Zakládání na kolík /je-li v nástřihu otvor/ podstatně zvýší přesnost ohýbání. Vodící kolíky se doporučuje /6/ dělat rozříznuté a ulo-



Obr. 3.24 Hrana zakládacího dorazu

žené tak, aby mohly poněkud pružit /obr. 3.25/.



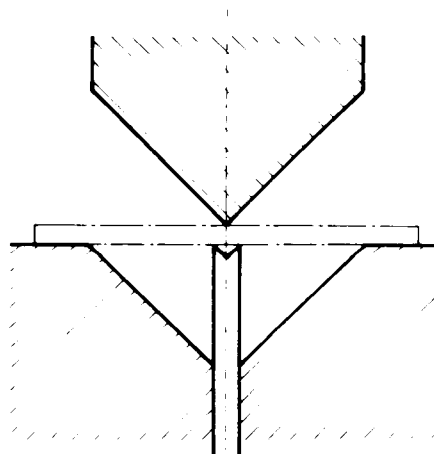
Obr. 3.25 Zakládací doraz s vodícími kolíky, 1- vodící kolík, 2- zakládací doraz

Na výrobní přesnosti zakládacích dorazů a jejich ustavení na ohýbadle závisí přesnost výlisku, hlavně poměr délek ohnutých ramen.

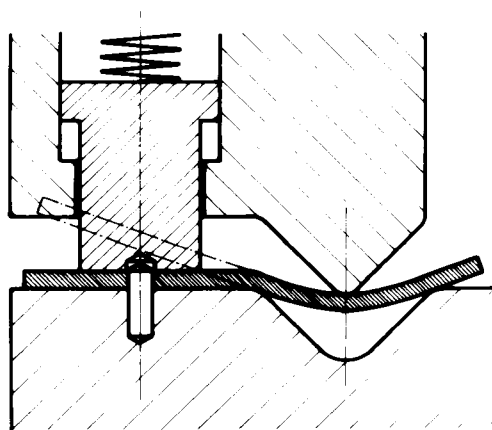
Přidržovače

Přidržovače bývají vkládány do takových ohýbacích

nástrojů, u nichž by se nástřih zvedl od dorazu a mohl by způsobit nežádoucí posunutí /obr. 3.26/.

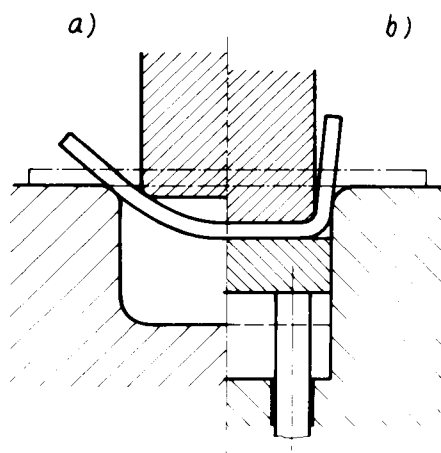


Obr. 3.26 Přidržovač omezující posunutí materiálu
Užije se také tam, kde by mohl ohýbaný materiál klouznout /obr. 3.27/.



Obr. 3.27 Přidržovač omezující klouznutí materiálu
Přidržovač, /obr. 3.27/ zabrání zvedání výlisku, které nastává při použití samotných hledáček /kolíků/.
Vyloučí také otlacení otvorů.
Základní význam má přidržovač při ohýbání U' -profilů.
Při ohýbání bez přidržovače se dno ohýbaného roloto-
ru ohne /obr. 3.28a/. Dosednutím ohybníku se sice

vyrovná, ale vznikají tím nepříznivá napětí, deformace a nepřesnosti.



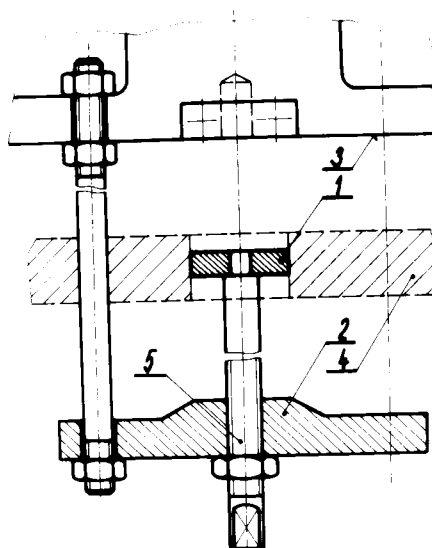
Obr. 3.28 Ohýbání tvaru „U“, a/ bez přidržovače, b/ s přidržovačem

Vyhazovače

Často funkci vyhazovače plní přidržovač, což je výhodné, protože je splněna podmínka správného založení /příběhu ohybu/ i vyjmutí výlisku z nástroje. Vyhazovač je konstruován všude tam, kde je možno předpokládat, že by výlisek zůstal v ohybnici a kde se jím může nahradit nebo alespoň ulehčit a zkrátit ruční manipulace s výliskem v nebezpečném prostoru nástroje.

Vyhazovače s nuceným pohybem jsou spolehlivější a méně namáhají nástroj i lis. Uspořádání spodního vyhazovače s nuceným pohybem je na /obr. 3.29/. Táhly od beranu 3 se přenáší pohyb otvory ve stole lisu 4 na můstek 2, v němž je seřizovací šroub 5. Délka šroubu i táhel jsou zvoleny tak, aby šel vyhazovač seřídít pro všechny zdvihy /mělký, hluboký ohyb/. Deska 1 je na konci šroubu nalisována /lze ji nahradit

jinou dle potřeby/. Lze použít také postranní vyha-
zovač, který se používá k sesunutí výlisků.
Je ovládán různě upravenými náběhy.



Obr. 3.29 Uspořádání spodního nuceného vyhozovače

Stírače

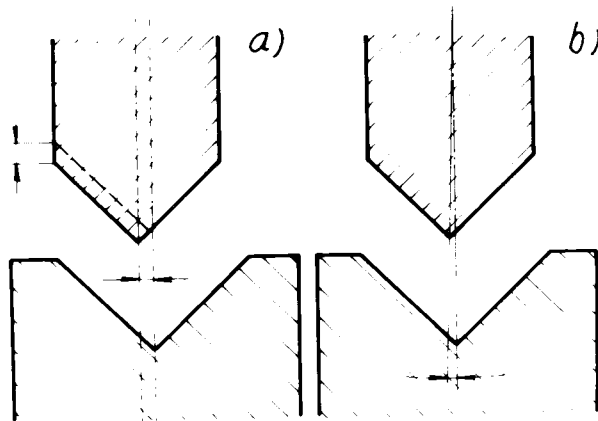
Stíračů se používá tam, kde výlisek zůstává naražen na ohybníku a upevňují se k ohybníci, nebo k nepohyblivé části lisu. Stírače nesmějí vadit při ohybu výlisku a je možné provést je tak, aby v provozu plnily současně funkci chrániče.

Ohybník

Ohybník ovlivňuje kvalitu výlisků svou geometrií. Poloměr zaoblení ohybníku r se volí s ohledem na vnitřní poloměr výlisku /stanoven s ohledem na r pro konkrétní případ ohýbání/.

Nepřesná střední poloha ohýbací hrany ohybníku má, stejně jako nepřesně upnutý ohybník, vliv na nestejně dlouhá /ohlá/ ramena výlisků /obr. 3.30a/.

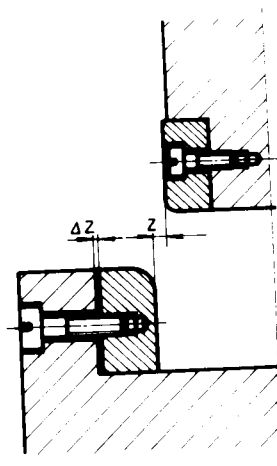
Stejný vliv má i velká vůle ve vedení beranu /obr.3.30b/



Obr. 3.30 a/ nepřesná střední poloha ohýbací hrany, nepřesně upnutý nástroj, b/ velká vůle ve vedení beranu

Příčina různého pružení je v nepřesně zhotoveném ohýbadle. Čím více materiál pruží, tím přesnější musí být zalicování ohybníku do ohybnice. Požadavkem je dokonalé dosednutí na materiál po celé ploše ohybnice rovnoměrně. Když dosedá pouze na několika místech, je tam plech více stlačen /kalibrován/, vznikají ještě nová, dodatečná pnutí, jimiž se potom utvoří zcela nepravidelná deformace.

Pro úsporu legovaných ocelí se používá buď kalených vložek /obr. 3.31/, nebo vložek ze slinutých karbidů. Vložkování u ohybníku je problematické při ohýbání měkkých materiálů /hliník/, neboť se nerovnosti po zapuštěných upevňovacích šroubech projeví /otisknou/ na vnitřním povrchu výlisku. Po opotřebení se přebrousí a přešetí a změna vůle se vymezi podložkou.



Obr. 3.31 Vložkování pracovních částí ohýbadel

4. POUŽÍVANÉ KONSTRUKCE OHÝBADEL PRO „V“ A „U“ OHYB

Ohýbadla jsou v zásadě jednoduché lisovací nástroje. Mají-li ale splnit požadavky na přesnost výlisku, životnost nástroje a hlavně bezpečnost práce, stávají se z nich nástroje poměrně složité.

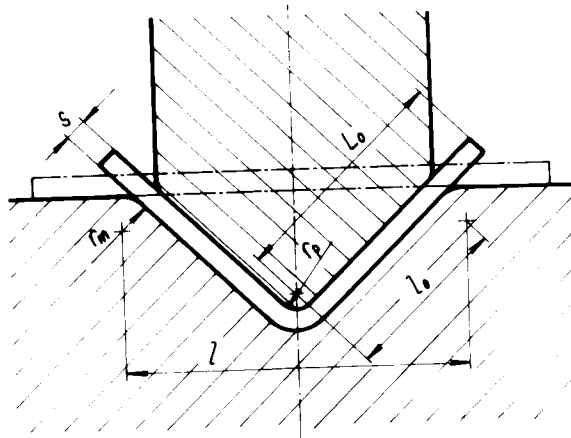
V /2/ se udává toto rozřídění ohýbadel :

1. jednoduché pro ohýbání do tvaru „U“
 pro ohýbání do tvaru „V“
2. složené s kyvnými hranoly
 s otočnými válci
 s kyvnými třmeny nebo čelistmi
 s bočními klíny a jiné
3. sloučené
4. několikaoperační postupové

4.1 Konstrukční řešení ohybu do tvaru „V“

V /3/ se uvedí praktické velikosti poloměrů zaoblení ohybnice r_m a hloubky l_0 ohybnice /obr. 4.1/ v závislosti na délce ohýbaného ramena L_0 , tloušťce materiálu /tab.4.1/. Uvedené hodnoty /tab. 4.1/ se používají, nejsou-li zvýšené požadavky na přímost ramen a přesnost výlisků.

V opečném případě se volí hloubka ohybnice l_0 tak, aby platila nerovnost: $l_0 > l_0$ /4.1/
 Délka ohýbaného ramena musí být v nástroji utvářena v celém svém rozsahu.



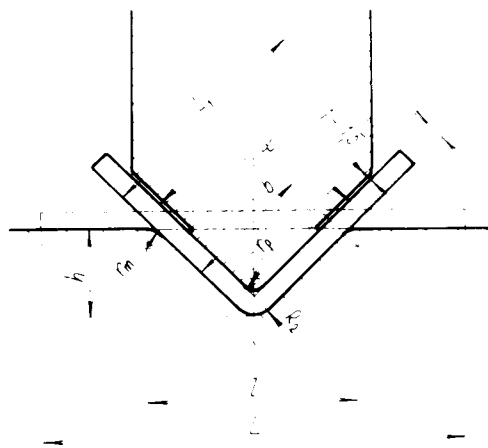
Obr. 4.1 Geometrie ohýbadla

Tab. 4.1 Praktické velikosti poloměru zaoblení r a hloubky l ohybnice

šírka ohýbaného okraje l_0	Tloušťka materiálu s /mm/							
	< 0,5		0,5 - 2,0		2,0 - 4,0		4,0 - 7,0	
	l_0	r_m	l_0	r_m	l_0	r_m	l_0	r_m
10	6	3	10	3	10	4	—	—
20	8	3	12	4	15	5	20	8
35	12	4	15	5	20	6	25	8
50	15	5	20	6	25	8	30	10
75	20	6	25	8	30	10	35	12
100	—	—	30	10	35	12	40	15
150	—	—	35	12	40	15	50	20
200	—	—	40	15	55	20	65	25

Ohnutí v rohu /oblast ohybu/ je malou místní deformací. Ohybnice nemusí být vysoká. Hluboký nástroj je na místě pouze tam, kde materiál při ohybu současně rovnáme, nebo u součástí, které by se při ohýbání deformovala švihem dlouhého konce.

V případě kalibrace, jestliže nejsou zvýšeny požadavky na přímost ramen, jsou rozměry pracovních ploch ohybnice /obr. 4.2/ stanoveny následujícím způsobem :



Obr. 4.2 Geometrie ohýbadla pro kalibraci

Poloměr zaoblení ohybníku r_p - podle výkresu výlisku / ale ne menší než r_{min} stanovený pro konkrétní případ ohybu /tab. 3.1/.

$$r_m = s, \text{ ale ne menší než } 3\text{mm},$$

$$R_2 = 0,6 - 0,8 \cdot (r+s),$$

$$l = 2 l_0 \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ ale ne větší než } 0,8 L,$$

$h = l_0 \cos \frac{\alpha}{2} - R_2 / \sin \frac{\alpha}{2} - l$, kde r_m a R_2 - poloměry zaoblení ohybnice v mm, r_p - poloměr zaoblení ohybníku v mm, l - hodnota otevření ohybnice v mm /tab. 4.2/, l_0 - vzdálenost od středu k poloměru zaoblení ohybnice do její přímé části v mm, α - úhel ohybu, L - délka ohýbaného polotovaru v mm.

Smyslem úpravy ohybníku /obr. 4.2/ je, že jeho dosednutím v oblasti ohybu /místo na celé ploše/ se zvýší účinek

kalibrace /zmenší se odpružení výlisků/.

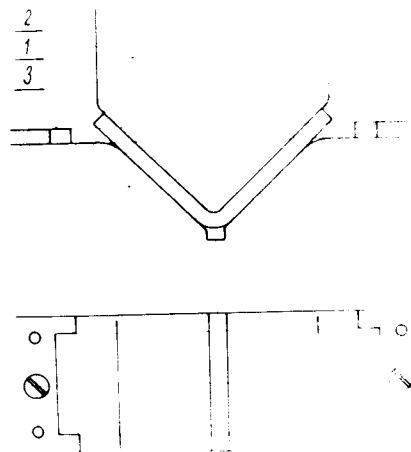
Obvyklé hodnoty otevření ohybnice l /obr. 4.1/ při úhlu ohybu $\alpha = 90^\circ$ v závislosti na poloměru zaoblení ohybníku r udává tab. 4.2 .

Tab. 4.2 Obvyklé hodnoty otevření ohybnice l

poloměr ohybu r /mm/	otevření ohybnice l /mm/
1s	6s
1,25s	8s
1,6s	10s
2s	12s

Podle vzájemného vztahu délek ohýbaných ramen výlisků existuje několik provedení nástrojů .

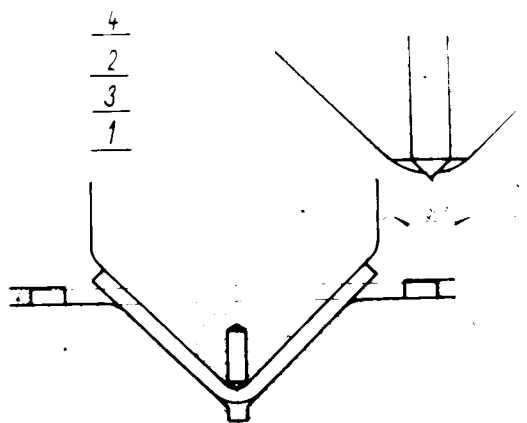
Uspořádání /obr. 4.3/ se používá v základních případech,



Obr. 4.3 Základní případ „V“ ohybu

kdy mají ramena stejnou délku. Nevýhodou je, že se na ohybových hranách mohou vyznačit /otisknout/ místa tlaku, která mohou být nežádoucí. Výhodou je, že rozdíl v tloušťce /tolerance/ plechu nemá při tomto uspořádání

podstatný význam. Pracovní část nástroje se skládá z ohybnice 1, ohybníku 2 a zakládacího dorazu 3 /obr. 4.3/. V nástroji se nedá dosáhnout zvláštní přesnosti. Schéma nástroje /obr. 4.4/ se liší od prvního tím, že do ohybníku 2 je vsazeno několik / 2 - 3/ jader 4 /kalených špiček/ vystupujících z úrovně ohybníku o 0,3 až 0,4 mm.



Obr. 4.4 Zamezení posuvu ohýbaného nástřihu

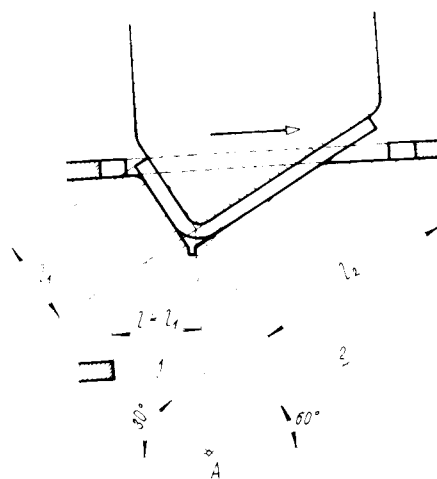
Konce těchto jader se vtlačují do ohýbaného materiálu a vylučují možnost posunutí ohýbaného polotovaru v ohybnici 1 po opuštění zakládacího dorazu 3. Účelem je dodržení přesnosti docílené zamezením nepravidelnosti dělek ohýbaných ramen.

Podmínkou tohoto řešení je, aby tloušťka plechu byla větší než 1 mm a otevření ohybnice 1 menší než šest až osminásobek tloušťky $l < /6-8/s /$. Jinak je funkce jader omezena. Stejný význam má zdrsnění ohybníku drážkováním /tření / nebo /je-li použit/ zdrsňený přídržovač. Získaná větší rozměrová přesnost je doprovázena sníženou jakostí povrchu /stopy po funkčních částech/ a není proto vždy možné tohoto způsobu využít.

Pro různé délky ohýbaných ramen l_1 a l_2 se používá uspořádání /obr. 4.5/. Požadavkem je, aby oba opěrné body 1,2 ohýbaného polotovaru ležely na jedné horizontále a

dále, aby se hrana ohybníku A dotýkala materiálu v určité vzdálenosti l /na ní závisí délka ohnutého ramena l_1 /.

Podle těchto dvou pravidel musíme upravit sklon /polohu/ pracovních ploch ohybnice /obr. 4.5 30° a 60° pro úhel ohybu $\alpha = 90^\circ$ a vzdálenost dorazu l . Obě tato pravidla platí pouze za určitých okolností /třecí podmínky/.



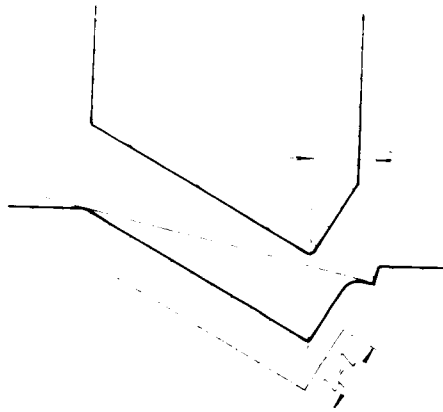
Obr. 4.5 Schema nástroje pro ohyb nestejně dlouhých ramen

Prakticky tomu tak není a materiál při ohýbání klouže směrem k delšímu konci a většímu ohýbacímu poloměru r . Výsledkem je rozdíl požadovaných a ohnutých délek ramen vylisku.

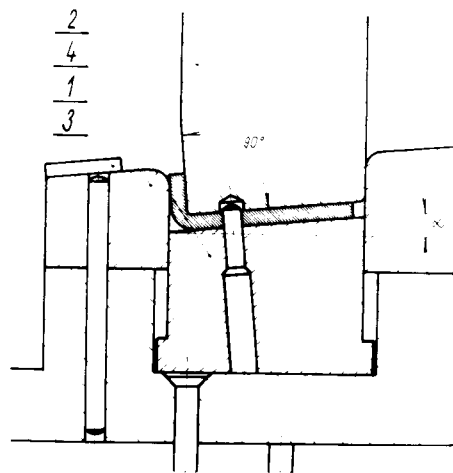
Klouzání materiálu se vyloučí sešikmením ohybnice /obr. 4.6/.

Přesnější /náročnější/ řešení umožňuje uspořádání nástroje s přidržovačem 4 /obr. 4.7/.

Je výhodné, z hlediska ohýbání kvalitních vylisků, využívat otvorů nástřihu /i technologických/ k omezení /fixaci/ jeho polohy v nástroji. V kombinaci s přidržovačem získáme z dosud uvedených řešení nejpresnější ohnutý vylisek. V počátku ohybu je polotovar nejprve stisknut mezi ohybníkem 2 a přidržovačem 4 a potom



Obr. 4.6 Omezení klouzání ohýbaného materiálu přesně ohnut /délka ramen/. Přidržovač také brání silovým účinkem otláčení otvoru, což je výhodné v případě



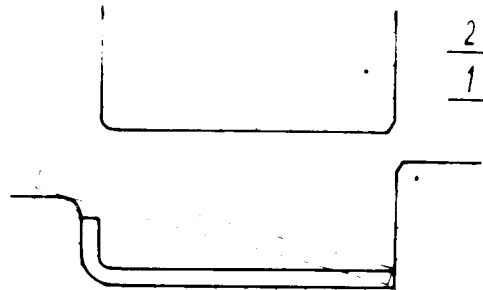
Obr. 4.7 Schema nástroje pro ohyb s přidržovačem

dodržení jeho přesnosti.

Nástřih se zakládá pro zvýšení trvanlivosti ohybnice pod úhlem $\alpha = 5^\circ$ a podle toho je pracovní část ohybníku 2, přidržovače 4 a ohybnice 1 zkosena pod tímto úhlem.

Řešení pro ohyb součástí, u kterých je jedno rameno l_1 výrazně kratší než druhé l_2 /udává obr. 4.8/.

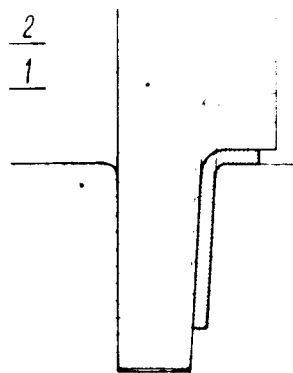
V tomto případě nástřih zakládáme nakloněný do ohybnice 2 typu „U“ s širokým rozevřením, odpovídající délce ramena l_2 .



Obr. 4.8 Ohýbání krátkého ramena

Vše, úpravy poloměru zaoblení ohybnice stejné, jak je uvedeno v 3.3.3 .

Jestliže je výška ohýbaného ramena l_1 menší než tři až čtyřnásobek tloušťky $l_1 < 3-4/s$ / ohýbaného materiálu, používá se řešení /obr. 4.9/.



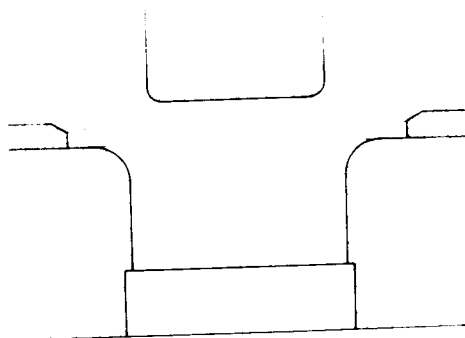
Obr. 4.9 Ohýbání krátkého ramena

Polotovár se v tomto případě zakládá do ohybnice 1 z boku a z počátku se zahýbá boční a potom dohne čelní

plochou ohybníku 2. Při použití tohoto způsobu nesmí být šířka ohýbaného ramena širší než je šířka vertikálního. Kromě toho musíme zvážit, nedojde-li k zpěchování vertikálního ramena v případě, že je tam otvor. Prakticky dovolené zmenšení průřezu /3/ je /10-15/ procent /t.j. součet průřezů otvorů/ a výška polotovaru do /25-30/ s. V opačném případě má vertikální rameno nedostatečnou vzpěrnou pevnost a nastane jeho zpěchování místo ohybu malého ramena.

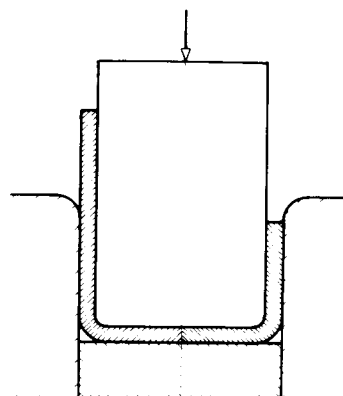
4.2 Konstruktivní řešení ohybu do tvaru „U“

Základní případ, který je uveden pro úplnost je na /obr. 4.10/.

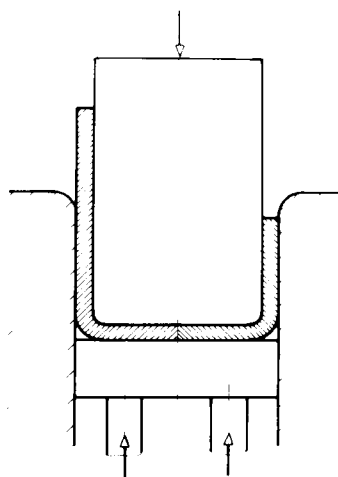


Obr. 4.10 Základní případ U ohybu

Nástroj je bez přidržovače a má průchozí ohybnici. Následkem toho má výlisek vyduťté dno. Nerovnost dna lze odstranit ohybem do uzavřené ohybnice /obr. 4.11/, což je prakticky základní způsob ohybu do tvaru U. V průběhu ohybu sice polotovar nesleduje tvar ohybníku, ale dosednutím na dno ohybnice se podle jeho čela vyrovná /nepříznivé důsledky stať 3.3.4/. Nejdokonalejší způsob ohybu nastává při použití přidržovače /obr. 4.12/. Dno výlisku je přímočaré, bez nepříznivých důsledků vzniklých při ohybu předcházejícím.

Obr. 4.11 Základní případ, U'' ohybu

Kromě toho má přidržovač pozitivní vliv na dodržení požadovaného rozměru ohnutých ramen. U těchto nástrojů



Obr. 4.12 Schema ohýbadla s přidržovačem

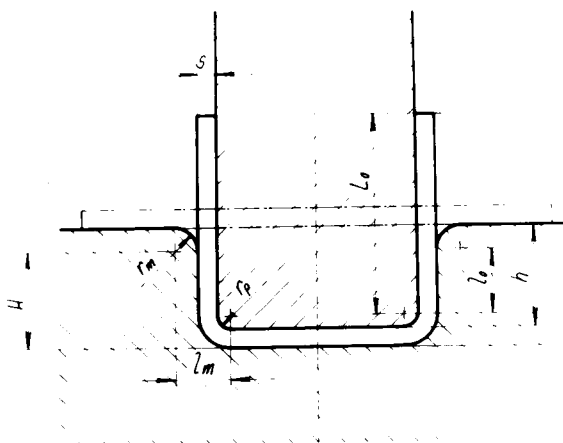
existuje celá řada konstrukčních úprav, které ukazují cestu jak odstranit /snížit/ pružení ramen výlisků /vedeny v kap. 5/.

Hloubku ohybnice l_0 , poloměr zaoblení ohybnice r_m udává pro nástroj s přidržovačem /3/ v závislosti na výšce ramene H /obr. 4.13/ tab. 4.3 .

Tab. 4.3 Doporučené hodnoty hloubky l a poloměru zaoblení ohybnice r_m pro nástroje s přidržovačem

s /mm/ \ L /mm/	< 1		1 - 2		2 - 4		4 - 6		6 - 10	
	r_m	H	r_m	H	r_m	H	r_m	H	r_m	H
< 50	3	15	5	20	8	25	10	30	12	35
50 - 75	3	20	5	25	8	30	10	35	12	40
75 - 100	3	25	5	30	8	35	10	40	12	40
100 - 150	3	30	5	35	8	40	10	50	12	50
150 - 200	3	40	5	45	8	55	10	65	12	65

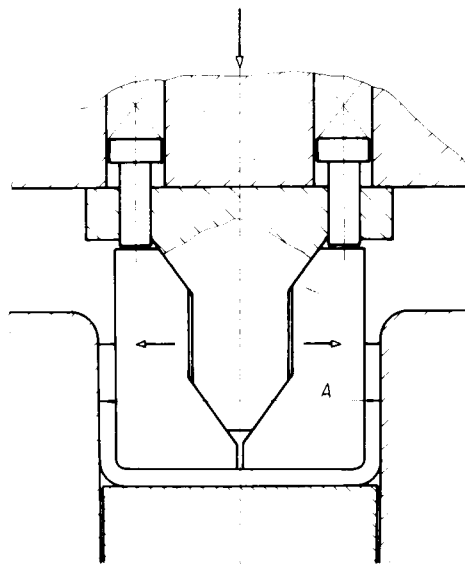
Zaoblení ohybníku se bere, jako v předcházejícím ohybu do tvaru „V“, podle minimálního poloměru ohybu pro konkrétní případ ohýbání /tab. 3.1/. Hloubka ohybnice l



Obr. 4.13 Geometrie ohýbadla

se bere podle tab. 4.3 jenom v těch případech, kdy nám nezáleží na přímosti bočních ramen. V opačném případě platí nerovnost 4.1 .

Nástroje, které jsou obdobné případu /obr. 4.12/, můžeme použít pro výlisky, u kterých není požadována vysoká přesnost rozměru vzdálenosti ramen /IT 11 a 12/ a pro případy malých tolerancí tloušťek ohýbaného plechu. Jestliže jsou tolerance tloušťky ohýbaného plechu hrubé a přesto nutně potřebujeme přesně dodržet vzdálenost vnější /vnitřní/ mezi ohnutými rameny /IT 6 až 9/ používáme nástroje s rozpínacím ohybníkem /obr. 4.14/ /svírací ohybnicí/ - obr. 4.15 .

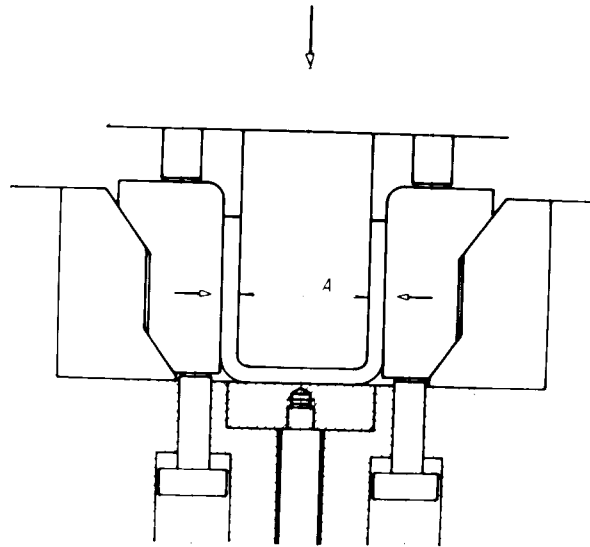


Obr. 4.14 Přesné ohýbání, rozpínací ohybník

Konstrukce /obr. 4.14/ se používá pro získání přesného vnějšího rozměru. Ohybník je rozevírán klínem a tlačí ohnutý tvar na rozměr ohybnice.

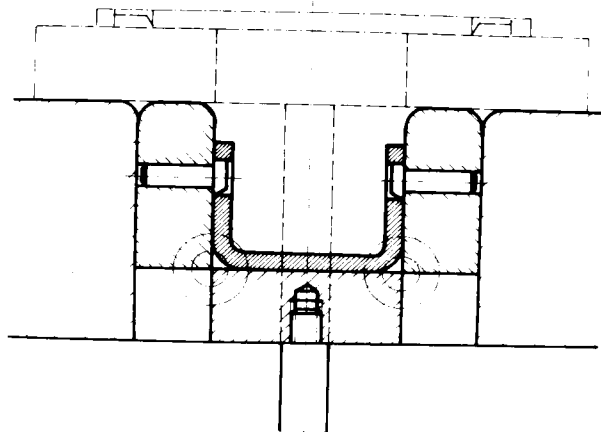
Na obr. 4.15 je uspořádání s rozpínací ohybnicí pro přesný vnitřní rozměr. Části ohybnice se zavírají posunutím po nakloněné rovině a kalibrují součást na rozměr ohybníku.

Pro ohýbání tvaru „U“ s malou výškou ramen a při požadavku zachování souososti otvorů, prostřížených polotovarů, lze použít nástroj s přidržovačem a se "skládací ohybnicí" /obr. 4.16/.



Obr. 4.15 Přesný ohyb, rozpínací ohybnice

Nástroj pracuje následujícím způsobem. Ve výchozí poloze jsou části ohybnice vysunuty a otevřeny tak, že tvoří s přidržovačem /v horní poloze/ rovinu. Nástřih se na tuto rovinu založí a ustaví se jeho poloha na otvory. V počátku ohýbání ohybník nejprve přitiskne nástřih k přidržovači,



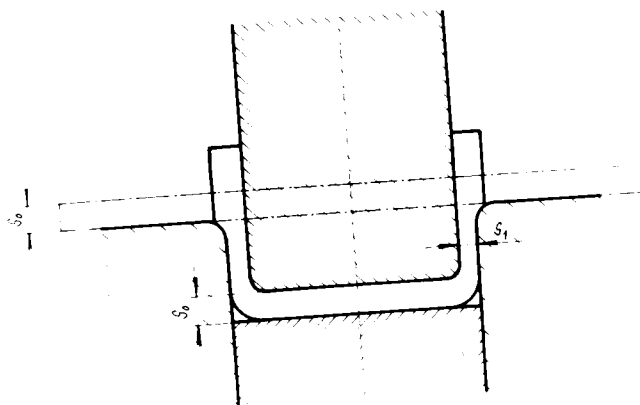
Obr. 4.16 Schema nástroje s "skládací" ohybnicí pro přesný ohyb

V další fázi dojde k odvalování obou otočných částí /"skládací"/ ohybnice a tím se ohnou ramena. Ohyb končí, když přídržovač dosáhl spodní úvrať.

Při zpětném pohybu přídržovač plní funkci vyhazovače. V horní poloze se výlisek vyjme rozevřením "skládací ohybnice".

Takové řešení klade poměrně náročné požadavky na zhotovení nástroje, vede k větší spotřebě pracovního času, nástroj se rychle opotřebuje a je oprávněné ho použít jen když je nutno získat výlisek s velkou přesností. Trvanlivost nástroje určuje do značné míry vlastní náklady. Pořizovací cena nástroje činí 15 - 25% celkových výrobních nákladů. Z těchto důvodů je proto důležité volit tento způsob jen ve vyjíměčných případech. Je třeba také uvážit, že nízká trvanlivost nástroje má negativní vliv na jakost výlisků a na jejich přesnost.

Někdy je třeba ohnout rolotovar tak, abychom získali různou tloušťku ramen a dna výlisků. Používá se nástroje s přídržovačem, s negativní vůlí mezi ohybníkem a ohybnicí /obr. 4.17/.



Obr. 4.17 Schema nástroje pro ohyb s nestejnou tloušťkou ramen a dna

Vůle se rovná požadované tloušťce bočních ramen.
Maximální ztenčení /redukce/ bočních ramen na jednu operaci závisí na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu a může být pro :

měkkou ocel /25-30/ %s

mosaz / 20-25/ %s

hliník / 27-35/ %s

kde s je tloušťka střední části výlisku v mm.

Takový ohyb je doprovázen zpevněním materiálu ramen.
v ohýbání s redukcí stěny pružení

Vůle se rovná požadované tloušťce bočních ramen. Maximální ztenčení /redukce/ bočních ramen na jednu operaci závisí na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu a může být pro :

měkkou ocel /25-30/ %s
mosaz / 20-25/ %s
hliník / 27-35/ %s

kde s je tloušťka střední části výlisku v mm.

Takový ohyb je doprovázen zpevněním materiálu ramen. Je výhodné, že se při ohýbání s redukcí stěny pružení výlisku omezí. Bývá obvyklé /3/, že má dokonce negativní hodnotu /při horní hranici možného ztenčení/. Nevýhodou je nízká kvalita /drsnost/ povrchu ramen.

5. VÝBĚR Vlivů KONSTRUKCE OHYBADEL NA KVALITU VYLISKŮ

Níže uvedené úpravy konstrukce ohýbadel jsou v literatuře /3,4,8/ doporučovány jako možné způsoby omezení pružení výlisků /přesnost /.

Jde většinou o úpravy snadno proveditelné, ale mající podstatný vliv na velikost pružení výlisků. To je jedno z hlavních hledisek pro jejich výběr. Splňují ekonomický požadavek, aby se dosáhlo dostatečně kvalitního výlisku jedním zdvihem lisu.

Dosud však není stanoveno kvantitativní hledisko jejich působení. Proto zatím nemají obecné uplatnění.

Aby se umožnila široká aplikace těchto úprav ohýbadel v provozních podmínkách, je třeba získat přesnostní charakteristiky jejich působení.

Z těchto důvodů jsou vybrané úpravy dále uvedeny a je navržena metodika studia jejich působení. Praktické ověření podle navržené metodiky a zjištění míry přesnostního ovlivnění výlisků na zkušebním nástroji bude úkolem navazující diplomové práce.

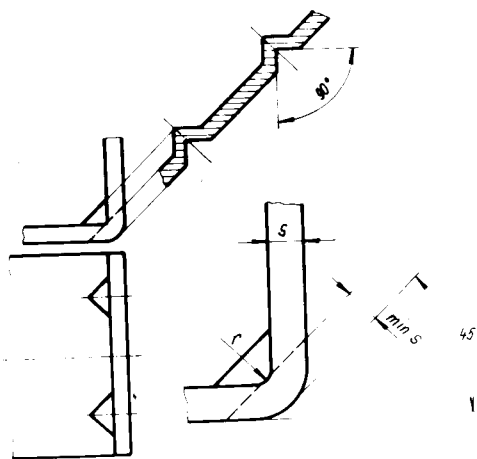
Uvedené úpravy, omezující pružení výlisků, v kombinaci se správně volenou :

vůli,
 poloměry zaoblení,
 poměrnou délkou ohýbaných remen a pracovních
 částí nástroje
 a dalších konstrukčních řešeních, u kterých míru ovlivně-
 ní dokonalosti výlisku již známe, vedou k získání kva-
 litního výlisku i při různých mechanických vlastnostech
 materiálu.

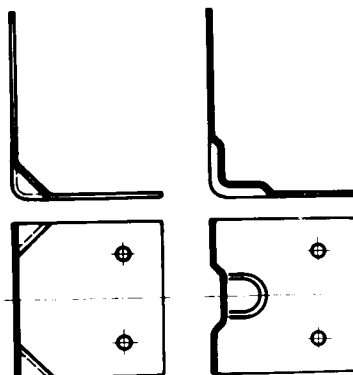
5.1. Ohýbání do tvaru „V“

Kromě běžných způsobů /kalibrace a ohnutí do úhlu zmen-
 šeného o úhel odpružení/ se omezení pružení výlisku
 dosáhne:

- a/ dodatečnou /místní/ plastickou deformací v místě
 ohybu /obr. 5.4/. Dojde ke zpevnění materiálu
 deformačním radiusem v ohybnici. Dochází však k
 částečnému zeslabení místa ohybu.
- b/ prolisováním žebra v místech ohybu /obr. 5.1/



Obr. 5.1 Omezení pružení, žebra v místě ohybu
 které jsou vedeny kolmo k čáře ohybu. Nejsme-li omezení
 v prostoru otevření výlisku, mohou být žebra větší
 /obr. 5.2/ a potom výrazněji ovlivní tuhost výlisku.



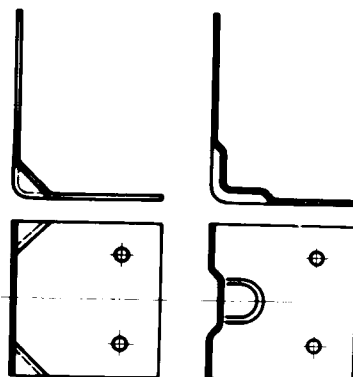
Obr. 5.2 Omezení pružení, prolisy

5.2. Ohýbání do tvaru „U“

Odpružení ramen výlisku se omezuje místní plastickou deformací v oblasti ohybu. Lze jí docílit :

A/ úpravou ohybníku /obr. 5.3/, která vede ke zpevnění

ohýbaného materiálu v rozích rázem rozíací hranou,

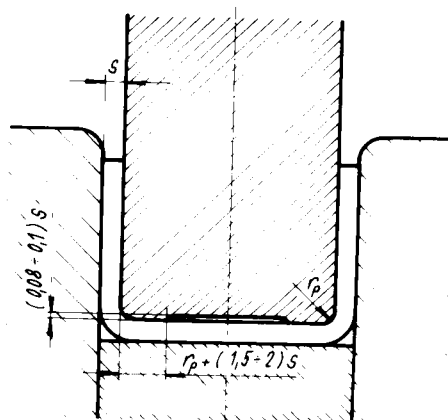


Obr. 5.2 Omezení pružení, prolisy

5 2. Ohýbání do tvaru „U“

Odpružení ramen výlisku se omezuje místní plastickou deformací v oblasti ohybu. Lze jí docílit :

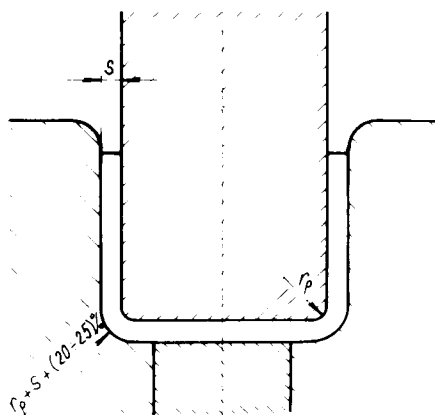
- A/ úpravou ohybníku /obr. 5.3/, která vede ke zpevnění ohýbaného materiálu v rozích rázem razící hrany. Vytlačují materiál do rohů, což způsobí omezení pružení. Razící hrany na ohybníku se doporučují



Obr. 5.3 Omezení odpružení, razící hrany ohybníku

pro materiály dostatečně tvárné a pro tloušťky ohýbaného polotovaru větší než 1 mm.

B/ úpravou ohybnice /obr. 5.4/ , která má stejný význam jako v předcházejícím případě.



Obr. 5.4 Omezení pružení, deformační radius ohybnice

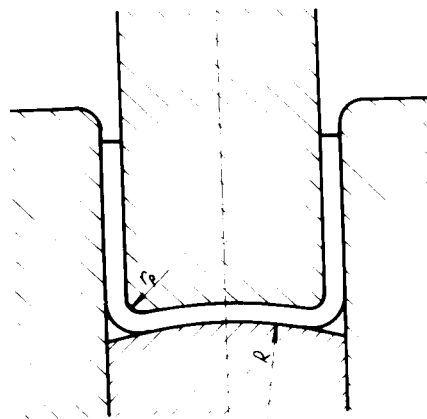
Místního zpevnění, které omezuje odpružení ramen, docílíme deformačním radiusem ohybnice $r_p + s + 20-25\%$. Další způsoby získání ideálního /výkresového/ tvaru výlisku vychází ze studia odpružení a průběhu ohybu :

C/ řešení /obr. 5.5/ se zaoblením spodní hrany ohybníku a přidržovače poloměrem R /ohyb dna výlisku/ pro případy ohýbání pružných materiálů. Zaoblení dna se musí vytvořit dokud je založený polotovar rovný /ne až po ohnutí na dně/, jinak by se materiál vytahoval z rohů /plastická deformace/ a úprava by nesplnila účel. Po vyjmutí výlisku z nástroje se prohnutí dna vyrovná a tím se zmenší úhel ohybu jeho ramen. Hodnota zaoblení dna R výlisku musí splňovat nerovnost

$$R > E \cdot s / 2 \sigma_k$$

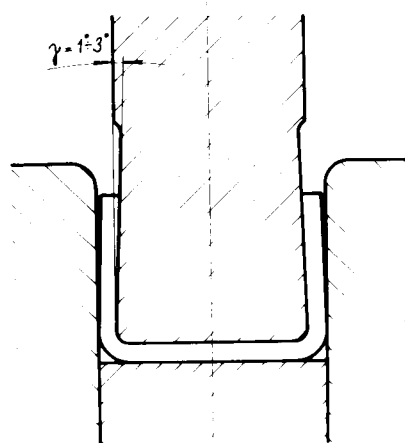
aby vzniklá deformace byla pouze pružná. Velikost zaoblení dna R musí být vyzkoušena.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 87



Obr. 5.5 Omezení pružení, pružná deformace dna

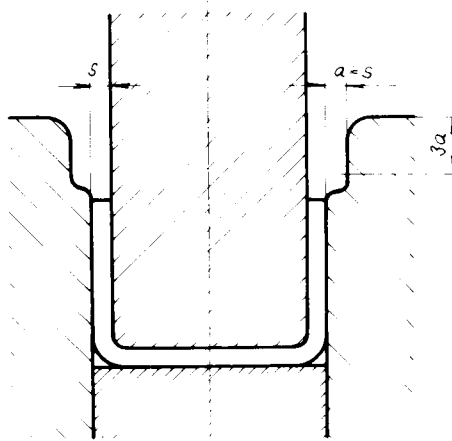
D/ řešení /obr. 5.6/ s podbroušením ohybníku o úhel γ
 Má význam pro materiály střední tvrdosti a výlisky,
 které mají hlavní rozměr výšky ramena H. Sklon



Obr. 5.6 Omezení odpružení, podbroušení ohybníku
 boku ohybníku umožňuje přihnání svislých ramen
 výlisku /jejich sevření/, což vede k omezení
 odpružení.

E/ řešení /obr. 5.7/ umožňující postupný ohyb s odleh-
 čením zaoblené ohýbací hrany ohybnice o tloušťku
 materiálu. Dvojitý ohyb má obdobný význam jako v před-

chozím případě podbroušení ohybníku /přilnutí rameny výlisku/.



Obr. 5.7 Omezení odpružení, odlehčená ohýbací hrana

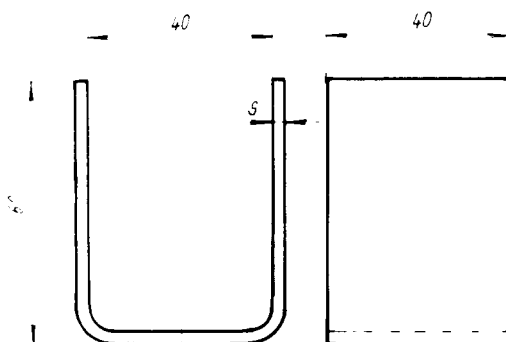
5.3. Metodika studia vybraných vlivů

Jak již bylo uvedeno, neexistuje dosud přesnostní charakteristika uvedených konstrukčních úprav, vedoucích ke kvalitnímu výlisku, a proto jich dosud není možno spolehlivě využít. Aby se nynější situace změnila, /potřeba získávat kvalitní výlisky/ je třeba prozkoumat míru jejich vlivů na kvalitu /přesnost/ a stanovit možnosti použití vyjádřením možné /dosažitelné/ přesnosti /tolerance/ hlavních rozměrů /např. úhel ohybu/.

Pro získání těchto výsledků jsem navrhl zkušební ohýbací nástroj a metodiku sledování vlivů vybraných úprav. Zkušební ohýbací nástroj je konstruován pro ohýbání plechu do tloušťky $s = 3\text{mm}$, $\delta_{p/4} = 42\text{ kpm}$ /volba ohýbaných polotovarů/.

Aby výsledky experimentu pokryly potřeby běžného ohýbání navrhl jsem ohýbání výlisků ocelových /11 340, a pod./ a hliníkových / 42 4005.1 a pod./ pro tloušťky : $s = 0,8\text{mm}$, 2mm a 3mm .

Rozměry dělek /ramena, dno/ vylisku /obr. 5.8/ zvoleny s ohledem na možnosti měření i k požadavku dostatečného projevení pružení.



Obr. 5.8 Rozměrový návrh vylisku „U“

Pro rozdílný druh a tloušťku materiálu je třeba jiných poloměrů zaoblení pracovních ploch ohybníku a ohybnice. Není však žádoucí pro každý případ vyrábět sadu - ohybník, vložky ohybnice. Jde nám v první řadě o postižení uvedených úprav ohybadla z hlediska omezení odpružení /přesnost/, jakost povrchu je druhořadá. Z tohoto hlediska je sdružení vložek ohybnice /podle doporučených poloměrů zaoblení/ pro oba druhy materiálů správné /tab. 5.1/.

Tab. 5.1 Navržené hodnoty poloměrů zaoblení vložek ohybnice

s [mm]	r_m [mm]	č. páru vložky
0,8	5	1
2	12	2
3	18	3

Z vybraných úprav /stat 5.2/ jsou z hlediska náročnosti a univerzálnosti použití vložek ohybnice nejvhodnější úpravy A,D. Proto je nejvhodnější zjistit nejprve míru jejich vlivu na omezení odpružení /přesnost/ a výlisku. Abychom nebyli ovlivněni, při stanovení míry působení jednotlivých úprav, různou velikostí plastické deformace v oblasti ohybu v případech ohybu rozdílných tloušťek je třeba použít sadu tří ohybníků. Z tohoto hlediska a z požadavku dostatečného odpružení jsou navrženy poloměry zaoblení ohybníku r_p /tab. 5.2/.

Tab. 5.2 Navržené hodnoty poloměru zaoblení ohybníku

s [mm]	r_p [mm]	č. ohybníku
0,8	2,4	1
2	6	2
3	9	3

Pro stanovení vlivu kterékoli úpravy ohýbadla na přesnost výlisku je vhodné zhodnotit výsledky měření na nástroji:

A/ normální konstrukce dle doporučení

- 1/ bez přidržovače : a/ svislá ramena jsou kratší než hloubka ohybnice /obr. 4.11/
 b/ svislá ramena jsou delší než hloubka ohybnice /obr. 4.11/

2/ s přidržovačem : a/ , b/ jako za 1/ /obr. 4.12/

B/ s konstruční úpravou /např. A,D/, s dalším rozdělením jako v bodu A/

Nejdůležitějším měřeným parametrem je úhel odpružení . Měřením a porovnáním délek ohnutých ramen lze posoudit vliv přidržovače /vodícího stojánku/ . Lze sledovat vliv vodícího stojánku na kvalitu výlisků ohýbáním na nástroji

s jeho použitím a bez něj /konstrukční návrh nástroje tuto možnost uvažuje/. Pro každé měření stanovit kalibrovací sílu a posoudit stav povrchu vylisku.

Pro získání potřebných rozměrů vylisků je vhodné využít nejběžnějších měřidel a jen jednoduchých přípravků /1. fáze/.

Hlavním výsledkem zkoušek je stanovení vlivu úpravy na přesnost vylisku a srovnání s běžnými způsoby ohybu. Dále je vhodné posoudit vliv přídržovače, vodícího stojánku na rozměrovou přesnost vylisku a na jeho povrchovou jakost.

6. KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZKUŠEBNÍHO NÁSTROJE

Ohýbací zkušební nástroj je navržen na lis LEMP 40.

Podle toho byly zvoleny rozměry nástřihu /tab. 5.3/.

Tab. 5.3 Rozměry nástřihu pro ohýbání na zkušebním nástroji

s [mm]	hloubka a [mm]	délka b [mm]
0,8	40	159,2
2	40	158
3	40	156,8

Těmito velikostem přísluší celková síla /ohýbací, přídržovače a kalibrovací/ podle tab. 5.4.

Navržená konstrukce nástroje umožňuje ohýbání:

- bez přídržovače,
- s přídržovačem,
- s proměnnou hloubkou pracovní dutiny ohybnice,
- s vodícím stojánkem,
- bez vodícího stojánku,

- různých tloušťek materiálu, umožněné vyměnitelností vložek ohybnice a ohybníků a přestavitelným základním dorazem

Tab. 5.4 Celková síla $P / M_p /$ na ohyb s kalibrací a přidržovačem do tvaru U

$s [mm]$	ocel	hliník
0,8	13	5
2	17	7
3	20,5	10

V nástroji se ohýbá výlisek s rozměrovým návrhem /obr.5.8/. Pro snadné a rychlé upínání na lis a posouzení vlivu na kvalitu výlisků je nástroj konstruován do vodícího stojánu, který se skládá z dílů /1,3,4,5/. Při ohýbání bez vodícího stojánu se musí sejmout horní upínací deska /3/ s vodícími pouzdry /5/ a upnout do dutiny beranu jiný ohybník /15/.

Vyměnitelné vložky ohybnice /9/ jsou vsazeny do rámu /2/ a připevněny šrouby /12/. Rám ohybnice /2/ je podložen kalenou podložkou /6/ a se základovou deskou /1/ je spojen šrouby /14/. Správné ustavení nástřihů umožňuje seřizovací základní doraz /7/. Pomocí šroubů /13/ a vyměnitelných podložek /16/ s přesným rozměrem se vymezuje vzdálenost dorazů.

Při volbě měření na nástroji bez přidržovače /10/ se musí tento díl vyjmout z nástroje a namísto něj upevnit šrouby /17/ podložku /18/ vymezující doporučenou hloubku ohybnice.

Pro seřizování dolní úvratě lisu /přestavitelnost beranu/ je možné využití otvoru v rámu ohybnice /2/.

V případě potřeby získání přesnostních charakteristik úprav /5.1/ pro výlisky tvaru „V“ je třeba navrhnout vložky ohybnice podle rozměrů dutiny v rámu ohybnice /2/.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 93

Ke sledování průběhu sil /hlavně kalibrovací/ je vhodné vybavit nástroj tenzometrickým snímačem síly, který je možno doplnit odporovým snímačem dráhy. Protože z rozměrových důvodů nevyhovuje řešení uložení snímače průběhu síly do ohybníku, je doporučeno umístění na ojnici lisu na již obrobené plochy.

Stávající možnosti a vybavení dílen /VŠST/ pro tuto problematiku dovolují navržený způsob úspěšně realizovat.

7. NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU ŘEŠENÍ

Východiskem k dalšímu řešení tématu : vliv ohýbacího nástroje na kvalitu výlisků je navržená metodika studia vybraných konstrukčních úprav ohýbadla na kvalitu výlisku. Podle uvedeného konstrukčního návrhu zkušebního ohýbacího nástroje je třeba připravit jeho výrobu s ohledem na doporučené konstrukční úpravy /dílenské výkresy/.

Je nutné navrhnout způsob měření rozměrů výlisku podle doporučení.

Naměřené hodnoty budou podkladem pro vyhodnocení míry vlivu doporučených konstrukčních úprav nástroje na kvalitu výlisků. Bude vhodné stanovit rozsah uplatnění doporučených úprav nástroje s určením dosažitelné přesnosti /tolerance/ rozměrů výlisku v takové formě, aby je bylo možno podle těchto hledisek bezpečně použít při řešení praktických případů ohýbání.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DP - ST 1097/74
Fakulta strojní		KTM str. 94

8. ZÁVĚR

Můj diplomový úkol zněl : vliv ohýbacího nástroje na kvalitu výlisků.

K posouzení vlivů, které jsou určující pro kvalitu výlisků z hlediska operace ohýbání, bylo nutno shrnout základní poznatky o tomto technologickém procesu, protože nejsou v žádné dostupné literatuře uvedeny /souhrně/. Omezil jsem se na vytvoření co nejširšího pohledu na danou problematiku a na případná odvození jsem v textu odkázal.

Fokusil jsem se o přehled a klasifikaci vlivů, které charakterizují proces ohýbání /kap. 3/.

Navrhl jsem /kap.5/ výběr základních konstrukčních úprav ohýbacího nástroje, které výrazně ovlivňují kvalitu výlisků.

Pro stanovení konečného cíle tématu, t.j. : získání přesnostních charakteristik vybraných úprav nástroje ve formě umožňující obecnou aplikaci pro konkrétní případy řešení ohýbání, jsem navrhl metodiku sledování vlivů vybraných úprav na kvalitu výlisků /stať. 3/. Podle uvedené metodiky jsem navrhl konstrukční uspořádání zkušebního nástroje.

Domnívám se, že navržený způsob řešení vede k dosažení požadovaného cíle a přinese ekonomické výhody, protože náklady úprav nástroje jsou prakticky zanedbatelné, ale přitom výrazně ovlivňují kvalitu výlisků, která se projeví v celkové technické úrovni výrobků.

Za pomoc při řešení diplomového úkolu a odborné vedení děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. V. Mikešovi CSc, konzultantovi Ing. J. Strnadovi a katedře Technologie a nauky o materiálu.

V Liberci dne 27. 5. 1974

J. Strnada

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	DF - ST 1097/74	
Fakulta strojní		KTM	str. 95

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Kolektiv autorů : Lisování. Vydání první, SNTL Praha 1971
2. ZUBCOV, M.J.: Lisování. Vydání první, SNTL Praha 1955
3. MALOV, A.N. : Technologija choloďnoj šampovki. Vydání druhé přepracované, GIOP Moskva 1958
4. MARCINIÁK, Z.T.: Teorie tváření plechů. Vydání první, SNTL Praha 1964
5. ROMANOVSKIJ, V.P. : Příručka pro lisování za studena. Vydání první, SNTL Praha 1959
6. DOBROVCLNÝ, J. B.: Konstrukce nástrojů pro lisy. Vydání čtvrté doplněné, J.Hokr Praha 1946
7. HILBERT, H.L.: Stanzereitechnik. Band 2, Carl Hanser Verlag, Mnichov 1956
8. ČSN 22 7340 : Ohýbadla. Směrnice pro výpočet a konstrukci
9. MEŠČERIN, V.T.: Vlianije radiusa matricy i zazora na kačestvo naružnoj poverchnosti gnutych P-obraznych detalej. Kuzněčno, šampovočnoje proizvodstvo, 1973, /č.s.2/ , s.5-7

