

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: technologie a nauky o mater.

Fakulta: strojní

Školní rok: 1972/73

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Stanislava SVOBODU

odbor 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: Ovalita při hlubokém tažení.

Pokyny pro vypracování:

1. Zpracujte rozbor podmínek při tažení válcové nádoby.
2. Proveďte rozbor podmínek ovlivňující přesnost při hlubokém tažení zejména ovality průřezu.
3. Proveďte experimentální zkoušky tažení válcové nádoby na zařazení VŠST.
4. Vyhodnoťte rozměrovou a tvarovou přesnost výtažků.
5. Ekonomický přínos a závěry.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962. Věstník MŠK VIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/33 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Usilování knihovna
LIBEREC I. STUDENTSKÁ 5

S
V 133/1973

3

Rozsah grafických laboratorních prací: -

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. ZUBCOV: Lisování, SNTL Praha 1955
2. ROMANOVSKIJ: Příručka pro lisování za studena. SNTL Praha 1959

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jaroslav Tměj CSc

Konzultanti:

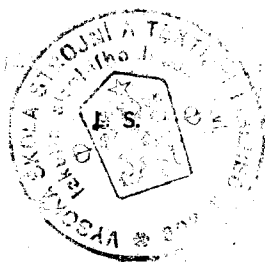
Ing. Jaroslav Křištof CSc

Datum zahájení diplomové práce:

18. 10. 1972

Datum odevzdání diplomové práce:

7. 7. 1973



Václav Chaloupecký
Doc. Ing. Václav Chaloupecký CSc
vedoucí katedry

Fr. Kotšmíd
Prof. Ing. Dr. techn. Fr. Kotšmíd
děkan

V

Liberec

dne

13. 10.

1972

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1972 -73

Stanislav Svoboda

Výtah z diplomové práce.

- 1) Rámcové zadání: Ovalita při hlubokém tažení.
- 2) Jméno diplomanta: Stanislav Svoboda.
- 3) Vedoucí DP: ing. Jaroslav Tměj Csc.
- 4) Stručný výtah DP: DP se skládá ze čtyř základních částí.

V první je popsán princip tažení bez ztenčení stěny, výpočet síly bez a s přidržovačem, přesnost při tažení. V druhé je proměření a vyhodnocení (grafy) výtažků, zhotovených na experimentálním nástroji, vyrobeném na VŠST. V třetí je popsána výroba kalíšku (vodítek) v n.p. Autobrzdý Jablonec n.N. a proměření jejich průměru. V poslední, čtvrté části je popsáno tažení se ztenčením stěny.

- 5) Místo vypracování a obhajoby DP: KTM VŠST Liberec.

VŠST Liberec		DP-ST 1014/73
Fakulta strojní	Diplomová práce	KTM 1

<u>O b s a h :</u>	str.
1.) Úvodní část	3
2.) Podstata tažení	5
2.1. Součinitele tažení a stupeň deformace	8
2.2. Výpočet sil při tažení s přidržovačem bez ztenčení stěny	13
2.3. Výpočet sil při tažení bez přidržovače bez ztenčení stěny	19
3.) Podmínky ovlivňující přesnost tažení	22
3.1. Anizotropie plechu	22
3.2. Další vlivy, které působí na přesnost tažení	25
3.3. Přesnost a jakost výrobku při tažení	25
4.) Měření na přípravku VŠST. Popis nástroje a zařízení	28
4.1. Podmínky zkoušek	30
4.2. Výsledky zkoušek	30
4.3. Zhodnocení zkoušek	38
5.) Postup výroby vodička v n.p. Autobrzdý Jablonec	40
5.1. Měření průměru vodítek	46
5.2. Hodnocení naměřených hodnot průměru vodítek	48
6.) Tažení se ztenčením stěny	49
6.1. Síla při tažení se ztenčením stěny	53
6.2. Nástroje k tažení se ztenčením stěny	54
6.21. Tažníky	55

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	2

	str.
6.22. Tažnice	56
6.3. Přesnost a jakost součástí při tažení se ztenčením stěny	58
7.) Ekonomické zhodnocení	61
8.) Závěr	62
9.) Použitá literatura	63

1. Úvodní část.

Lisování za studena neboli beztržiskové tváření (dále v textu jen lisování), je druh strojního obrábění kovů a jiných materiálů zvláštními technologickými pochody, při nichž se neodebírá tříska.

Pro lisování je charakteristické:

1. způsob provádění práce: materiál se zpracovává tlakem za studena,
2. druh používaných nástrojů: lisovadla, jež přímo přetváří materiál,
3. druh používaného zařízení: lisy a automaty, které vytvářejí pracovní tlak, potřebný k deformaci lisovaného materiálu,
4. druh zpracovávaného materiálu: tabule, pruhy a pásy.

Tvar a rozměry výlisků se přitom poměrně přesně shodují s tvarem a rozměry pracovních částí lisovadel - lisovníku a lisovnice.

Lisování je jedním z nejpokrokovějších technologických způsobů výroby a má mnoho výhod proti jiným způsobům zpracování kovu.

Lisování umožňuje vyrábět součásti složitých tvarů, které jinými technologiemi nelze buď vůbec, nebo jen obtížně vyrobit. Dovoluje vyrábět součásti s dostatečně přesnými rozměry převážně bez dalšího strojního obrábění.

Je výhodné z hlediska hospodárného využití materiálu a poměrně malým odpadem, použitím mechanizace a automatizace výrobních procesů a hromadné výroby výlisků.

Lisování se bude stále rozvíjet. Budou se vylepšovat stávající a vytvářet nové technologické postupy lisování.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	4

Rozšiřovat použití typizovaných, normalizovaných a univerzálních lisovadel, zmenšovat spotřebu materiálu, zvětšovat přesnost, zavádět mechanizace a automatizace lisovacích pochodů a zvětšovat trvanlivost lisovadel ve velkoseriové a hromadné výrobě.

Nahradíme-li lité a třískově vyrobené součásti výlisky uspoří se: na váze součásti 25 - 50 %

na kovu 30 - 70 %

na pevnosti 50 - 80 %

při čemž se zvětší pevnost a tuhost, neboť výchozí materiál má mnohem lepší mechanické vlastnosti než materiál odlitků, kov je mnohem účelněji rozdělen v průřezu lisovaného profilu, účelnou lisovací technikou (např. lisováním výstužných žebířů) se zvětšuje tuhost.

Hlavním pokrokovým konstrukčním ukazatelem, jenž je charakteristický pro lisování, je tedy menší váha, větší pevnost a větší tuhost plechových výlisků ve srovnání např. s odlitky.

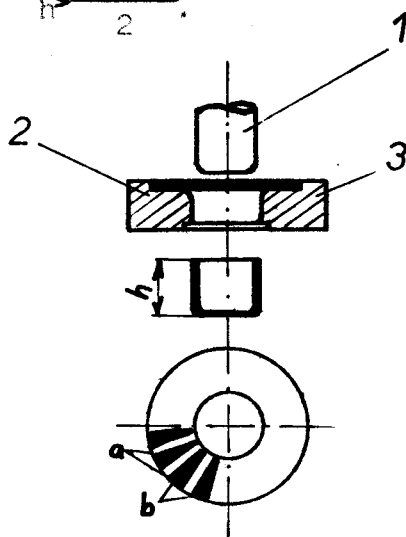
Hlavním pokrokovým technologickým činitelem jenž charakterizuje další rozvoj lisování za studena, je snaha vyrobít lisováním úplně hotovou součást, kterou už není třeba obrábět.

Do lisování patří: stříhání, ohýbání, tažení a tváření za studena.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	5

2. Podstata tažení :

Při tažení (obr. 1) se prstencová část poloměru $(D-d)$ změní na válec průměru d a výšky h . Jelikož se ale objem kovu při tažení nemění, je výška h větší než šířka prstencové části $h_0 = h \frac{D-d}{2}$.



obr. 1. Podstata tažení

1 - průtažník; 2 - průtažnice; 3 - polotovár

Tažení je tedy tvárná deformace, při níž se přesune značný objem kovu. Tento přesunutý objem je schematicky znázorněn na obr. 1. Z geometrických vztahů plyne tento vzorec pro přesunutý objem :

$$V_p = S \frac{\pi}{4} (D-d) \quad (2.01)$$

Stupeň deformace při tažení pak lze vyjádřit poměrem přesunutého objemu k deformovanému [1] :

$$E = \frac{V_p}{V_{def}} = \frac{(D-d)^2}{D+d} = \frac{D-d}{D+d} \quad (2.02)$$

Je-li stupeň deformace velký, je přesunutý "přebytečný" objem příčinou vzniku vln (záhybů) a přeložek. To je např. při hlubokém tažení.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	6

Při malém stupni deformace a při poměrně velké tloušťce materiálu se vlny netvoří, poněvadž vlny nejsou vysoké a uhlazují se při protlačování výtažků otvorem průtažnice. Aby se tvoření vln při tažení zamezilo, přidržuje se polotovar přidržovači.

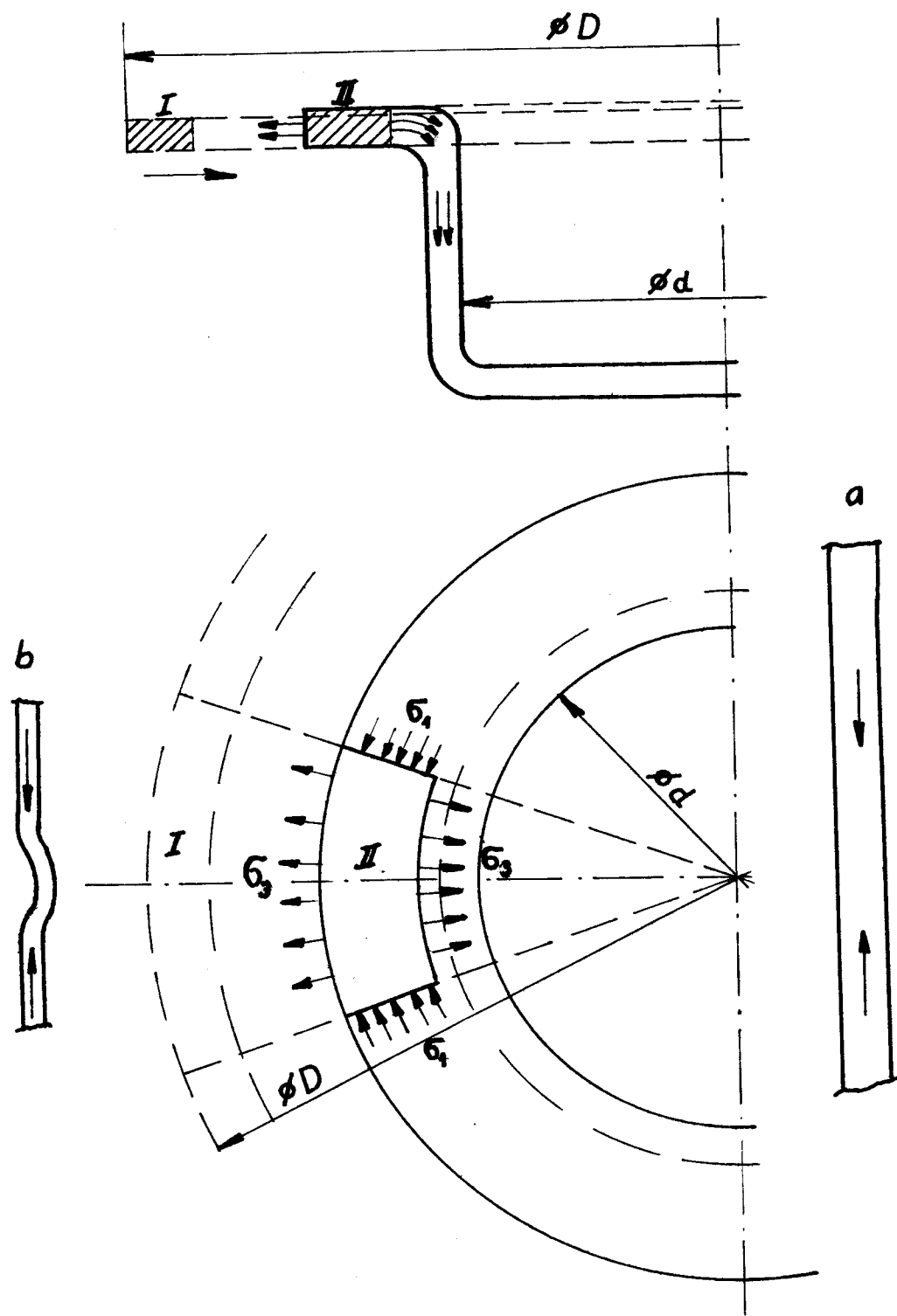
Při tažení válcové nádoby nastává složitá tvárná deformace, při které částice plochého polotovaru I (obr.2) mění své rozměry, prodlužuje se v radiálním a zkracuje v tangenciálním směru, přesune se do polohy II a nakonec přechází v částici pláště dutého výtažku.

Na začátku první fáze tažení se u částice polotovaru I, která je poblíž vnějšího okraje příruby (obr. 2), nejvíce projevuje tangenciální deformace tlakem, středně veliká je deformace prodloužením v radiálním směru a nejmenší je deformace, která se jeví zvětšením tloušťky materiálu.

Vlivem tangenciální deformace tlakem se při tažení tenkého materiálu tvoří vlny (obr. 2b). U tlustého materiálu se při stejných rozměrech polotovaru a výrobku vlny netvoří. (obr.2a).

Přemísťuje-li se částice ve směru k tažné hraně průtažnice do polohy II, bude největší deformací radiální prodloužení, poněvadž tangenciální stlačení se postupně zmenšuje. Přechází-li částice přes tažnou hranu, stává se deformace složitější, neboť nastává prostorový ohyb. Potom částice polotovaru přechází do zakřivené svislé stěny; zde se jen prodlužuje podél tvořící čáry stěny, přičemž se materiál nepatrně ztenčuje. Jen poblíž dna výrobku vzniká soustředěná deformace značného ztenčení.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	7



obr.2. napětí a deformace částic polotovaru při tažení.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	8

Materiál dna výrobku se nepatrně prodlužuje (laž 2 %) a ztenčuje (2 až 3 %).

Při pokusech [1] bylo zjištěno, že deformace ve stěně výlisku v otvoru průtažnice a u zaoblení dna trvá po dobu celého pracovního zdvihu a při tom se tloušťka materiálu neustále zmenšuje.

Na obr. 3 jsou znázorněna schemata napjatosti a deformace různých místech výrobku při tažení s přidržovačem. Při tažení bez přidržovače se mění jen schema napjatosti v přírubě.

Tažení je tedy složitý pochod, při němž se druhy napjatosti a deformace neustále mění.

Velikost napjatosti a deformace je různá v různých fázích tažení a v různých částech polotovaru. Největší napjatost a deformace je na okraji (v přírubě) tažené součásti.

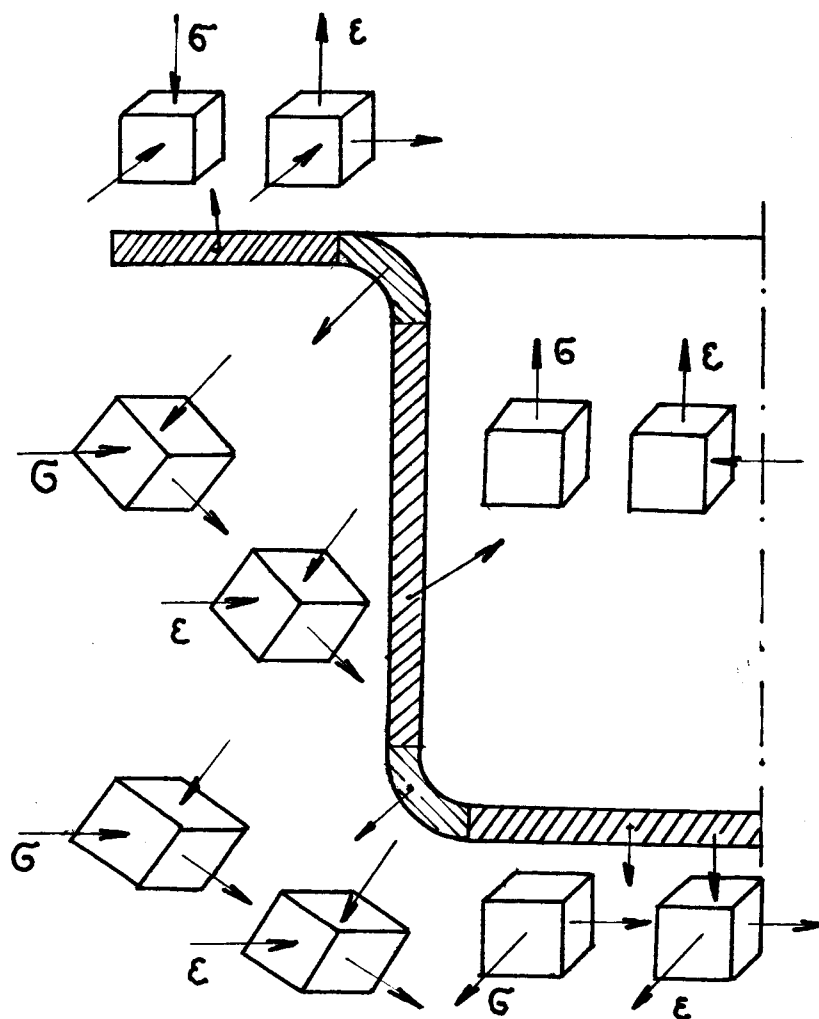
Nejnebezpečnějším místem je však pásmo přechodu ode dna ke stěnám součástí (rádius u dna výrobku) poněvadž tam je materiál značně ztenčen a tahová napětí jsou tam velká.

2.1. Součinitele tažení a stupeň deformace.

Tažení lze provádět na jednu nebo několik operací, podle poměru výšky a průměru tažené součásti a rovněž podle poměrné tloušťky polotovaru.

Je snaha, aby se tažení skládalo z co nejmenšího počtu operací s pokud možno velkým stupněm deformace (poměrné zmenšení průměru a zvětšení hloubky tažení) bez použití žíhání mezi operacemi.

Stupeň deformace při tažení válcovitých součástí lze



obr.3. schema napjatosti a deformace při
tažení; σ - napětí, ϵ - deformace.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	10

měřit jedním z těchto ukazatelů [1] :

$$\frac{D-d}{d}; \frac{D-d}{D}; \ln \frac{D}{d}; K = \frac{D}{d} = \frac{1}{m}; m = \frac{d}{D} = \frac{1}{K}$$

kde D - $\varnothing$ polotovaru [mm]

d - $\varnothing$ součásti [mm]

m - součinitel tažení

K - stupeň tažení - převratná hodnota součinitele tažení.

Tyto ukazatele jsou vzájemně na sobě závislé. Celkový stupeň deformace správně vyznačují jen při úplném přetažení příruby do stěny součásti.

Jejich číselné hodnoty jsou podle poměru $\frac{D}{d}$ uvedeny na obr. 4 [1]

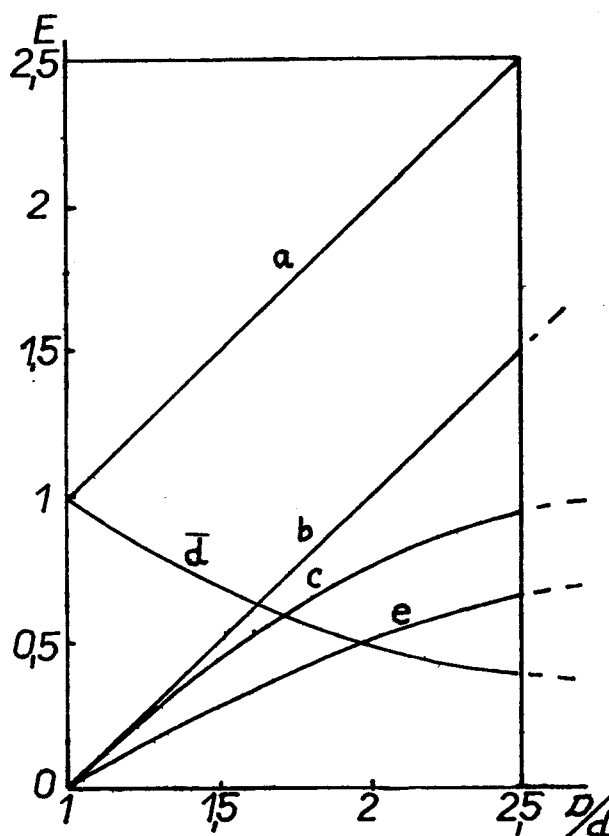
Správnějším ukazatelem stupně deformace je ukazatel v logaritmickém tvaru $\ln \frac{D}{d}$. Ten se však nehodí pro praktické použití. Neméně význačným ukazatelem stupně deformace je součinitel tažení m . Jeho číselná hodnota je nepřímo úměrná stupni deformace - čím menší je m , tím větší je stupeň deformace. Je nejjednodušší a nejvhodnější pro rychlé výpočty a v praxi se hodně používá.

Mezní stupeň deformace při tažení je uveden v tabulce 1.

[1] Mezní stupeň přetvoření a příslušné součinitele tažení závisí značnou měrou na poměrné tloušťce polotovaru a na poloměrech zaoblení tažných hran průtažnice.

Tažení omezují tyto tři hlavní příčiny :

a) nedostatečná neb omezená tvárnost kovu, jež způsobuje



obr. 4 porovnávání různých ukazatelů stupně deformace při tažení
 $a - K$, $b - \frac{D-d}{d}$, $c - \ln \frac{D}{d}$, $\bar{d} - m$, $e - \frac{D-d}{D}$.

Ukazatel stupně deformace	teoretický	praktický
m	0,368	0,45 až 0,40
K	2,72	2,25 až 2,50
$\ln \frac{D}{d}$	1,0	0,8 až 0,9

tab. 1 mezní stupeň deformace při tažení v první operaci

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	12

zvýšený odpor přetvoření ploché příruby a tím zvětšuje napětí v tahu nebezpečném průřezu a má za následek utržení dna,

b) tvoření přeložek a vln vlivem ztráty odolnosti příruby polotovaru, jež značně zvětšuje odpor při tažení a způsobuje předčasné přetržení polotovaru,

c) malý poloměr zaoblení tažných hran průtažnice, jenž zároveň s jinými příčinami způsobuje značné zvětšení odporu při vtahování plochého polotovaru do otvoru průtažnice, zvětšení tažného napětí v nebezpečném průřezu a předčasné odtržení dna. Čím větší je poloměr zaoblení hran průtažnice, tím většího stupně deformace se dosáhne. To však platí jen v určitém rozsahu.

Každému stupni deformace přísluší určité napětí v nebezpečném průřezu, jež omezuje možnost tažení a způsobuje za určitých okolností vznik trhlin a odtržení dna. Napětí v nebezpečném průřezu smí mít hodnotu [1] $\sigma \leq 1,11 \sigma_{\text{p}}$, kde σ je napětí v tahu v nebezpečném průřezu.

Nejsprávnější a nejpresnější způsob určení stupně deformace a počtu tažných operací je způsob, založený na tom, že se určí skutečné napětí, jež vznikají při tažení; při tom se využívá základních zákonů teorie tvárnosti. Protože však tento způsob je složitý, není vhodný pro praxi a počet potřebných tažných operací se vypočte podle pokusně stanovených součinitelů tažení, jež charakterizují dovolenou velikost stupně deformace.

Součinitelé tažení se vyjadřují poměry: pro první tah $m_1 = \frac{d_1}{D}$; pro druhý tah $m_2 = \frac{d_2}{d_1}$; pro další tahy $m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}$; z nich najdeme rozměry za sebou jdoucích výtažků

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	13

$$d_1 = m_1 D ; \quad d_2 = m_2 d_1 ; \quad d_n = m_n d_{n-1} .$$

2.2. Výpočet sil při tažení s přidržovačem bez ztenčení stěny.

Přidržovačů je třeba použít proto, aby se zabránilo vzniku vln při tažení. O tom zda se použije přidržovače, rozhodneme podle poměrné tloušťky polotovaru $\frac{s}{D}$ a poměrné velikosti přemístěného objemu kovu, jak to ukazuje tabulka 2.

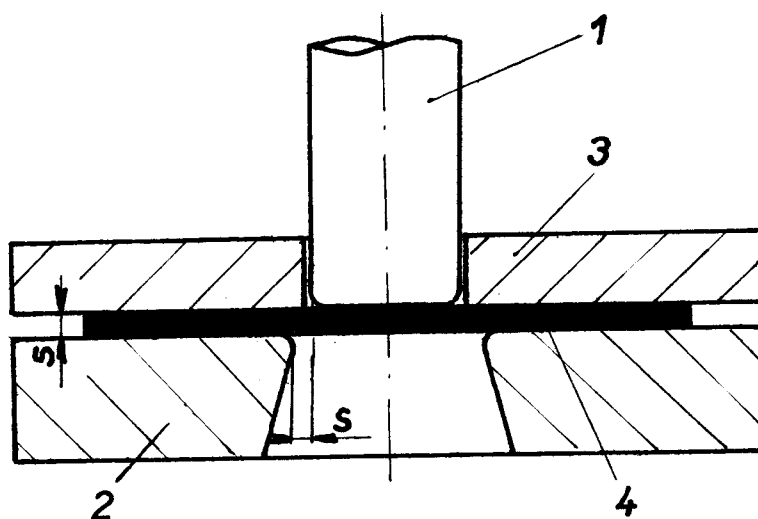
Způsoby tažení	Pro 1. tah		Pro další tahy	
	$\frac{s}{D}$	m	$\frac{s}{D}$	m
S přidržovačem	$< 0,015$	$\leq 0,6$	$< 0,01$	$\leq 0,8$
Bez přidržovače	$> 0,02$	$> 0,6$	$> 0,015$	$> 0,8$

tab. 2 meze použití tažení s přidržovačem a bez přidržovače

Problém hlubokého tažení plechu lze po důkladném pozorování převést na tažení tyčí. Při hlubokém tažení se kotouč plechu tloušťky s upne soustředěně mezi přidržovač a průtažnici (obr. 5), průtažník se při tom pohybuje otvorem v přidržovači a průtažnici a vytahuje při tom plech mezerou šířky s mezi průtažníkem a průtažnicí, přičemž se plech formuje do tvaru nádoby. Plechový kotouč si představíme rozdělený do výsečí $abcd$ (obr. 6). Tažením se vytvoří z každé takové výseče pravoúhlý rovnoběžník šířky b_2 ,

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	14

při čemž tyto rovnoběžníky tvoří stěnu nádoby. Při hlubokém tažení se tedy protahuje výseč lichoběžníkového tvaru otvorem výšky b_2 a šířky s (obr. 6). Při tažení výseče otvorem bc o výšce b_2 se posouvají strany AB a CD elemen-



obr. 5 hluboké tažení s přidržovačem

1 - tažník, 2 - tažnice, 3 - přidržovač, 4 - polotovar.

tárního hranolu $ABCD$ vyříznutého z výseče podél radiálních paprsků ab a cd k otvoru bc . Každou elementární výseč lze považovat za úsek tyče, která je upnuta v kuželovém průvlaku a vystavena deformaci účinkem tlaku. Deformace je vyvolána tažnou silou Z , jejíž velikost je

$$Z = k \cdot F \quad (2.21)$$

kde k je střední přetvárný odpor a $F = (b_1 - b_2) \cdot s$ je účinný průřez. Střední přetvárný odpor, který je totožný s hlavním napětím σ_1 , se stanoví takto :
podmínka deformace podle O. Mohra :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = k_p \quad (2.22)$$

Protože při tažení je znaménko σ_3 záporné bude mít rovnice 2.22 tento tvar :

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	15

$$\sigma_1 + \sigma_3 = k_p \quad (2.23)$$

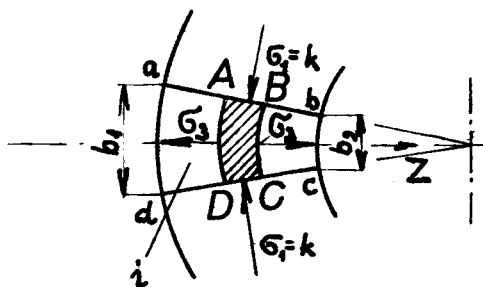
protože $\sigma_1 \approx k$, lze psát :

$$k + \sigma_3 = k_p \quad (2.24)$$

Střední hlavní napětí, které vzniká ve směru tažné síly Z,

$$\text{je} \quad \sigma_{str} = \frac{Z}{2b_2 \cdot s} \quad (2.25)$$

Dosadíme-li tuto hodnotu do rovnice (2.24), dostaneme :



obr. 6 napětí výseče při hlubokém tažení

$$k_{pstr} = k_{str} + \frac{k_{str} \cdot F}{2b_2 \cdot s} = k_{str} \left(1 + \frac{b_1 - b_2}{2b_2} \right) \quad (2.26)$$

Z toho střední přetvárný odpor:

$$k_{str} = \frac{k_{pstr}}{1 + \frac{b_1 - b_2}{2b_2}} \quad (2.27)$$

Protože kotouč se skládá ze stejných výsečů, můžeme rovnici (2.27) zevšeobecnit pro celý kruhový kotouč. Celkový

$$\text{úběr průřezu je pak} \quad F = (d_1 - d_2) \cdot \pi \cdot s \quad (2.28)$$

a střední přetvárný odpor :

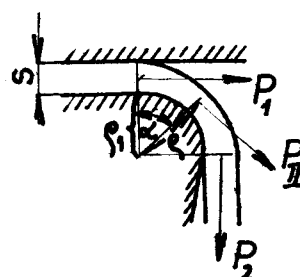
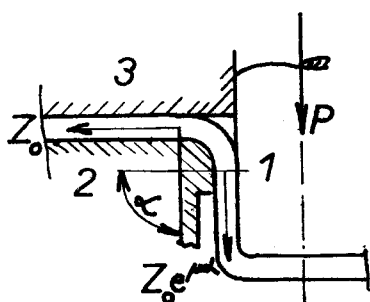
$$k_{str} = \frac{k_{pstr}}{1 + \frac{d_1 - d_2}{2d_2}} \quad (2.29)$$

Tažná síla potřebná pro vznik deformace je :

$$P_{def} = F \cdot k_{str} = k_{str} (d_1 - d_2) \cdot \pi \cdot s \quad (2.210)$$

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	16

Při hlubokém tažení musí síla, která pohybuje trnem, vykonat nejen přetvárnou práci, ale musí též překonávat třenívprůtažnici. Je-li plech zatlačen průtažníkem do průtažnice a dále tažen, vzniká na tažné ploše tření (obr. 7), k jehož překonání při tažení elementární výseče je zapotřebí síly: $T = Z_0 \cdot e^{\mu \mathcal{L}} - Z_0$, (2.211)



obr. 7 tření na tažné ploše obr. 8 dvojnásobný ohyb plechu

kde Z_0 je síla potřebná k tažení elementární výseče, e je základ přirozených logaritmů, μ je součinitel tření a $\mathcal{L} = \frac{\pi}{2}$ je oblouk upnutého plechu.

Tažený plech je při tváření vystaven dvojímu ohybu. Nejdříve se ohýbá kolem zaoblené hrany průtažnice a pak se opět narovná (obr. 8). Sílu potřebnou k tomuto dvojnásobnému ohybu lze vypočítat takto:

Při tažení se ohýbá elementární výseč šířky b a tloušťky s v průřezu I kolem hrany průtažnice zaoblené poloměrem . Práce ohybu je

$$P_1 \cdot \rho \cdot \mathcal{L} = M \cdot \mathcal{L} \quad (2.212)$$

odkud tažná síla

$$P_1 = \frac{M}{\rho} = \frac{G_{kr} \cdot b s^3}{4 \rho} \quad (2.213)$$

V průřezu II se plech narovná. Protože se musí dosáhnout původního stavu, musí se zde vyvinout stejná práce jako

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	17

v průřezu I. Síla je stejně veliká. Celková síla potřebná k provedení ohybu je tedy:

$$P_2 = 2P_1 = \frac{G_{kt} \cdot b s^2}{2\rho} \quad (2.214)$$

Je-li tažný nástroj plný kruh je $b = \pi \cdot d_2$ a síla ohybu

$$P_b = \sum P_2 = \frac{G_{kt} \cdot \pi \cdot d_2 s^2}{2\rho} \quad (2.215)$$

Uvažujeme-li také tření na hraně průtažnice, je síla ohybu

$$P = \frac{G_{kt} \cdot \pi \cdot d_2 s^2}{4\rho} (e^{\mu \mathcal{L}} + 1) \quad (2.216)$$

Při tažení drátu a tyčí bylo zjištěno, že se zřetelem k usměrňování vláken při výstupu v průvlaku je nutno počítat s vnitřní prací. Také při hlubokém tažení vznikají při výstupu z nástroje vnitřní ztráty. Dodatečná práce způsobená usměrňováním vláken (obr. 6) :

$$A_i = \frac{G_{kt}}{2\sqrt{3}} \mathcal{L} V \quad (2.217)$$

kde G_{kt} je přetvárná pevnost tažného plechu. Protože

$$\Delta P_i \cdot h = \Delta A_i \quad (2.218)$$

je :

$$\Delta P_i = \frac{\Delta A_i}{h} = 0,29 \cdot G_{kt} \frac{V}{h} \cdot \mathcal{L} \quad (2.219)$$

$$\Delta V = i s h \quad V = \Delta V \frac{2\pi r}{i}$$

$$\text{když je } \mathcal{L} = 1^\circ \text{ je } \frac{i}{r} = 0,0175 \quad \frac{2\pi \cdot r}{i} = 360$$

$$\Delta V = i s h = 0,0175 \cdot r s h$$

$$V = \Delta V \cdot \frac{2\pi r}{i} = 360 \cdot 0,0175 \cdot r \cdot s h$$

A proto síla, která vyvolá vnitřní posunutí materiálu

$$P = 0,03 \cdot r \cdot G_{kt} s \quad (2.220)$$

Uvažujeme-li dále, že přidržovač okrajů tálčí na plech si-

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	18

lou H a uvažujeme-li tření, které při tom vznikne, přičemž součinitel tření je μ_1 , je celková síla potřebná k pohybu průtažníku [2] :

$$P = [k_{st} \cdot (d_1 - d_2) \cdot \pi \cdot s + 0,03 \cdot r \cdot G_{st} \cdot s + 2H\mu_1] e^{\frac{\pi}{2}} + \frac{d_2 \cdot s^2 \cdot \pi \cdot G_{st}}{4 \cdot (G_1 + \frac{s}{2})} \cdot (e^{\frac{\pi}{2}} + 1). \quad (2.221)$$

Z toho vyplývá, že síla P se neustále mění od počátku tažení až do jeho zkončení. Hodnota $(d_1 - d_2)$ vyskytující se v rovnici (2.221) se při tažení neustále zmenšuje, kdežto hodnota k_{st} ve výrazu pro střední přetvárný odpor k_{st} neustále vzrůstá - (rovnice 2.29) . S tím roste též hodnota k_{st} , neboť zmenšování rozdílu $(d_1 - d_2)$ ve jmenovateli má za následek růst k_{st} . Tím, že se tažná síla takto mění, je výpočet spotřeby energie, potřebné na deformaci, záhybně složitý.

Práci, potřebnou na deformaci lze vyjádřit obecně rovnicí

$$L = \int_{(h)} P \, dh \quad (2.222)$$

kde P je síla vyvolávající pohyb trnu, h dráha trnu.

Výpočet tohoto integrálu je obtížný. Tato úloha se tedy řeší graficky.

Protože hodnota síly P je poměrně malá, můžeme ji při praktických výpočtech zanedbat. Síla na hluboké tažení se pak počítá [2] :

$$P = [k_{st} \cdot (d_1 - d_2) \cdot \pi \cdot s + 2H\mu_1] e^{\frac{\pi}{2}} + \frac{G_{st} d_2 \pi s}{4 \cdot (G_1 + \frac{s}{2})} \cdot (e^{\frac{\pi}{2}} + 1) \quad (2.223)$$

Hluboké tažení nelze provádět při libovolných rozměrech d_1 , d_2 , s . Zdárný výsledek je omezen touto nerovností :

$$P \geq \pi \cdot d_2 \cdot s \cdot G_{st} \quad (2.224)$$

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	19

σ_{pt} značí pevnost materiálu v tahu. Je-li P menší, podaří se plech vytáhnout bez trhání. Je-li P větší, dno nádoby se utrhne.

Proto vyžaduje tažení nádoby, která je v poměru ke svému průměru vysoká několika postupných tahů. Pak síla potřebná pro druhý a též další tahy dána výrazem

$$P = k_{st} \pi (d_2 - d_1) s e^{\mu \alpha} + \frac{\sigma_{kt}^* \pi d_2 s^2}{2 \rho_1} + \frac{\sigma_{kt}^{**} \pi d_1 s^2}{2 \rho_1} \quad (2.225)$$

kde σ_{kt}^* a σ_{kt}^{**} značí meze průtažnosti při prvním resp. při druhém ohybu.

2.3. Výpočet sil při tažení bez přidržovače bez ztenčení stěny.

Tažení bez přidržení okrajů a plechu je možné jen při tváření poměrně tlustých plechů, jejichž tloušťka s je více než padesátina průměru průtažníku d ($s > 0,02 d$) a není-li průměr kotouče větší než 20 až 25 násobek tloušťky plechu. Tyto údaje jsou v různé literatuře udávány jako směrné a musí být uvažovány v souvislosti s tabulkou 2. Při tažení bez přidržení okrajů je hodnota odstupňování průměrů menší než při tažení s přidržení okrajů. Při tom musí být pracovní hrana průtažnice záněčně zaoblena. Na obr. 9 je znázorněn pracovní postup při volném tažení.

Síla potřebná pro hluboké tažení bez přidržovače [2] :

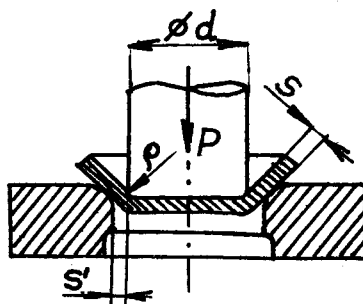
$$P = P_1 + P_2' + T, \quad (2.226)$$

kde P_1 je síla potřebná na ohyb (obr. 10)

$$P_1 = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{kt} \pi r_1 s^2}{\rho_1 + y} \left(\frac{\cos^2 \alpha}{1 - \sin \alpha} + \mu \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{1 - \sin \alpha} \right) \quad (2.227)$$

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	20

P'_x - svislá složka síly P_x (obr. 11)



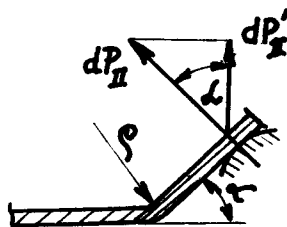
obr. 9 tažení bez přidržovače

$$P_x = \frac{V G_M}{\varphi} = \frac{2V G_M}{2r_1 + (r-r_1) \cos \mathcal{L}} \quad (2.228)$$

síla $P'_x = P_x \cos \mathcal{L}$ a tedy

$$P'_x = \frac{2V G_M \cos \mathcal{L}}{2r_1 + (r-r_1) \cos \mathcal{L}} \quad (2.229)$$

T_v - svislá složka tření T , které vyvolá reakce P_f na hraně průtažného kroužku (obr. 12)



obr. 11 stanovení sil při tažení bez přidržovače

$$T = P_x \mu \quad (2.230)$$

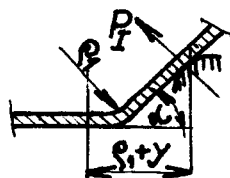
$$T_v = P_x \mu \sin \mathcal{L} \quad (2.231)$$

$$T_v = \frac{2V G_M}{2r_1 + (r-r_1) \cos \mathcal{L}} \mu \sin \mathcal{L} \quad (2.232)$$

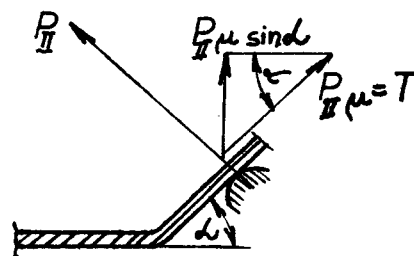
VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	21

Protože $V = \pi (r^2 - r_1^2) s$, pak

$$P = \frac{1}{2} \frac{6\pi r_1 s^2}{r_1 + s} \left(\frac{\cos^2 \angle}{1 - \sin \angle} + \mu \frac{\sin \angle \cos \angle}{1 - \sin \angle} \right) + \frac{2\pi (r^2 - r_1^2) s}{2r_1 + (r - r_1) \cos \angle} (\cos \angle + \mu \sin \angle). \quad (2.232)$$



obr. 10 stanovení síly,
která vyvolává ohyb



obr. 12 stanovení tření na
hraně tažného nástroje

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	22

3. Podmínky ovlivňující přesnost při tažení.

Hlavní podmínky ovlivňující přesnost jsou [3] :

- A) poměr poloměru vystřiženého kotouče k poloměru kalíšku
Poměr poloměru vystřiženého kotouče k poloměru kalíšku může dosahovat jen určité maximální hodnoty. Při překročení této hodnoty kalíšek nevytáhneme, neboť se nám bude trhat dno. V praxi je to hodnota K resp. $\frac{1}{K}$ což se rovná $m = \frac{d}{D}$. Pro první tah při klasickém tažení bývá $m = 0,6$ až $0,54$.
- B) správný geometrický tvar a správné rozměry nástroje.
Správný geometrický tvar a správné rozměry nástroje jsou vlastně prvním, základním předpokladem přesné výroby.
- C) Stav materiálu kotouče a správná jakost jeho vystřižení.
Velký vliv na přesnost má stav materiálu. To znamená jeho jakost (vměstky, dislokace) a anizotropie materiálu.

3.1. Anizotropie materiálu.

Anizotropie je nestejnorodost mechanických vlastností.

Plošná anizotropie je nestejnorodost v různých směrech roviny plechu. Vyjadřuje se nejčastěji v hodnotách σ_{kt} , σ_{pt} , δ , např. plošná anizotropie meze kluzu [6]

$$A = \frac{\sigma_{kt}(\text{příč.}) - \sigma_{kt}(\text{podél.})}{\sigma_{kt}(\text{podél.})} 100 \quad (3.11)$$

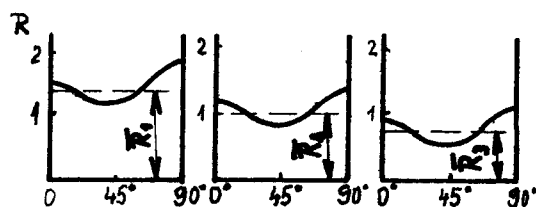
S plošnou anizotropií souvisí výskyt tkzv. "jazyků" u výlisku. Obvykle vznikají na čtyřech místech pootočených od sebe o 90° . Cípy mohou vznikat [4] ve směru válcování nebo v rovinách svírajících se směrem válcování úhel 45° .

VŠST Liberec	Diplomové práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	23

To závisí [5] na velikosti redukce při válcování za studena.

Plošná anizotropie má nepříznivý vliv na hlubokotažnost nejen pro vznik jazyků, které se musí odstřihnout, ale může způsobovat zeslabení stěn, které způsobuje též určitou kruhovou nerovnoměrnost [7].

Normální anizotropie představuje rozdíl mezi vlastnostmi plechu ve směru kolmém k jeho povrchu a vlastnostmi v jeho rovině. Vyjadřuje odolnost plechu ke ztenčování při lisování. Normální anizotropie: [6]



obr. 13 typický průběh normální anizotropie R v závislosti na směru odběru tahové zkoušky vzhledem ke směru válcování pásu a její vliv na hlubokotažnost.

$\bar{R}_1 = 1,4$ - velmi dobrá hlubokotažnost

$\bar{R}_2 = 1,0$ - dobrá hlubokotažnost

$\bar{R}_3 = 0,7$ - špatná hlubokotažnost

$$R = \frac{\ln(b_0/b_{20})}{\ln(d_0/d_{20})} = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_d} \quad (3.12)$$

kde b_0 je výchozí šířka etalonu

b_{20} je šířka etalonu tahové zkoušky po poměrném prodloužení o 20 %

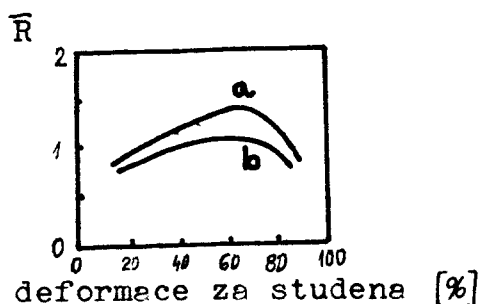
d_0 je tloušťka etalonu před deformací

d_{20} je tloušťka etalonu po 20 % poměrném prodloužení.

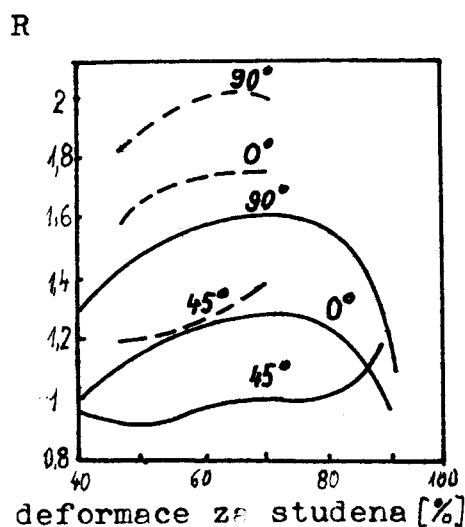
Z hodnot R určujeme průměrnou hodnotu $\bar{R}$ normální anizotropie. Rozdíly $(R - \bar{R})$ vyjadřují stupeň plošné anizotropie. Jazyky se tvoří [6], kde je R maximální.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	24

Na hodnoty plošné a normální anizotropie má největší vliv velikost celkové deformace při válcování za studena, doválcovací teplota při válcování za tepla a podmínky žíhání.



obr. 14 vliv velikosti deformace za studena na průměrnou hodnotu normální anizotropie rekrytalizačně žíhaných pásů z hlubokotažných ocelí.
a - ocel uklidněná hliníkem
b - ocel neuklidněná



obr. 15 vliv deformace za studena na normální anizotropii rekrytalizačně žíhaných pásů z neuklidněné a hliníkem uklidněné oceli ve směrech úhlů 0°, 45° a 90° ke směru válcování.
čárkovaně - ocel uklidněná hliníkem
plně - ocel neuklidněná

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	25

3.2. Další vlivy, které působí na přesnost tažení.

Přesnost bude dále ovlivňovat mnoho dalších vlivů. Např. velikost zaoblení hran tažníků a tažnice, vůle mezi přidržovačem a tažnicí.

Velikost zaoblení tažné hrany tažnice má vliv na kuželovitost výtažku. Čím větší je poloměr zaoblení, tím větší je odpružení materiálu a tím také větší kuželovitost.

Vůle mezi přidržovačem a tažnicí má vliv na tvoření vln. Tvoření vln má nepříznivý vliv na přesnost průměru. Vlny nám vlastně ovlivňují velikost vnějšího průměru a to hlavně v horní části výtažku.

3.3. Přesnost a jakost výrobků při tažení.

Přesnost výroby kalíšků je uvedena v tabulce 3 [3].

Tloušťka materiálu mm	Průměr kalíšku mm				
	5 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50
do 1	-0,08	-0,12	-0,2	-0,3	-0,3
1 - 2	-0,15	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4
2 - 5	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4
5 - 10	-0,3	-0,35	-0,45	-0,5	-0,5

tab. 3 přesnost výroby kalíšků

Při porušování provozních předpisů během výroby má za následek vznik zmetků.

Druhy zmetků:

- 1) kalíšky s různou tloušťkou stěn a úkosem nad dále uvedené veličiny:

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	26

a) podle rozdílů tlouštěk stěn: $\frac{t}{d}$ 0,15;0,2;0,25;0,3;
rozdíly tlouštěk 0,05;0,06;0,08;0,1;[mm]

b) podle úkosů $\frac{h}{d}$ 0,4;0,5;0,6;0,8;
úkos 0,7;0,7;0,8;0,9;[mm]

kde t - tloušťka stěny ve střední části kalíšku [mm],
d - průměr kalíšku [mm] ,
h - výška kalíšku [mm] .

Tyto zmetky jsou způsobeny nesouosostí tažníků a tažnic, nesouosostí ustavovací a pracovní části tažnice, nesoustředným kuželem u tažnice.

- 2) Kalíšky šikmé s různou tloušťkou stěn nebo bez tvaré.
Způsobuje je nekolmost roviny tažnic ke zdvihu tažníku, kývání tažnic během výroby, nesprávné podéávání polotovaru k dorazu podavače.
- 3) Kalíšky s velkými pilovitými zuby na čelním povrchu.
Způsobuje je anizotropie plechu.
- 4) Slisované bez tvaré kalíšky dostaneme při práci s utrženým tažníkem.
- 5) Škráby a odřenyiny na bočním povrchu. To nám vzniká při nesprávném tepřeném zpracování nástroje, trhlinách na nástroji, porušením chromového povlaku, znečistěné polotovary.
- 6) Kalíšky s utrženým dnem nebo stěnou, nebo s natržením v místě přechodu na boční stěnu (radius). Je to důsledkem špatné jakosti materiálu nebo tepřeného zpracování před tažením, nesprávným tvarem pracovní části tažníku nebo tažnice, nedostatečné délky poloměru zaoblení tažní-

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	27

ku nebo tažnice.

7) Kalíšky s trhlinami na čele, nesprávným tvarem čelního povrchu. To je způsobeno dodávkou nevyžíhaných nebo nedostatečně vyžíhaných polotovarů, dodávkou polotovarů s otřepy vzniklými následkem nesprávné vůle mezi střižníkem a střižnicí, nesprávným poloměrem na tažnici.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	28

4. Měření na přípravku VŠST. Popis zařízení a nástroje.

Kalíšky se táhly na nástroji (obr. 16), vyrobeném na VŠST. Průměr tažníku je 78 mm. Je připevněn k upínací hlavici, které je upnuta na beran lisu. Je snadno vyměnitelný proto, aby se mohl měnit poloměr zaoblení jeho hrany. Tažnice má průměr 80 mm a je upevněna čtyřmi šrouby ke stolu lisu. Pro zkoušky byl použit plech tloušťky $t = 0,8$ mm. Tažná mezera mezi tažníkem a tažnicí je 1 mm. Toto jižním způsobí kuželovitost výtažku. Použilo se pevného přidržovače. Upevňoval se pomocí tří šroubů a po každém tažení se musel demontovat. Vůle mezi tažnicí a přidržovačem je 0,85 mm, což odpovídá běžným podmínkám při tažení pro tloušťku materiálu 0,8 mm. Výlisky se vyhazovaly pomocí pneumatického vyhazovače, umístěného v nosiči tažnice. Vzájemná poloha tažníku a tažnice je zajištěna dvěma vodícími sloupky.

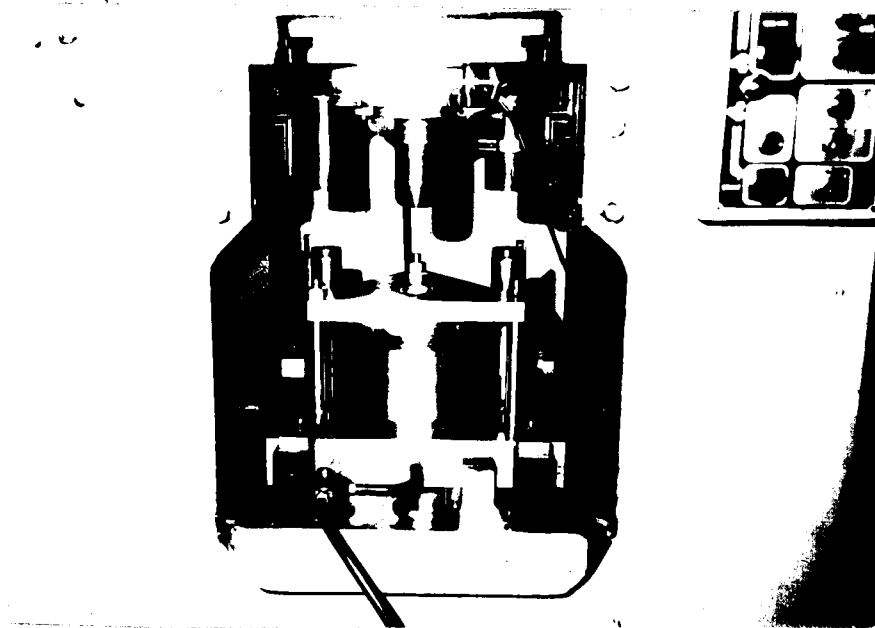
Středění ná střihu je provedeno pomocí tří nastavitelných dorazů. Jejich seřízení se provádí pomocí šablony, středěné na tažnici a jejich poloha se zajišťuje šrouby.

Nástroj byl upevněn na lise LU 160/630. Hlavní data tohoto stroje : (obr. 17)

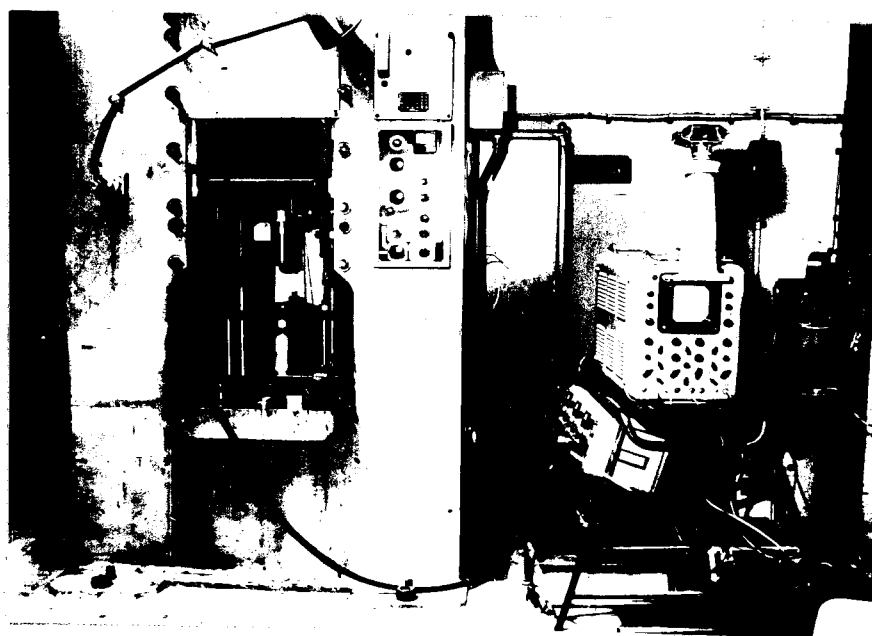
největší tlak	160 Mp
největší vzdálenost mezi stolem a beranem	760 mm
průchod pod vedením	630 mm
zdvih	250 mm

4.1. Podmínky zkoušek.

VŠST Liberec	Diplomové práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	29



obr. 16



obr. 17

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	30

4.1. Podmínky zkoušek.

Pro měření jsme použili dva druhy plechu - Kohal 20 - 11 305.21 ČSN 411305 výrobek VSŽ Košice - což je hlubokotažný plech, vhodný pro vtváření za studena i za tepla a Ms 63 ČSN 423213. Oba tloušťky $t = 0,8$ mm. Plech Kohal 20 jsme táhli při poloměru zaoblení tažníků R 6 při různých součinitelích tažení m . Použili jsme mazadla E 3 (řezný olej). Dále jsme táhli Kohal 20 a Ms 63 při součiniteli tažení $m = 0,57$. Použili jsme však různé poloměry zaoblení hrany tažníku a to bez použití nebo s použitím mazadla E 3. Pro každou podmínku jsme udělali cca tři výtažky.

4.2. Výsledky zkoušek.

K proměřování vnějšího průměru $\emptyset d$ jsme použili měřicího zařízení "Universaal - Längenmesser", výrobce Carl Zeiss Jena. Vnější $\emptyset d$ jsme měřili ve čtyřech osových rovinách skloněných pod úhly 0° , 45° , 90° , 135° ke směru válcování plechu a v různých výškách. Výsledky jsou zpracovány formou grafů - udává závislost velikosti vnějšího průměru $\emptyset d$ na výšce vytaženého kalíšku h . Pro každou podmínku je zpracován jeden výtažek do grafu z proměřených tří.

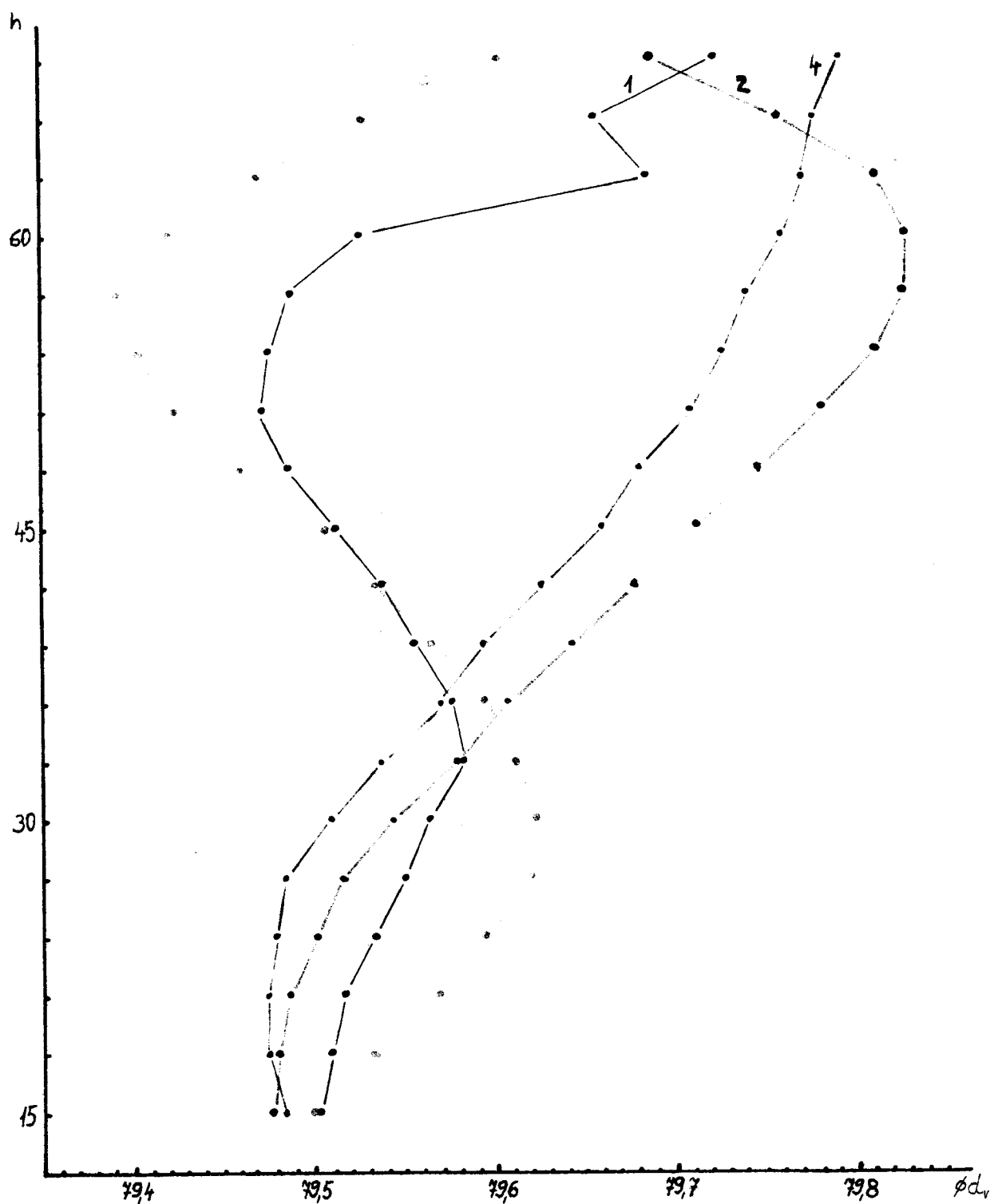
VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	31

graf č.	materiál	m	R	mazání
1	kohal	0,46	6	ano
2	kohal	0,47	6	ano
3	kohal	0,49	6	ano
4	kohal	0,54	6	ano
5	kohal	0,59	6	ano
6	kohal	0,57	6	ano
7	kohal	0,57	6	ne
8	Ms 63	0,57	6	ano
9	Ms 63	0,57	6	ne
10	kohal	0,57	3	ano
11	kohal	0,57	3	ne
12	Ms 63	0,57	3	ano
13	Ms 63	0,57	3	ne
14	kohal	0,57	20	ano
15	kohal	0,57	20	ne
16	Ms 63	0,57	20	ano
17	Ms 63	0,57	20	ne

Graf: č. křivky

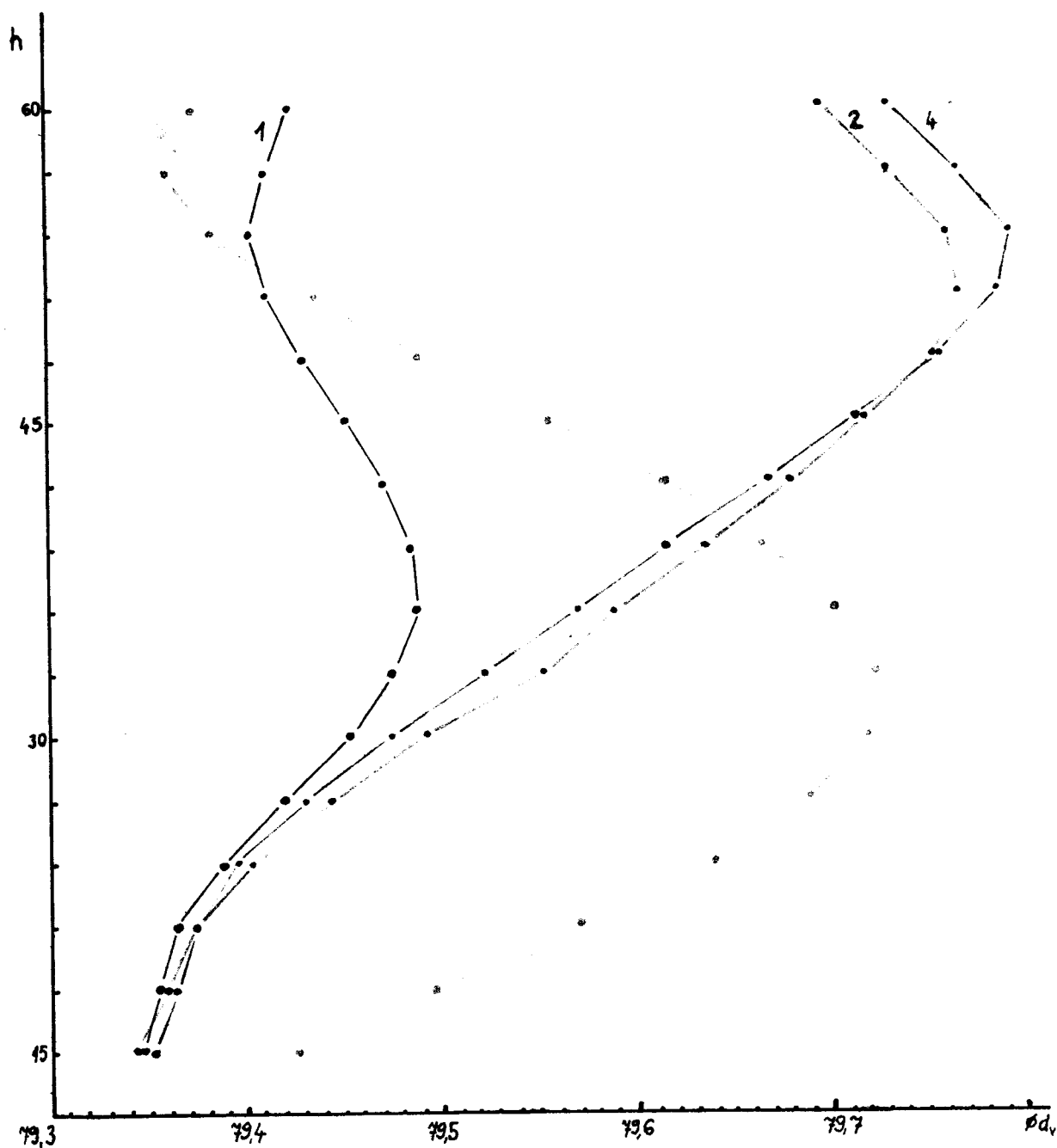
úhel

1	0°
2	45°
3	90°
4	135°



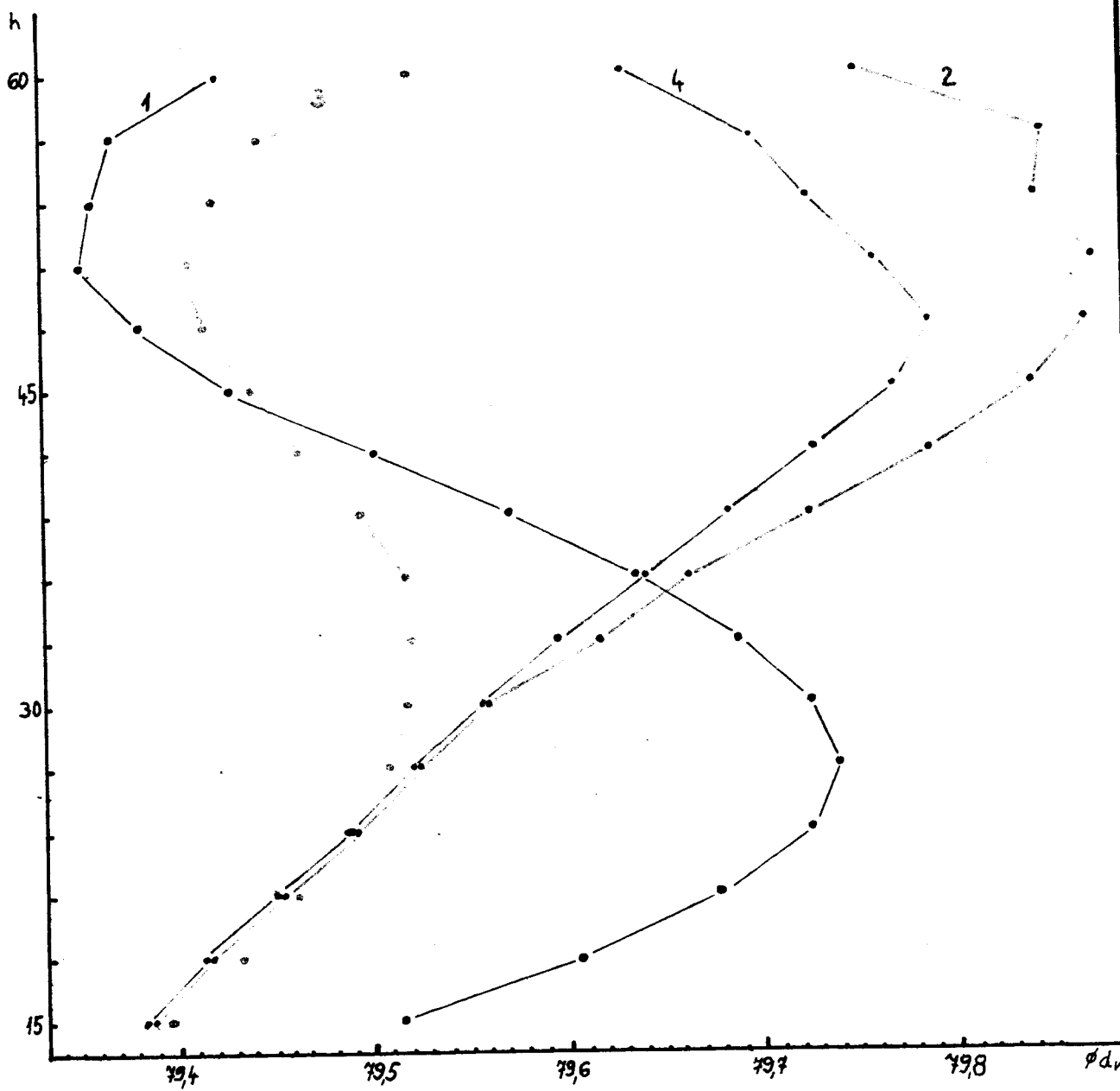
graf č.1

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	33



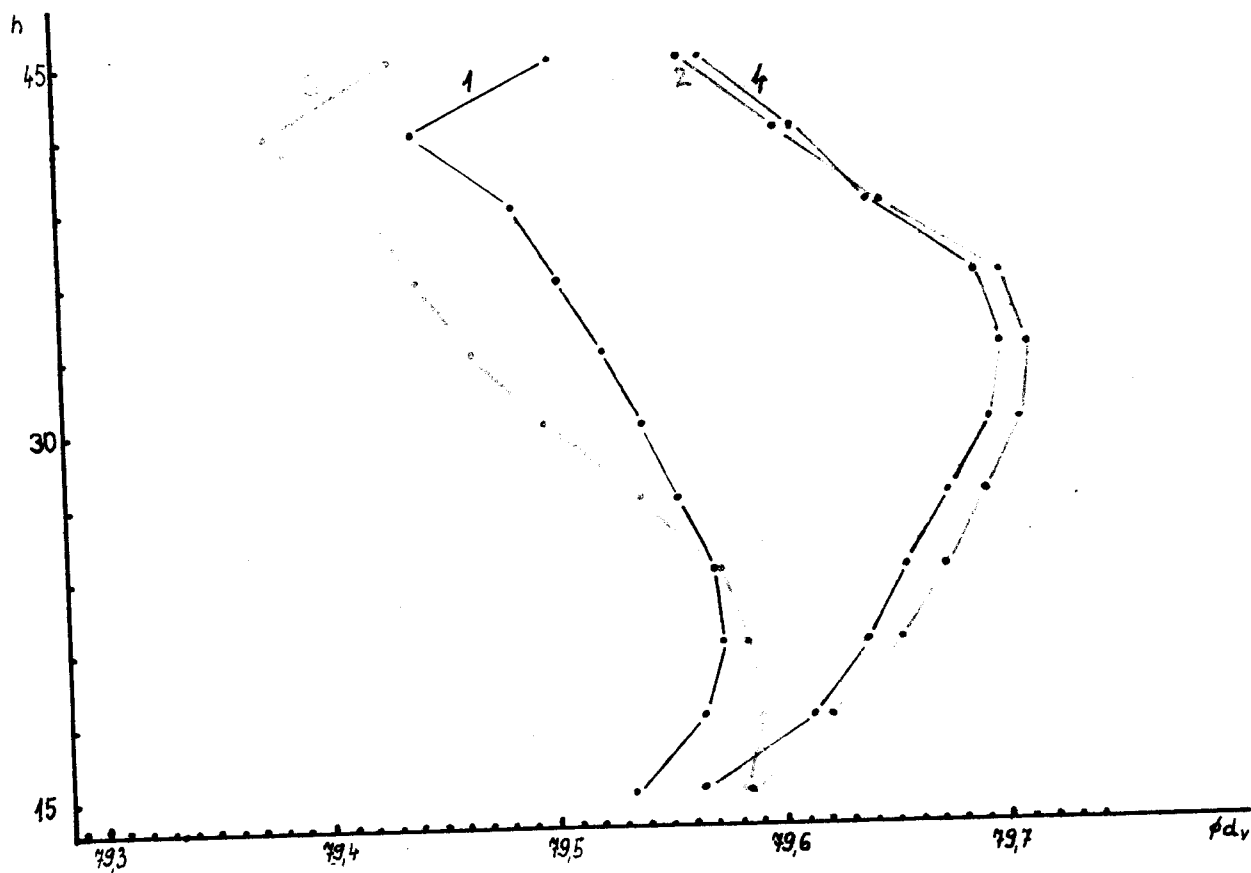
graf č.2

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP -ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	34

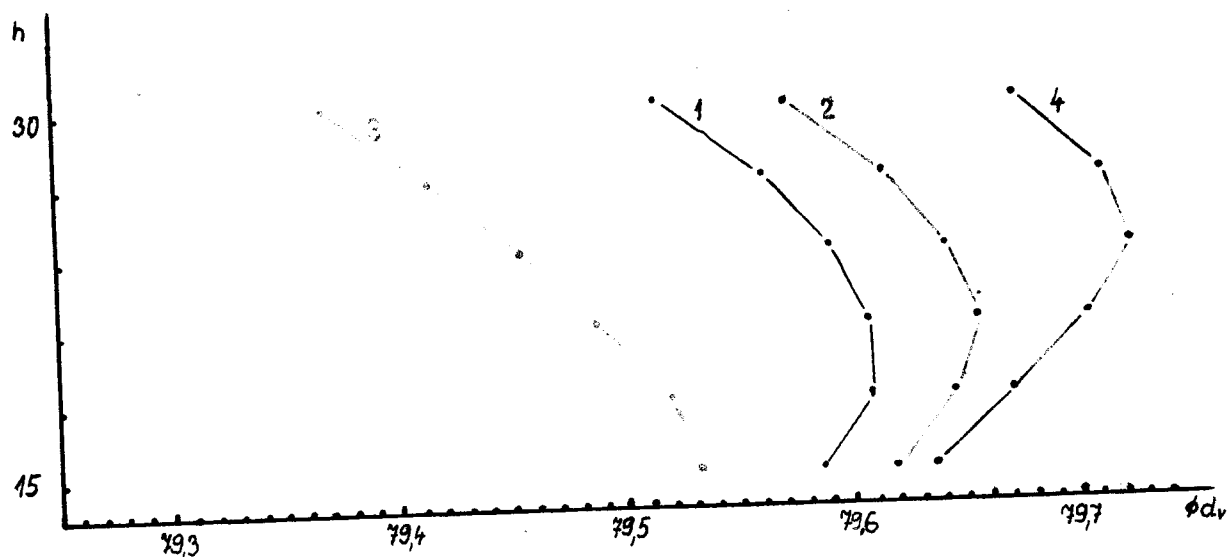


graf č.3

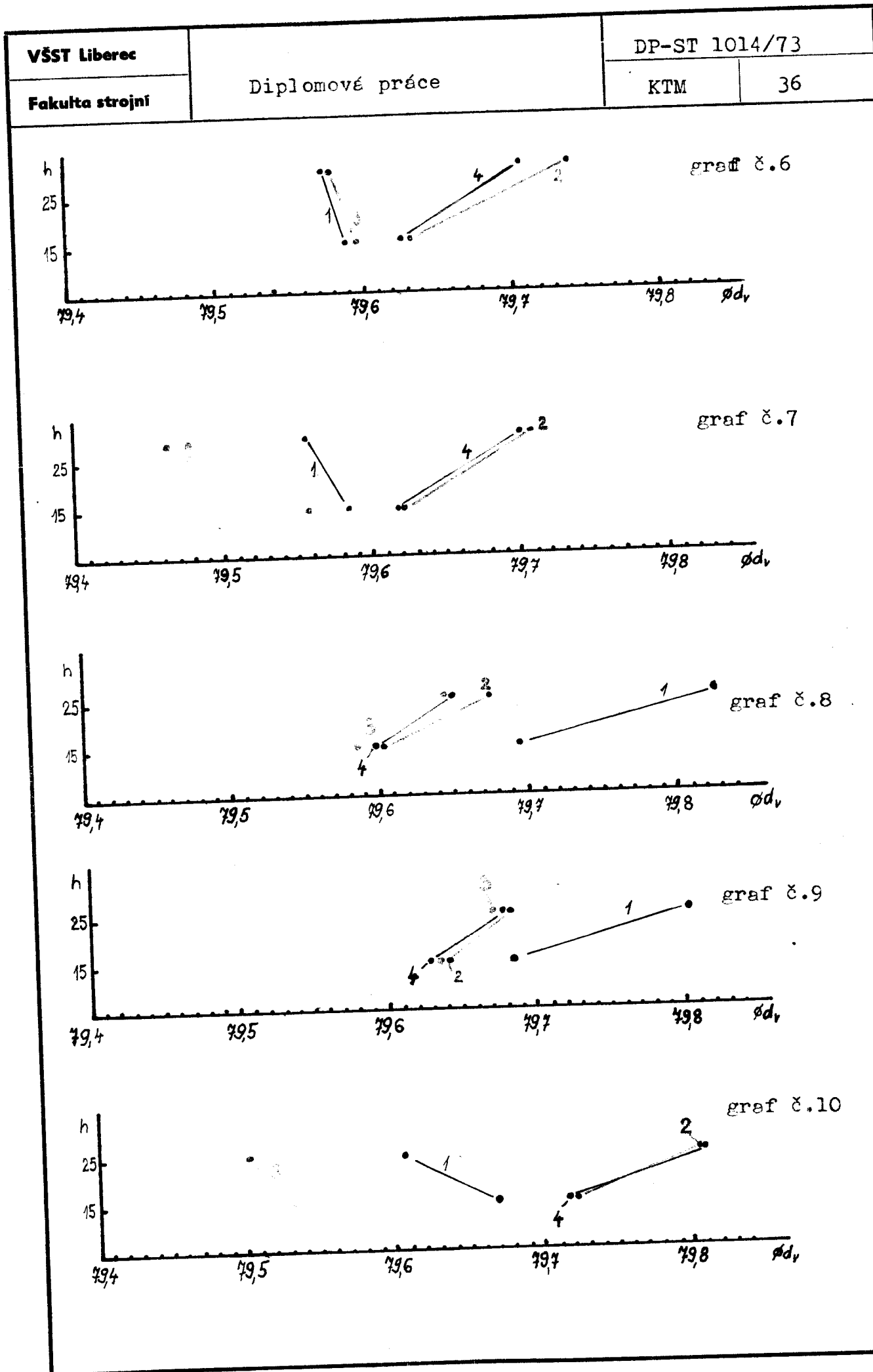
VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	35

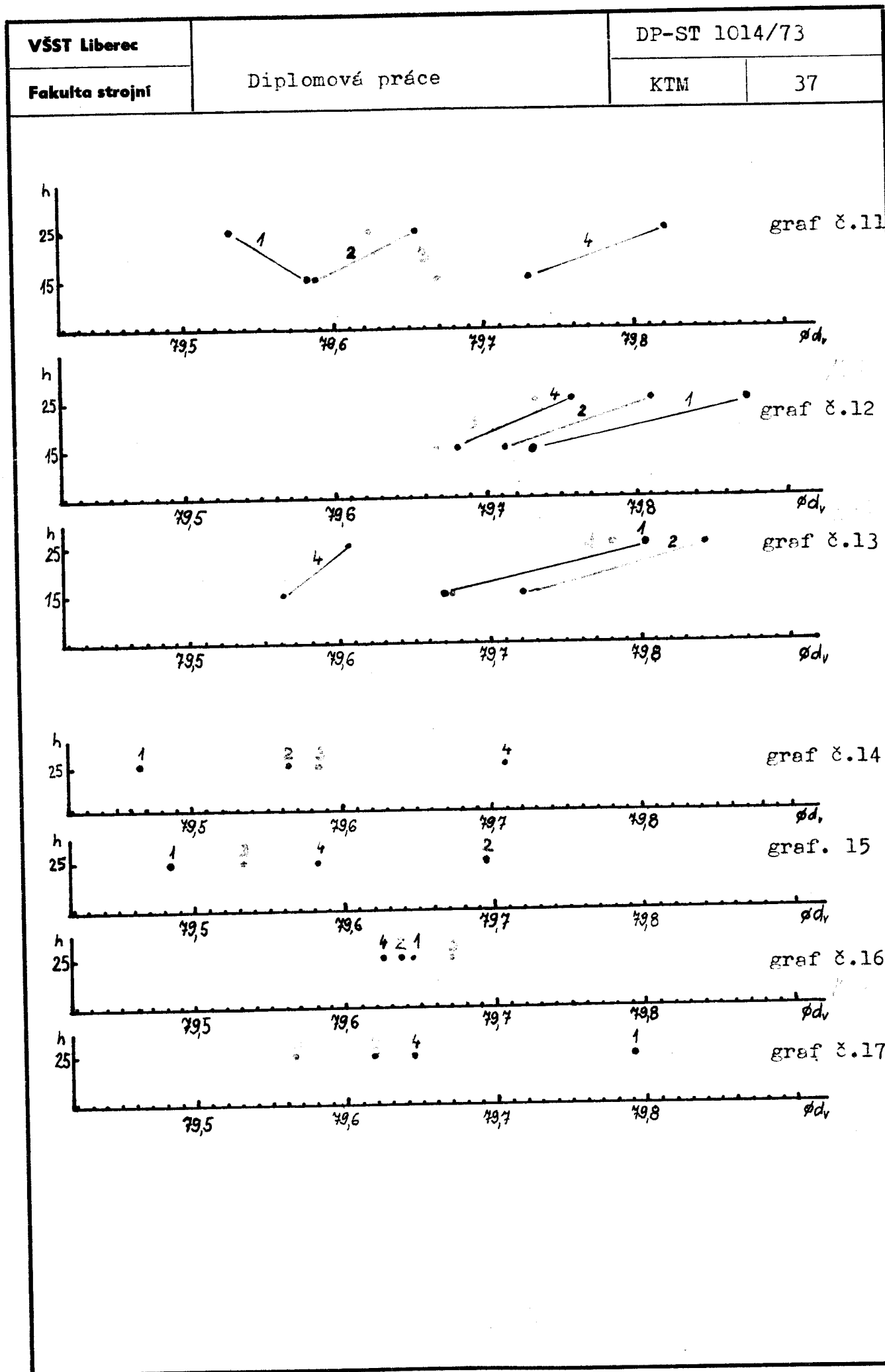


graf č. 4



graf č. 5





VŠST Liberec	Diplomové práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	38

4.3. Hodnocení zkoušek.

I. Měření č. 1 - různé součinitele tažení m.

Tažením jsme zhotovili záněčně nekruhové výtažky. Vnější velikost průměru se liší až o 0,5 mm. Z grafů je vidět, že velikost průměru je nejpříznivější u dna výtažku, zde se liší maximálně o 0,12 mm. Potom se rozdíly hodnot vnějšího průměru zvětšují až do výšky 27 mm od dna kališku a pak se začínají opět zmenšovat. Při výšce 36 až 39 mm se dosahuje druhého minima rozdílu, které činí 0,2 mm. Potom se rozdíly opět zvětšují - graf č. 1, 2, 3.

U grafů č. 4 a č. 5 se toto druhé minimum nedostane, neboť se zde projeví vliv vln na velikost průměru.

Bylo zjištěno, že se zvyšujícím stupněm přetváření se ovalita zvětšila.

Hodnoty velikosti průměru v osových rovinách 0° a 90° na směr válcování mají podobnou funkční závislost. Stejně tak hodnoty v osových rovinách 45° a 135° , kde má materiál přibližně stejné mechanické vlastnosti, mají podobnou funkční závislost.

Rozdíly velikosti průměru v rovinách 0° a 45° na směr válcování plechu jsou vlivem rozdílných mechanických vlastností - anizotropie - až v desetinách mm. Což se projevuje zvláště u menších součinitelů tažení m.

II. Měření č. 2 - stejný součinitel tažení m.

U mosazi je vliv anizotropie menší než u ocelových výtažků. To znamená, že anizotropie nám v takové míře jako u ocele neovlivní hodnoty vnějšího průměru výtažků z mosazi.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	39

Rozdíly hodnot jsou u výtažku z mosazi menší než u výtažku z ocelového plechu.

Závěr:

Při klasickém tažení s přidržovačem s vřlí nebo s nulovou vřlí nelze dosáhnout nekuželových a neoválných výtažků.

Poznámka:

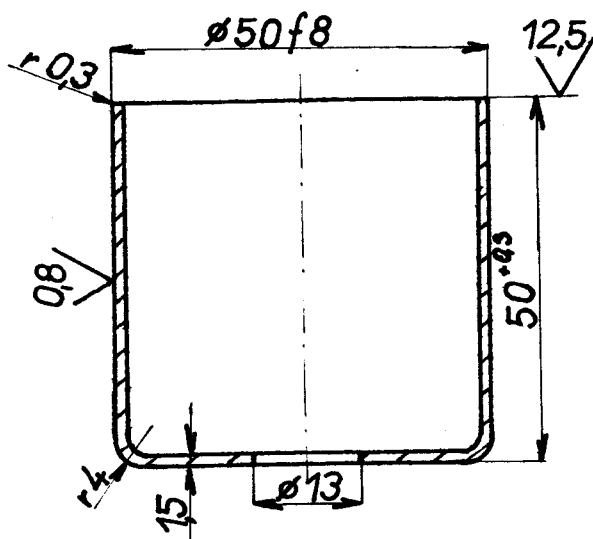
Naměřené hodnoty odpovídají tažení průměrem tažnice menší než změřená velikost průměru tažnice nástroje 80 mm. Tato hodnota byla naměřena těsně pod broušeným zaoblením tažné hrany tažnice. Průměr tažnice ve větší hloubce je v důsledku broušení radiusu pravděpodobně menší, což má za následek to, že výtažky jsou v průměru o 0,4 mm menší než průměr tažnice 80 mm. Při přesné velikosti průměru tažnice 80 mm by měly některé hodnoty průměru výtažku hodnotu 80 mm přesahovat.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	40

5. Postup výroby vodítka v n.p. Autobrzdý Jablonec.

V n.p. Autobrzdý vyrábějí vodítko (obr. 18) z materiálu Ms 70 ČSN 423210.1, které se používá při výrobě automobilů. Vodítko má mít průměr 50 mm, má mít čistý povrch, bez rýh. Postup výroby se skládá se čtyř operací.

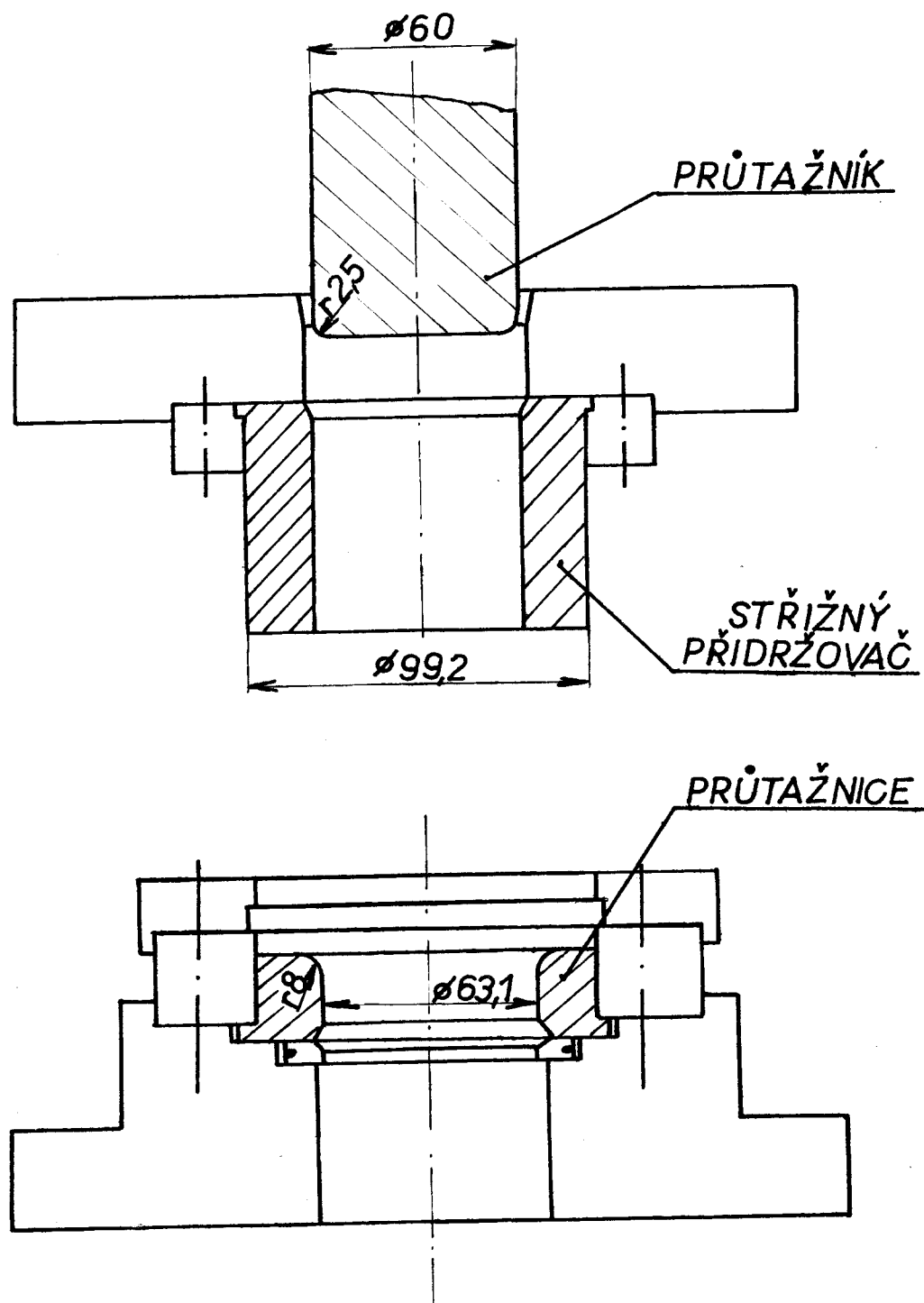
První operací je řezotah. Ten se provádí na nástroji obr. 19. Vzniknou výlisky jejichž rozměry jsou na obr. 20.



obr. 18 vodítka

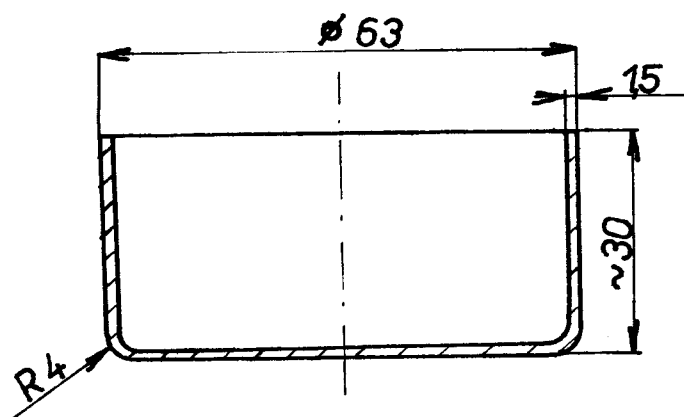
Táhne se součinitelem tažení $m_1 = 0,6$. Druhou operací je druhý tah (obr. 21). Součinitel tažení $m_2 = 0,48$. Třetí operací je tažení se ztenčení stěny, které se provádí proto, aby se dosáhlo požadované přesnosti průměru. Schema nástroje je na obr. 22. Hotový výlisek je na obr. 23. U tohoto tažení se používala matrice vyrobená z materiálu 19436.3. Detail funkční křivky této matrice je na obr. 24. Tato operace měla zaručit požadovanou přesnost výlisku. Avšak ani různými zkušebními úpravami matrice nebylo dosaženo kladného výsledku. Výtažek byl vždy oválný.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	41

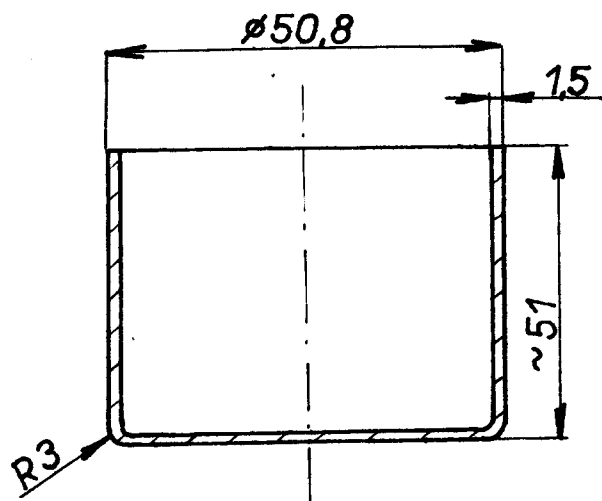


obr. 19 řezotah

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	42

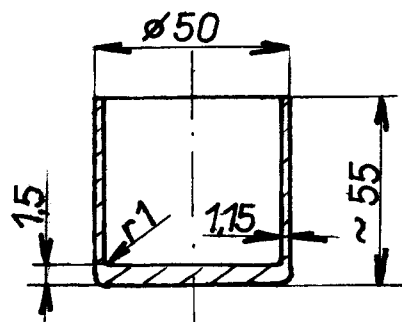


obr. 20 1. tah

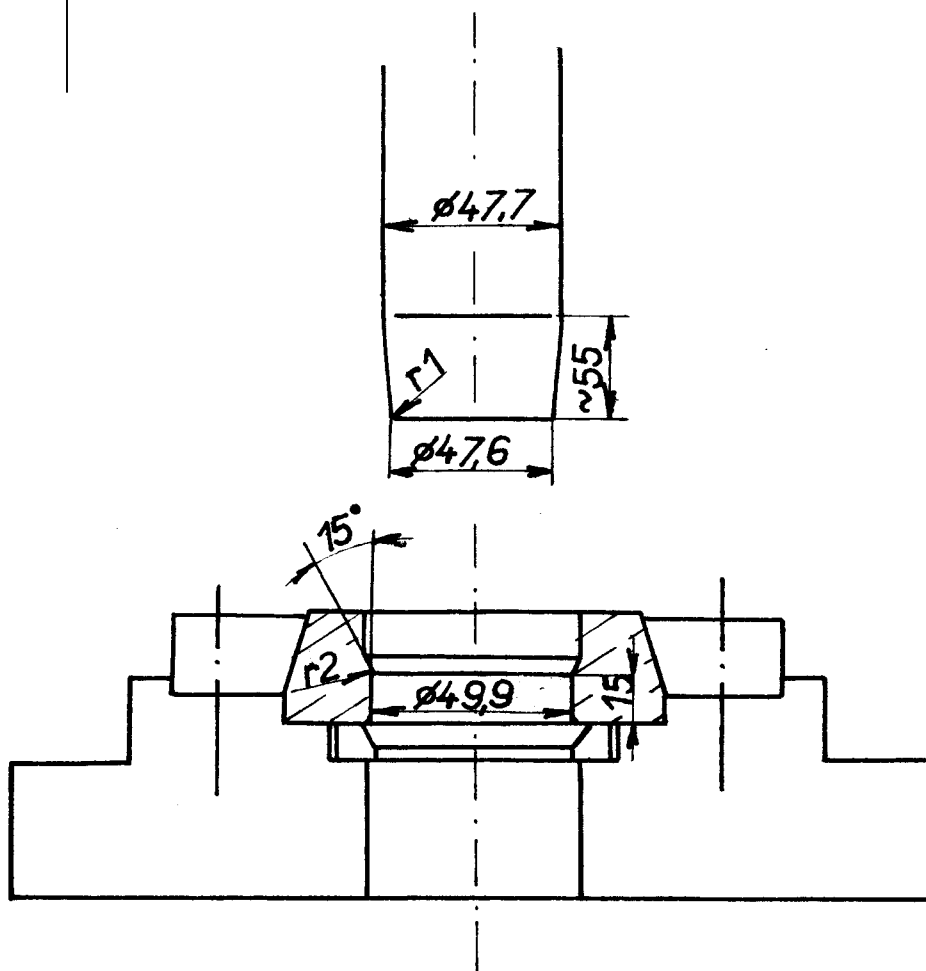


obr. 21 2. tah

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	43

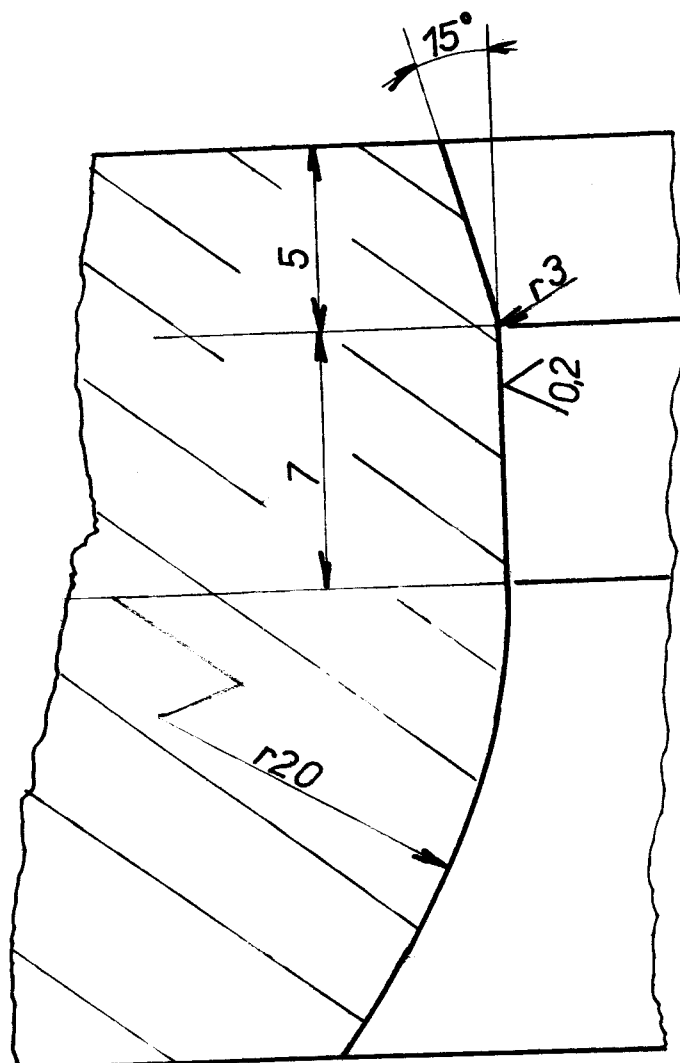


obr. 23



obr. 22

VŠST Liberec	Diplomové práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	44



obr. 24

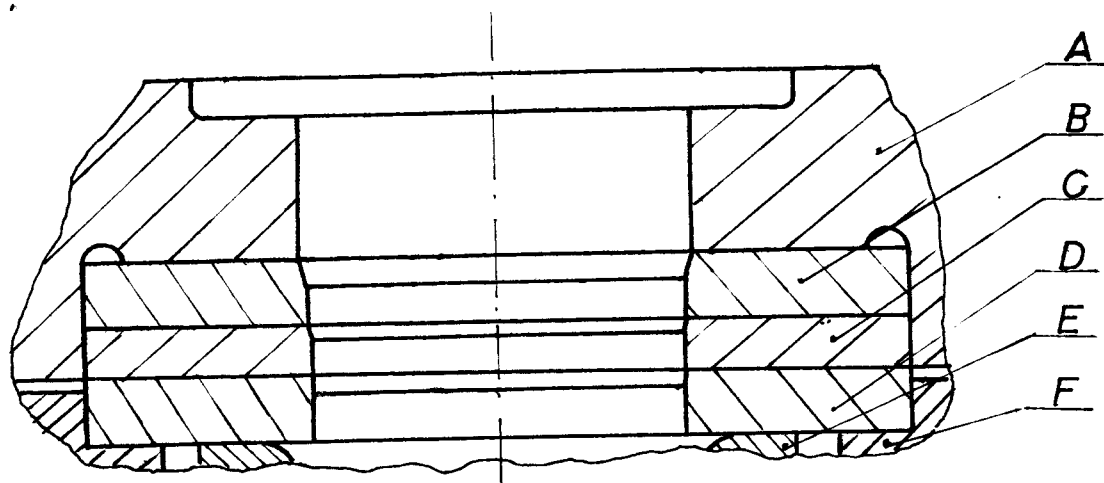
Na nepřesnost výroby mělo podstatný vliv nedodržení tolerance jakosti materiálu, nedodržení tolerance tloušťky materiálu a hlavně to, že materiál je anizotropní. Viz. další grafy.

Proto se zvětšil průměr matrice na 50,2 mm. Výlisek se na požadovaný průměr brousil.

Protože však je tento způsob výroby dosti drahý, byla snaha vypustit alespoň broušení. Bylo zkonstruován nový

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	45

nástroj pro III tah. Použily se tři matrice nad sebou, (obr. 25) [Autobrzdy č.v. 2273 - 87 1 - 7111] uložených na pevno. Ani tímto se však nedosáhlo požadované přesnosti. Podle zjištění BS Vlašim se však dá způsobem použití více matic dosáhnout velké přesnosti tažení. Matrice, kromě první, jsou uloženy v tělese volně o 0,2 mm.



obr. 25

A - těleso, B - první matrice, C - druhá matrice, D - třetí matrice, E - stírací kroužek, F - nosič

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	46

5.1. Měření průměru vodítek.

V dalším je opět vyhodnocena nepřesnost výlisku, což odpovídá účelu této práce.

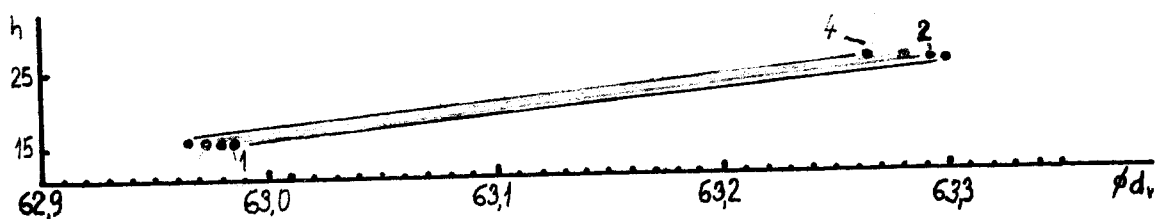
Proměřování vnějšího průměru vodítek, vyrobených v n.p. Autobrzdy, jsem prováděl opět na měřicím zařízení "Universal Längenmesser". Průměr jsem měřil opět ve čtyřech osových rovinách skloněných pod úhly 0° , 45° , 90° , a 135° vzhledem ke směru válcování plechu a v různých výškách. Výsledky jsou zpracovány formou grafů. Byly proměřeny cca tři výlisky a do grafu byl zpracován vždy jeden z výlisků.

graf č.	materiál *	Ø metrice	m	R
18	Ms 70	63,1	0,6	2,5
19	Ms 70	50,7	0,48	1,5
20	Ms 70	50,2	0,98	1,0
21	Ms 70	49,9	0,98	1,0

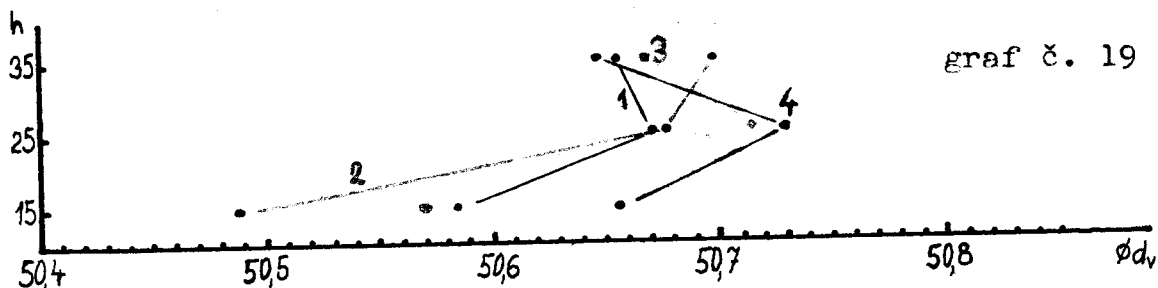
Při zkoušení nástrojů na výrobu vodítek z plechu Ms 70, bylo vyzkoušeno tažení ocele 11300, mazaného řepkovým olejem ředěným benzinem v poměru 2 : 1. Graf č. 22 udává velikost vnějšího průměru tohoto ocelového vodítka po konečné operaci. To je po III. tahu na matici Ø 49,9 mm.

* Při všech tazích se používá mazání, mazadlo je takové, jaké má n.p. právě k dispozici (různé oleje, emulze).

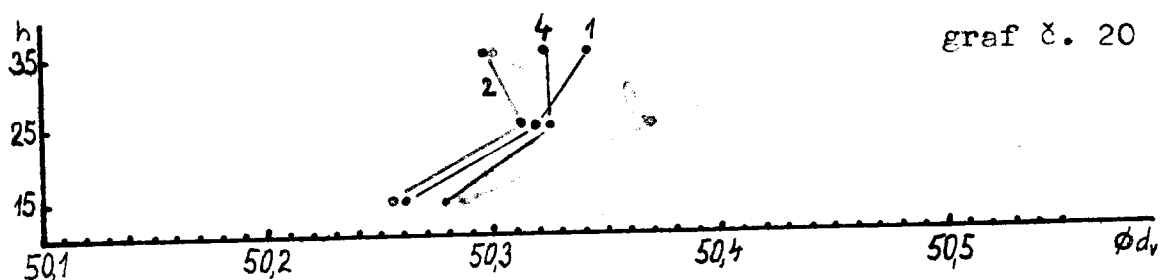
graf č. 18



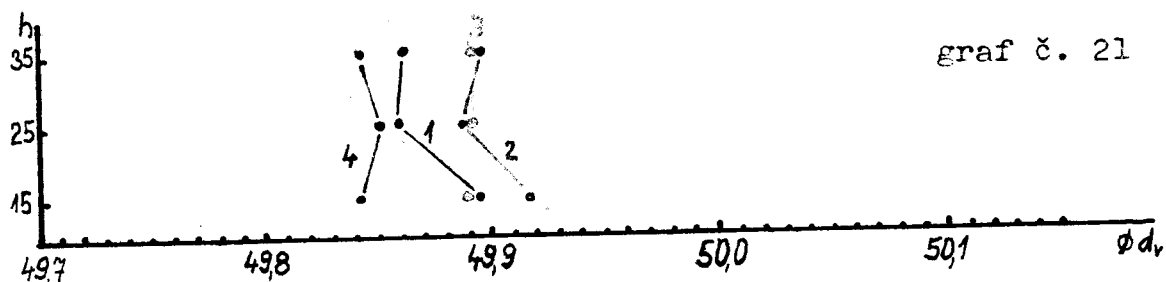
graf č. 19



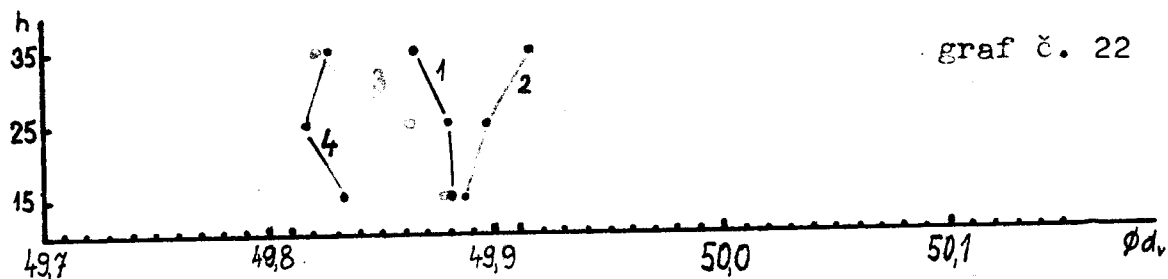
graf č. 20



graf č. 21



graf č. 22



VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	48

5.2. Hodnocení naměřených hodnot průměru vodiček.

Grafy č. 18, 19, 20 nám opět potvrzují, že při klasickém tažení, to znamená při tažení s vůlí neb s nulovou vůlí a s přidržovačem, nelze dosáhnout nekuželových a neoválných výtažky.

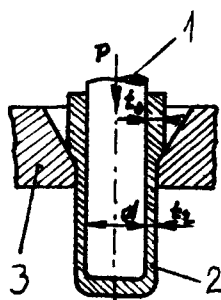
Při tažení se ztenčením stěny-graf č. 21 nejsou již výtažky tak oválné a kuželové, jako při klasickém tažení. Přesto však nevyhovují požadované přesnosti průměru.

Z grafů č. 22 a 21 plyne, že se anizotropie projevuje více u tažení ocelových plechů než mosazných.

VŠST Liberec	Diplomové práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	49

6. Tažení se ztenčením stěny.

K výrobě nábojnic, kde se kladou velké požadavky na přesnost výroby, se používá tažení se ztenčením stěny (obr.26). Toto tažení probíhá takto: tažník 1 vstupuje s vůlí do kalíšku polotovaru 2, protlačuje svým pohybem vpřed po-



obr. 26

1 - tažník, 2 - polotovar, 3 - tažnice

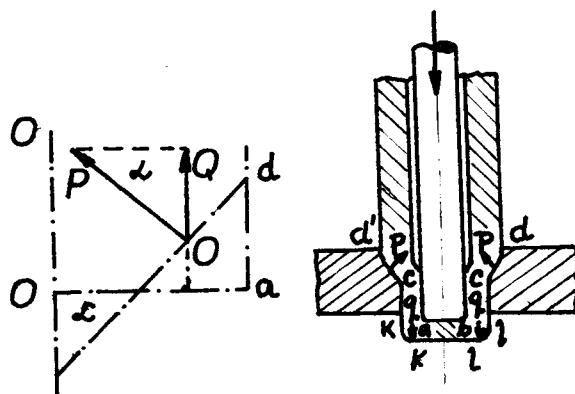
lotovar jednou či více tažnicemi 3, umístěnými na společné ose s tažníkem. Protože průměr pracovní části tažnic je menší než vnější průměr polotovaru, mění se jeho průřez, tj. průměr a tloušťky stěny se zmenšují při současném zvětšování délky. Tímto způsobem protažená součást dosedá těsně na povrch tažníku. K sejmutí součásti tažníku se přímo za tažnice umisťuje odpružený stírač.

Při tažení kalíšku tažnicí (obr. 27) se tlak tažníku Q , jemuž klade odpor dno kalíšku $a - b$, mění v elementární tažné síly q , rovnoměrně rozdělené na průřezy ve směru mezikruží protahovaného kalíšku. To znamená, že $[3] \leq q = Q$. Protože průměr pracovního otvoru tažnic je menší než průměr taženého kalíšku, odtlačují se vnější vrstvy materiálu, které nemohou ihned projít otvorem tažnice, poněkud zpět

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	50

v opačném směru než probíhá tažení. Tyto vnější vrstvy materiálu, které však souvisí s ostatním materiálem kalíšku polotovaru, jsou postupně vtahovány do otvoru tažnice; přitom se zmenšuje vnější průměr kalíšku a tím se zvětšuje jeho délka.

Všechny dosud probírané jevy charakterizují pouze změny radiálních rozměrů kalíšků poltovaru bez závislosti na hor-



obr. 27

ní kuželové části pracovního otvoru tažnice, protože elementární síly q , vtahující kalíšek do tažného kroužku, nemohou kalíšky sami zúžit a zmenšit jeho vnitřní rozměry. Na kuželovém povrchu tažnice $c - d$ vznikají elementární reakce p , $\sum p = P$ [3], které zúžují kalíšek, to znamená, že zmenšují jeho vnější i vnitřní průměr.

Tlak tažníku Q a reakce P kuželového povrchu tažnice způsobují vznik místních ohnisek tlaků u dna kalíšku $a - b$ a ve vnějších vrstvách $c - d$, stýkajících se s pracovním povrchem tažnice. Mimo to pružná reakce materiálu kalíšku, zavedeného do válcové části tažnice, způsobuje rovněž vznik místních ohnisek tlaků v úsecích $c - l$. Zároveň část vnitř-

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	51

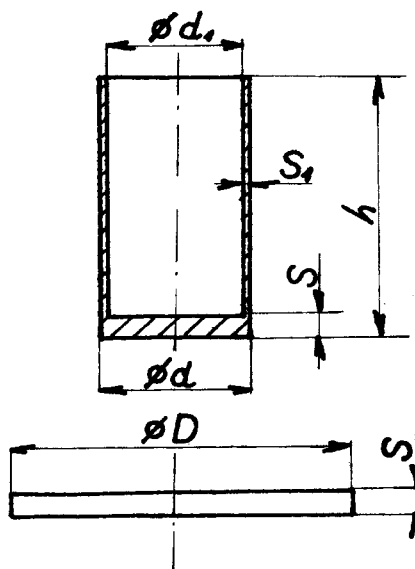
ních vrstev kalíšku polotovaru, které se při tažení nachází pod kuželovým povrchem tažnice, je podrobena velkému namáhání tlakem, který někdy při tažení polotovar roztrhne v průřezu k - l. Je třeba též přihlížet k namáhání stříhem během tažení v místech přechodu K - a a b - l ztlačovaného dna k roztahovaným vrstvám materiálu. Toto namáhání stříhem dosahuje někdy takové velikosti, že se dno kalíšku při tažení vytlačuje.

Tedy při tažení se ztenčením stěny jsou jednotlivé vrstvy kalíšku v jeho různých částech podrobeny namáhání tlakem, tahem a stříhem.

V praxi se zpravidla táhne dvěma či třemi tažnicemi [3], čímž se různá namáhání materiálu střídavě mění, je největším nebezpečím pro roztržení kalíšku namáhání, měnící se od minus maxima do plus maxima a opačně. Pevnost kovu se pak blíží mezi pružnosti. Proto přípustné namáhání lze v tomto případě volit pouze 0,5 přípustného namáhání při statickém zatížení. Zbylá vnitřní pnutí vtažené součásti se mohou projevit při dalším zpracování nebo dokonce při uskladnění.

Při tažení se ztenčením stěny je možno provádět zeslabení stěny jen do určité tloušťky, jak nám udává tabulka č. 4 [8]. Její hodnoty platí pro mosaz, hliník a hlubokotažnou ocel.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	52



výchozí tl.mat. s	dosežit.zeslabení stěny po jednom tahu									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,37	0,26	0,18	0,13						
1	0,75	0,52	0,36	0,25	0,17					
1,5	1,12	0,78	0,55	0,38	0,27	0,19				
2	1,5	1,05	0,74	0,52	0,36	0,25	0,17			
2,5	1,87	1,31	0,92	0,64	0,45	0,31	0,22	0,14		
3	2,25	1,58	1,11	0,78	0,55	0,36	0,26	0,18	0,13	
3,5	2,62	1,83	1,28	0,9	0,63	0,44	0,31	0,22	0,15	0,11
4	3	2,1	1,5	1,05	0,74	0,52	0,36	0,25	0,17	0,12
4,5	3,37	2,36	1,65	1,16	0,78	0,55	0,38	0,27	0,19	0,13
5	3,75	2,62	1,83	1,31	0,92	0,64	0,45	0,31	0,22	0,14

tab. č. 4

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	53

6.1. Síla při tažení se ztenčením stěny.

Síla tažení závisí na mnoha činitelích, jejichž velikost vlivu je různá. Nejdůležitější z nich jsou [3] :

- a) změna rozměru průřezu tažené součásti,
- b) mechanické charakteristiky materiálu tažené součásti,
- c) stav povrchu polotovaru, nástroje a jakost maziva,
- d) profil tažnice.

Podle výzkumu a praxe vyrábějících součástí tažení se ztenčením (ale i bez ztenčení) stěny bylo zjištěno [3] ,že

- a) síla tažení při všech ostatních stejných podmínkách tažení je tím větší, čím je menší je poměr průměru součásti k průměru polotovaru, v praxi to je hodnota m . Velikost síly tažení je tím větší, čím větší jsou ztenčení,
- b) síla tažení je tím větší, čím větší je pevnost v tahu tažené součásti,
- c) zvětšené tření zvětšuje sílu tažení,
- d) síla tažení závisí na profilu tažnice ; v tažnicích se sférickým profilem je o 15 až 30 procent větší než v tažnicích kuželových.

K výpočtu síly při tažení se ztenčením stěn a změnou průměru jedinou tažnicí se používá vzorec [3] :

$$P = \alpha_s (F_{n-T} - F'_n) (1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) + \alpha_s (D_{n-T} - d_n) t_n (1 + \mu \operatorname{tg} \alpha) \quad (6.11)$$

a pro tažení dvěma tažnicemi :

$$P = \alpha_s (F_{n-T} - F'_n) (1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) + \alpha_s (D_{n-T} - d_n) t_n (1 + \mu \operatorname{tg} \alpha) + (F'_n - F_n) (1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) \quad (6.12)$$

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	54

kde platí :

P - síla tažení	kg
σ_s - pevnost v tahu s přihlédnutím k zpevnění	kg/mm ²
F_{n-1} - plocha průřezu polotovaru	mm ²
F'_n - plocha průřezu polotovaru po tažení horní tažnicí	mm ²
μ - součinitel tření - je mezi 0,15 až 0,25	
α - pracovní úhel tažnice	deg
D_{n-1} - průměr polotovaru, z kterého se táhne	mm
d_n - průměr součásti po tažení	mm
t_n - tloušťka stěn po tažení	mm
F_n - plocha průřezu součástí po tažení dolní tažnicí	mm ²

Pro značné zúžení zůstává výtažek zpravidla na tažníku. Síla ke stahování výtažku z tažníku lze volit podle síly tažení [3] :

$$P_a = (0,01 - 0,03)P \quad (6.13)$$

Jak je již uvedeno, závisí velikost síly ve značné míře na mazivu. Např. jako maziva pro tažení ocele se používá fosfát.

6.2. Nástroje k tažení se ztenčením stěny.

Nástroj k tažení se skládá :

- a) z tažníku,
- b) tažnic, jejichž počet závisí na pracovních podmínkách (od jedné do tří),
- c) z ústrojí k snímání výtažku z tažníku po tažení.

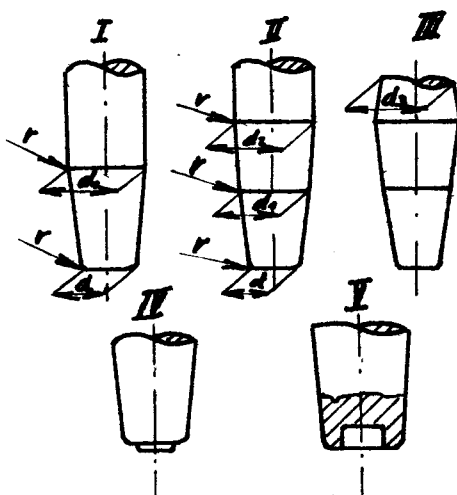
VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	55

d) z přípravků k upínání tažníku, tažnic a stíračů.

6.21. Tažníky.

Tažník ve tvaru trnu se skládá ze tří částí - z pracovní, z krčku a z upínací hlavice.

Pracovní část se dělá podle účelu velmi rozmanitě. Nej-



obr. 28 pracovní části tažníku

obvyklejší typy pracovní části tažníku jsou na obr. 28. [3]

Typ I. Tažník má kuželový tvar, používá se u prvních tahů.

Typ II. Liší se od typu I. pouze tím, že má dva kužele místo jednoho. Používá se u posledních tahů.

Typ III. Je podobný typu II., má však obrácený kužel, který pomáhá lépe snímat vytažený výlisek z tažníku. Při tenkých stěnách omezuje zmetky způsobené podélnými trhlinami.

Typ IV. Tažník s osazením. Používá se při prvních tažných operacích. Čelo zamezuje tečení materiálu do stěn polotovaru.

Typ V. Může být tvarem bočního povrchu jako typ I., II., III.,

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	56

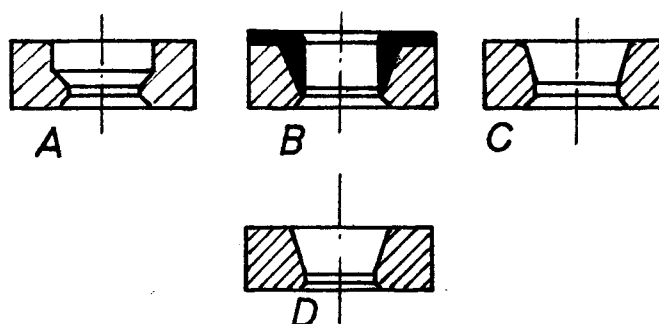
od kterých se liší jen tvarem čela. Má na čele vybrání.

- Tažníky se upínají :
- a) do kleštín - nejvíce,
 - b) šroubem,
 - c) kuličkou.

Tažníky mají tvrdost po tepelném zpracování :

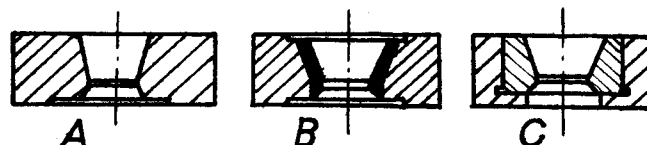
- a) v pracovní části $R_c = 59 - 61$,
- b) v upínací části $R_c = 35 - 45$,

Pro delší životnost se pracovní části chřmují.



obr. 29 tažnice
A - tažnice s vedením, B - tažnice s kroužkem, C - tažnice se sférickou pracovní částí, D - tažnice s kuželovou pracovní částí.

6.22. Tažnice.



obr. 30 typy tažnic
A - celistvá tažnice, B - nastavovaná tažnice, C - tažnice s vložkou ze slinutého karbidu.

Typy tažnic jsou na obr. 29 [3]. Pracovní část tažnic prvního typu (obr. 29A) se skládá z válcové vodící části,

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	57

kužele, z válcové plošky a z fazetky. Používá se jich jako horních pro první tažení. Někdy se válcová vodící část nahrazuje vloženým kroužkem (obr. 29B). Třetí a čtvrtý typ se od sebe liší tvarem zúženým. U tažnice obr. 29D je zúžení kuželovité, u tažnice na obr. 29C je zúžení sférické.

Podle charakteru materiálu se zhotovují tažnice (obr.30):

- a) celistvé - obr. 30A,
- b) s pracovní částí natavenou tvrdou slitinou -
- obr. 30B,
- c) s vložkou ze slinutého karbidu - obr. 30C.

Navaření tvrdých slitin a použití slinutých karbidů zvyšuje tvrdost nástroje, a to až 20krát.

Tažnice se zpravidla dělají dvě, někde tři. Toto použití tažnic umožňuje:

- A) zlepšit jakost výtažků, pokud jde o úkos a různostěnnost,
- B) zmenšit množství zmetků, vzniklých protržením a trhlinami,
- C) prodloužit životnost nástrojů,
- D) zmenšit počet tažných operací.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	58

6.3. Přesnost a jakost součástí při tažení se ztenčením stěny.

Při tažení se ztenčením stěny se dosáhne válcového tvaru kalíšku. Přesnost na průměr dosahuje požadované tolerance [4] .

Při porušení předpisů pro tažení, obsluhu zařízení a opotřebování pracovních nástrojů vznikají zmetky.

Druhy zmetků:

Příčiny:

I. Různostřnnost, úkos,
hrbatost

1. Nesouosost tažníků a tažnice
2. Klouzání čela tažníků po dnu kalíšku při šikmé poloze kalíšku v tažnici nebo pro velkou radiální sílu
3. Šikmý opěrný povrch tažnice nebo nerovnost rovinných ploch některé tažnice

II. Jednostranně vytažené
a beztvaré výtažky

1. Narušená práce podavače, nedorážení k dorazu, vzpříčení polotovaru
2. Schází horní omezovač zamezující nadzvedání polotovaru
3. Poloha polotovaru dnem vzhůru

III. Rýhy na vnějším
povrchu

1. Ulpívání materiálu na pracovní ploše tažnice pro špatné tepelné zpracování, hrubé obrobení povrchu tažnice, špatné chromování
2. Stírač nemá skosené hrany nebo je vzpříčen
3. Znečištěné mazadlo
4. Znečištěný polotovar

IV. Rýhy na vnitřním
povrchu

Porušený chromový povlak na tažníku

V. Trhliny v horní části

1. Těsná tažnice a plný tažník

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	59
polotovaru při tažení 2. Nesprávná délka pracovního kužele tažníku, široká válcová ploška na tažnici nebo malý úhel kužele horní tažnice 3. Nezaoblené přechody pracovních kuželů u tažníku 4. Přehřev nebo nedostatečné žíhání polotovaru 5. Nesprávný tvar kalíšku 6. Nesprávná délka výtažku pro nesprávné rozměry tažníku na předchozích operacích VI. Výtažek se šikmým dnem 1. Těsná horní tažnice a opotřebená dolní tažnice 2. Ulomený konec tažníku 3. Šikmá válcová ploška v tažnici 4. Nescouosost pracovního kužele a válce v tažnici 5. Nekolmost stolu lisu nebo základní desky podavače k ose tažníku 6. Táhl se šikmý a různostěnný kalíšek VII. Otlačky na dnu výtažku Nesprávně nastavená tažnice ve vložce, takže výtažek při výstupu naráží na hranu otvoru ve vložce nebo stolu lisu VIII. Krátký nebo dlouhý výtažek velkého nebo malého průměru 1. Opotřebení tažníku nebo tažnice na průměru kalibrovací části, přepálení polotovaru při žíhání nebo strmý kužel tažnice 2. Těsná kalibrovací část tažnice a tažník plného průměru špatně vyžíhaný polotovar 3. Nesprávně poloměry zaoblení na tažníku, široké protahovací pole			

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP/ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	60

IX. Nesprávné rozměry výtažku (dna)	1. Táhlo se z kalíšku zhotove- ných opotřebovaným nástrojem, čímž vzniká malá vůle mezi tažníkem a polotovarem a uza- vírání se vzduch (tažník nedo- sedá na dno) 2. Nesprávný výpočet nástrojů pro jednoslivé stupně tažení, nesprávné poloměry na tažni- cích
X. Trhliny na posledním výtažku	Nedostatečné žíhání poloto- varu.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	61

7. Ekonomické zhodnocení

Za 100 kusů v n.p. Autobrzdy platí dělníkům, pracujícím	
na I. tahu	1,84 Kčs,
na II. tahu	1,74 Kčs,
na III. tahu	1,75 Kčs,
při broušení	6,56 Kčs,
celkový součet	11,89 Kčs.

To znamená, že za 100 000 hotových vodítek zaplatí n.p. dělníkům 11.890 Kčs.

Jestliže by se již výlisek nemusel brousit, činily by náklady na mzdy jen 5.330 Kčs na 100 000 ks.

Na platech dělníků by se tedy ušetřilo 6 560 Kčs. To znamená, že náklady na platy dělníků by byly o 55 % nižší, než při stávající výrobě.

Celkové náklady na výrobu by byly ještě nižší, neboť neuvažujeme úsporu nákladů na elektrickou energii, brous-
né prostředky, atd.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	62

8. Závěr

Výtažky, které jsem proměřoval vykazují vždy určitou ovalitu a kuželovitost. Výlisky požadované přesnosti na ovalitu a kuželovitost se dají tažením vyrobit :

1. jak již bylo naznačeno, tažením s ztenčením stěny.

Tak se vyrábějí nábojnice, na které jsou kladeny velké požadavky na přesnost průměru. Výroba nábojnic se provádí několika tahy (první jsou bez ztenčení stěny a další se ztenčením stěny) s mezioperačním žíháním. Bližší podrobnosti mi však nejsou známy, neboť literatura k tomuto tématu není dostupná. Jedná se o tkz. "speciální výrobu".

2. Použitím izotropního plechu. Neboť anizotropie má největší vliv na přesnost při tažení. Izotropní plech však u nás není běžně dostupný.

Na závěr bych chtěl poděkovat řemeslníkům s. Kodejškovi, s. Janů za pomoc při výrobě vzorků. Děkuji i vedoucímu této diplomové práce ing. Tmějovi Csc za pomoc a pečlivé vedení při této diplomové práci. Dále děkuji s. Středovi z n.p. Autobrzdy za poskytnuté informace.

VŠST Liberec	Diplomová práce	DP-ST 1014/73	
Fakulta strojní		KTM	63

9. Seznam použité literatury.

- [1] Romanovskij V.P.
Příručka pro lisování za studena. Praha 1959.
- [2] Geleji A.
Výpočet sil a spotřeby energie při tváření kovů.
Praha 1955.
- [3] Malov A.N.
Proizvodstvo patronov strelkovogo oružija.
Moskva 1947.
- [4] Některé otázky anizotropie hlubokotažného plechu.
Strojírenství 1960, 48. 11. Ing. Valijev S.A.
- [5] Eisenkolb F.
Das Tiefziehblech. Leipzig 1951.
- [6] Dědek Vl.
Hlubokotažné ocelové pásy. Praha 1967.
- [7] Genauigkeit abgestreckter und drückgewalzter Nöpfe.
HSF 70/56. Dr.-Ing. Krämer W.
- [8] Hilbert H.
Stanzereitechnik II.D.