

# VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Školní rok: 1990/91

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Jaroslava V o n d r á k a  
obor 2307 - 8 strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Měření tvářecích sil při stříhání,  
protahování a ražení

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou technologie stříhání, protahování a ražení, metodami měření tvářecích sil a vlivem tvářecí rychlosti na tvářecí síly
2. Navrhněte měřicí zařízení a na vybraných materiálech proveďte experimentální zkoušku vlivu rychlosti nástroje na tvářecí sílu. Proveďte měření tvářecích sil na zkušební nástroji KPT.
3. Zhodnoťte dosažené výsledky s ohledem na jejich použitelnost v praxi

V 52/91 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Štefánovská 13  
LIBEREC 1, STŘEDNÍ PRÁČE  
PSČ 460 01

KPT/TP

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího DP

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

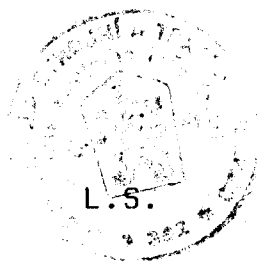
1. Kolektiv: Lisování, SNTL, Praha, 1973
2. STOROČEV, R.V.: POPOV, J.A.: Teoria tvárenia kovov, Alfa Bratislava, SNTL Praha, 1978

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miloslav Šafařík

Konzultant:

Zadání diplomové práce: 1.10.1990

Termín odevzdání diplomové práce: 3. 5. 1991



*Viktor Mikeš*  
Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.

Vedoucí katedry

*Zdeněk Kovář*  
Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.

Děkan

V Liberci

dne 1.10. 1990

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

MĚŘENÍ TVÁŘECÍCH SIL PŘI STŘÍHÁNÍ, PŘETAHOVÁNÍ  
A RAŽENÍ

Jaroslav V o n d r á k

KPT - 477

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miloslav Šafařík - KPT VŠST  
Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 56  
Počet příloh  
a tabulek : 10  
Počet obrázků : 37  
Počet výkresů : 2  
Počet modelů : 0  
nebo jiných  
příloh

Datum: 26. dubna 1991

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Turnově dne 26.4.1991

.....  
Jaroslav Běndrák

## Obsah:

1. Úvod
2. Teorie stříhání
  - 2.1. Definice a průběh stříhání
  - 2.2. Základní operace stříhání
  - 2.3. Mechanika střížného procesu
3. Vliv faktorů ovlivňujících střížný proces
  - 3.1. Střížný odpor
  - 3.2. Střížná vůle
  - 3.3. Úprava střížných hran
  - 3.4. Faktory ovlivňující opotřebení střížných hran
  - 3.5. Kvalita povrchu střížných ploch
4. Stanovení sil a práce při stříhání
  - 4.1. Síly při stříhání
  - 4.2. Střížná práce
5. Měření střížné síly
  - 5.1. Způsoby měření sil
  - 5.2. Způsoby vyhodnocování změn parametrů pasivních snímačů
6. Princip a mechanika protahování a ražení.
7. Experimentální část
  - 7.1. Experimentální stanovení meze pevnosti v tahu, střížného odporu u vybraných materiálů
  - 7.2. Návrh měřicích zařízení pro zjišťování vlivu rychlosti tváření na střížnou sílu
  - 7.3. Zkušební měření vlivu rychlosti nástroje na velikost střížné síly na modelovém nástroji

- 7.4. Výpočet rychlosti beranu lisu LEN 40 v okamžiku stříhu
- 7.5. Výsledky z této problematiky získané z experimentálních měření na VŠT v Košicích
- 8. Závěr
- 9. Použitá literatura

Seznam příloh:

- 1. Výkres střižného nástroje
- 2. Detaily střižného nástroje

## 1. Úvod

Rozvoj strojírenské výroby klade neustále rostoucí nároky na funkčnost, kvalitu a životnost nově navrhovaných strojů a nástrojů při dodržení hospodárnosti jejich výroby. Tyto skutečnosti vedou v předvýrobních etapách k hledání nových spojitostí mezi technologickými parametry výrobního stroje a nástroje s výše uvedenými hledisky.

Problematika vystřihování tenkých plechů, která je náplní mé diplomové práce, se stává čím dál tím vážnější úměrně s rostoucí tendencí zvyšování spotřeby plechu a se zvyšujícím se podílem plechu jako výchozího materiálu pro velký počet výrobků.

Cílem mé diplomové práce je seznámit se s problematikou technologií stříhání, protahování a ražení, navrhnutí měřicího zařízení pro měření závislosti střižná síla - rychlost nástroje a provést experimentální měření. Je pravděpodobné, že změna rychlosti střižného nástroje má vliv na střižnou sílu a s rostoucí střižnou silou kromě jiného roste spotřeba nástrojů, což má dopad na hospodárnost výroby.

Těžiště mé diplomové práce spatřuji v navrhnutí měřicího zařízení pro podmínky VŠST Liberec pro výše uvedené měření a provedení experimentálních měření a tím objasnit uvedenou domněnku. Výsledky práce by měly napomoci stanovení vhodné volbě parametrů u střižných nástrojů a strojů a tím jejich maximálnímu využití.

## Seznam použitých zkratek a symbolů

- $R_m$  - mez pevnosti v tahu /MPa/  
 $F_s$  - střižná síla /N/  
 $s$  - tloušťka stříhaného materiálu /mm/  
 $A_s$  - střižná práce /J/  
 $k_s$  - střižný odpor /MPa/  
 $l_s$  - délka stříhu /mm/  
 $S_s$  - plocha stříhu /mm<sup>2</sup>/  
 $F_{pr}$  - protlačovací síla /N/  
 $F_T$  - stírací síla /N/  
 $c_1$  - součinitel stírání /%/  
 $c_2$  - součinitel protlačení /%/  
 $K_A$  - součinitel zaplnění  
 $m_s$  - střižné mezera /mm/  
 $v$  - střižná vůle /mm/  
 $v_r$  - relativní střižná vůle /%/  
 $r$  - poloměr otupení břitů /mm/  
 $K$  - součinitel otupení břitů  
 $\sigma$  - napětí /MPa/  
 $\epsilon$  - deformace  
 $R$  - elektrický odpor vodiče / $\Omega$ /  
 $\rho$  - měrný odpor vodiče / $\Omega$  mm/  
 $L$  - délka vodiče /mm/  
 $S$  - průřez vodiče /mm<sup>2</sup>/  
 $\mu$  - Poissonův činitel



## 2. Teorie stříhání

### 2.1. Definice a průběh stříhání

Stříhání je současné nebo postupné oddělování části materiálu v nástroji, kde síly vytvářející nutné smykové napětí působí ve dvou blízkých rovinách. Materiál se pohybuje podél křivky dané tvarem střižníku a střižnice. Takto je definováno stříhání podle normy ČSN 22 6015.

#### Průběh stříhání

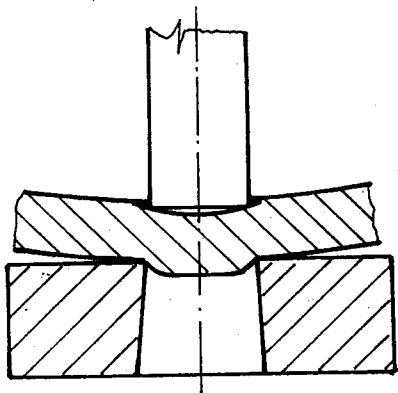
Proces stříhání materiálu v lisovadlech je možné rozdělit do tří základních fází podle účinků působícího napětí.

V první fázi, po dosednutí střižníku na stříhaný plech, dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu. Napětí v tvářeném kovu je menší než mez pružnosti. Hloubka vniku nástroje do materiálu je v této fázi 5-8 % jeho tloušťky a závisí na vlastnostech kovu.

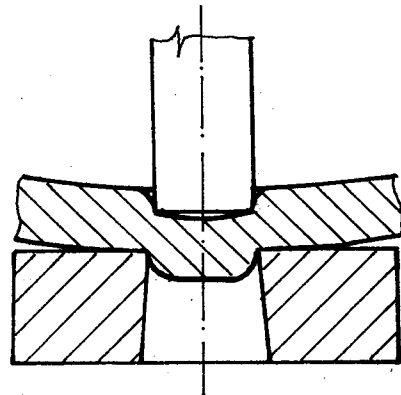
V druhé fázi překračuje napětí mez kluzu a ve stříhaném materiálu se projevuje plastická deformace. Hloubka vniku nástroje je podle mechanických vlastností 10-25 % tloušťky plechu.

Ve třetí fázi je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu, což se projeví vznikem a pohybem trhlinek tj. jejich prodlužováním. Rychlost vzniku a pohybu těchto trhlinek závisí na mechanických vlastnostech materiálu a také na střižné vůli. Křehký a tvrdý materiál se jen málo plasticky deformuje a při stříhu se odděluje téměř okamžitě. Na výstřižku, při straně střižníku a na odpadu při straně střižnice vznikají jen malé jehly. Hrany na protějších stranách zůstávají poněkud zaobleny. Měkký a houževnatý materiál se odděluje poměrně pomalu za vzniku poměrně značných plastických deformací. Ty jsou příčinou vzniku přídatných napětí a také poměrně vyšších jehel a zaoblení.

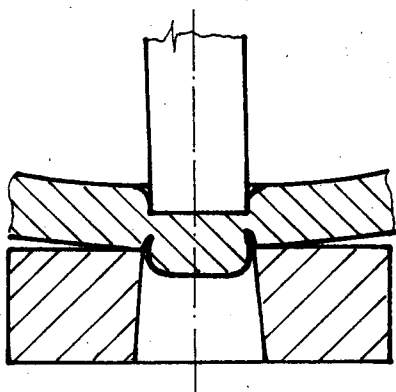
Z obrázku 1 jsou patrné jednotlivé fáze stříhání.



a/



b/



c/

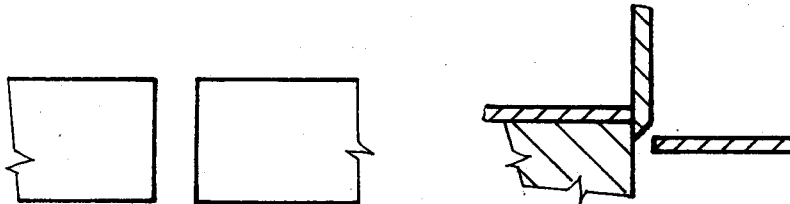
obr. 1 Jednotlivé fáze stříhání

- a/ První fáze stříhání - oblast pružné deformace
- b/ Druhá fáze stříhání - oblast trvalé deformace
- c/ Třetí fáze stříhání - vznik trhlinek

/1/

## 2.2. Základní operace stříhání

1/ Prosté stříhání - rozdělávání materiálu nebo polotovaru na části.



Obr. 2 Prosté stříhání

2/ Děrování - vytváření otvorů různých tvarů v materiálu nebo polotovaru. Vystřižená část tvoří odpad.



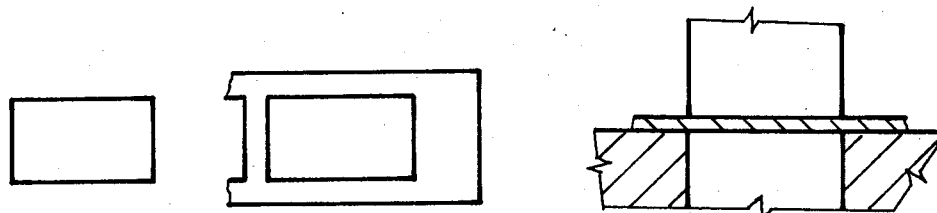
Obr. 3 Děrování

3/ Prostřihování - částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.



Obr. 4 Prostřihování

4/ Vystřihování - vystřižení tvaru materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výrobek.



Obr. 5 Vystřihování

5/ Ostřihování - oddělování přebytečného materiálu po obvodu součásti.



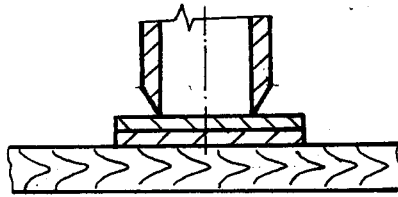
Obr. 6 Ostřihování

6/ Přistřihování - dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.



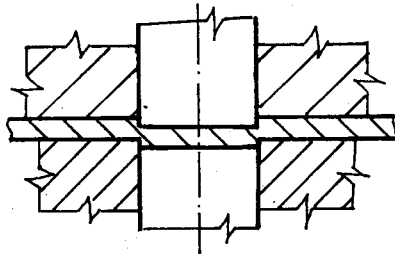
Obr. 7 Přistřihování

7/ Vysekávání - oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.



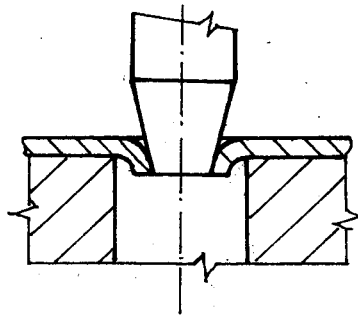
Obr. 8 Vysekávání

8/ Přesné stříhání - upravené vystřihování pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch.



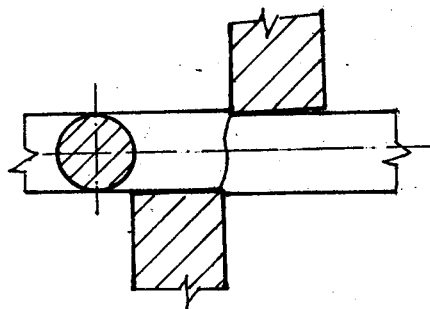
Obr. 9 Přesné stříhání

9/ Protrhávání - vytváření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu.



Obr. 10 Protrhávání

10/ Stříhání profilů, tyčí a trubek - dělení materiálu podle neuzavřeného obrysu noži, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného materiálu. Patří do objemového stříhání.



obr. 11 Stříhání profilů

/2/

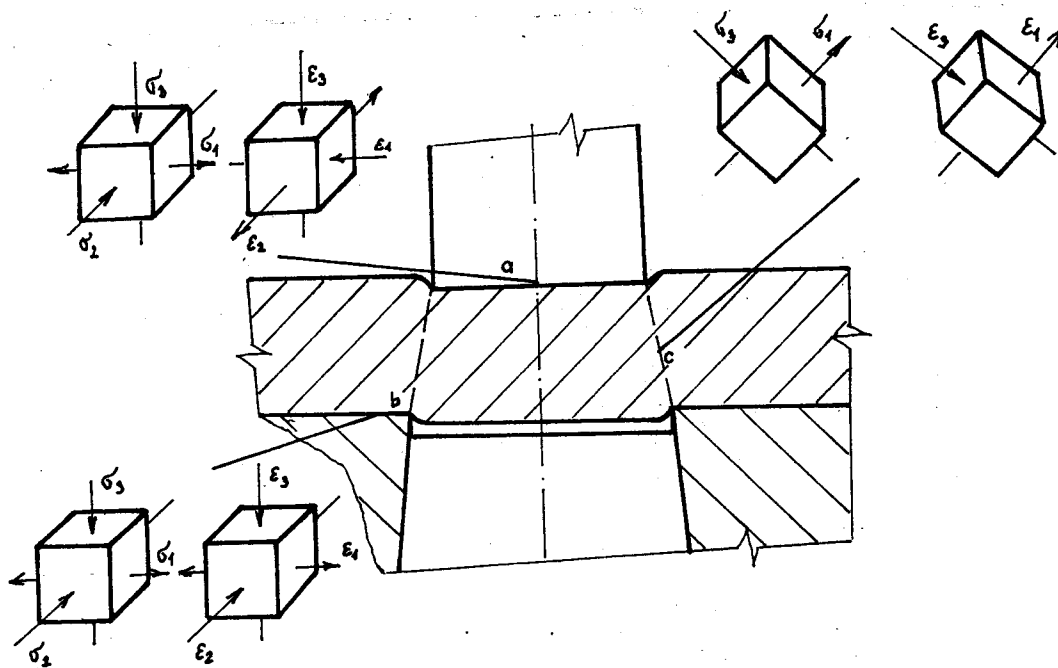
### 2.3. Mechanika střížného procesu

Mechanika střížného procesu je velmi důležitá pro řešení otázek týkajících se zvýšení životnosti stříhadel, jejich přesnosti a účinnosti použitých maziv.

Stav napětí a deformace při stříhání je charakterizován mechanickými schémata napětí a deformace dle obr.12. V oblasti a pod střížnou plochou střížníku vzniká při stříhání nestejnorodá prostorová napjatost se dvěma napětími tlakovými a jedním tahovým. Příslušná deformace odpovídá této napjatosti a je prostorová a nestejnorodá. V oblasti b je to obdobné. V ploše stříhu c, ve které se stříhaný materiál odděluje vzniká nestejnorodá rovinná napjatost a deformace. Ze schémat je patrné, že ve směru stříhání jsou napětí tlaková a ve směru kolmém napětí tahová. Uvedený stav napjatosti odpovídá smykovým deformacím.

Při stříhání bez vůle bude na počátku operace ve stříhané ploše podmínka čistého smyku  $\sigma_1 = -\sigma_2 = \tau$ . Jedno napětí je tahové

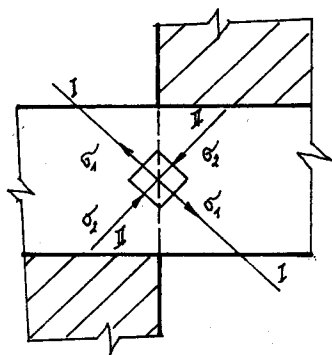
a jedno tlakové. Přitom bude vydělený element ve směru I-I natahován a ve směru II-II stlačován dle obr. 13.



obr.12 Mechanická schémata napětí a deformace při stříhání

↖ - napětí

ε - deformace



obr.13 Stav napjatosti na počátku stříhání bez vůle

Proces deformace při stříhání probíhá tak, že během pohybu střižníku se stlačují a prodlužují vlákna a zároveň se stejnoměrně ohýbají. Při tom dochází k natáčení hlavních os deformace proti jejich původnímu směru.

Vlivem koncentrace napětí budou více deformovány vrstvy u střižných hran . Proto největší odklon hlavních os bude u střižných hran a nejmenší ve střední části plochy stříhu.

Se vznikem plastické deformace se začíná měnit tvar stříhaného polotovaru a v důsledku toho vstupuje v platnost zákon přídavných napětí. Tyto napětí působí opačným smyslem než napětí hlavní. Přídavná napětí zvyšují odpor proti deformaci stříhaného materiálu. Při deformaci se skládají s hlavními napětími, a tak vzniká skutečné pracovní napětí. Vlivem toho dochází i při čistém smyku a při stříhání bez vůle k přechodu od rovinné napjatosti k napjatosti prostorové. Stav napjatosti se bude měnit v závislosti na velikosti deformace stříhaného materiálu a tím na velikosti jeho zpevnění. Na změnu napjatosti ve stříhaném materiálu má vliv i vůle mezi střižníkem a střižnicí a přítomnost třecích sil.



### 3. Vliv faktorů ovlivňujících střižný proces

Střižný proces je ovlivňován celou řadou faktorů, které působí na střižnou sílu, střižnou práci a kvalitu výstřižků tj. těch ukazatelů, podle kterých střižný proces hodnotíme.

#### 3.1. Střižný odpor

Střižný odpor je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících střižný proces. Lze ho charakterizovat jako schopnost stříhaného materiálu bránit se svému oddělení. Střižný odpor závisí na celé řadě činitelů, které můžeme pro přehlednost rozdělit do tří skupin.

1. Činitelé související s materiálem /mechanické vlastnosti, hloubka, do které vniká střižný nástroj, tloušťka stříhaného materiálu, tvar a rozměr křivky stříhu/
2. Činitelé související s konstrukcí nástroje / velikost střižné vůle, konstrukce nástroje/
3. Činitelé související s podmínkami stříhání /rychlost deformace, mazání materiálu a nástroje, stav břitů/

Pro stanovení pevnosti ve stříhu v závislosti na mechanických vlastnostech můžeme použít některou z teorií plasticity. Jelikož při stříhání dochází také ke zpevnění materiálu, hodí se nejlépe energetická metoda, podle které dojdeme k závěru, že zvýší-li se pevnost materiálu a zmenší se jeho tvárnost, zvětší se jeho střižný odpor. Mechanické hodnoty pro některé oceli vidíme v tabulce 1. V další tabulce 2 vidíme mechanické hodnoty pro některé druhy lehkých a neželezných kovů. /4/

Na střižný odpor má vliv i tloušťka stříhaného materiálu. Zvětší-li se tloušťka materiálu, při stejných mechanických vlastnostech, zmenší se střižný odpor. Lze to vysvětlit tím, že tlustší materiály vykazují větší tvárnost a podmínky pro vznik smyku jsou příznivější. Kromě toho je tenký plech citlivější na působení břitů prostřihovadel než tlustý materiál a více se zpevňuje.

Tab. 1 Přehled vybraných mechanických hodnot některých ocelí

| Druh oceli                  | Označení oceli ČSN | Střížný odpor- $k_s$ /MPa/ | Pevnost v tahu- $R_m$ /MPa/ | Tažnost /%/ |
|-----------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Uhlíkové obvyklé jakosti    | 10 340             | 280 až 360                 | 340 až 420                  | 23 až 25    |
|                             | 10 370             | 320 až 400                 | 370 až 450                  | 18 až 20    |
|                             | 10 442             | 360 až 450                 | 420 až 500                  | 18 až 20    |
|                             | 11 500             | 440 až 530                 | 500 až 600                  | 15 až 17    |
| Uhlíkové s nízkým obsahem C | 11 301.20          | 240 až 330                 | 280 až 380                  | 33          |
|                             | 11 321.20          | 240 až 330                 | 280 až 380                  | 33          |
|                             | 11 331.3           | 240 až 340                 | 280 až 400                  | 23 až 26    |
| Uhlíkové tvářené za studena | 11 340.22          | 290 až 400                 | 340 až 460                  | 14          |
|                             | 11 340.25          | 520 až 700                 | 600 až 800                  | 3           |
|                             | 11 341.20          | 240 až 340                 | 280 až 400                  | 26          |
| Uhlíkové ušlechtilé         | 12 010.1           | 300                        | min. 340                    | 24          |
|                             | 12 020.20          | 330 až 440                 | 380 až 500                  | 23          |
|                             | 12 041.20          | 390 až 520                 | 450 až 600                  | 20          |
|                             | 12 061.1           | min. 540                   | min. 620                    | 13          |
|                             | 12 071.20          | 480 až 600                 | 550 až 700                  | 17          |

Tab.2 Přehled vybraných mechanických hodnot lehkých a neželezných kovů

| Druh materialu  | Označení materiálu ČSN | Střížný odpor - $k_s$ /MPa/ | Pevnost v tahu - $R_m$ /MPa/ |
|-----------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Slitina hliníku | 42 4057.1              | 50 až 70                    | max. 110                     |
|                 | 42 4412.1              | 110 až 120                  | max. 230                     |
|                 | 42 4451.1              | 60 až 80                    | max. 150                     |
|                 | 42 4201.1              | 110 až 130                  | max. 230                     |
| Mosaz           | 42 3212.1              | 260                         | 300                          |
|                 | 42 3212.2              | 300                         | 350                          |
|                 | 42 3212.3              | 340                         | 400                          |
|                 | 42 3234.1              | 340                         | 400                          |
|                 | 42 3256.1              | 300                         | 350                          |
| Bronz           | 42 3016.1              | 300                         | 350                          |
|                 | 42 3016.2              | 350                         | 400                          |
|                 | 42 3016.3              | 430                         | 500                          |
|                 | 42 3016.4              | 520                         | 600                          |
| Měď             | 42 3001.1              | 180                         | 200                          |
|                 | 42 3001.3              | 260                         | 300                          |
|                 | 42 3005.1              | 180                         | 210                          |

V tab. 3 vidíme závislost střižného odporu na tloušťce stříhaného materiálu.

Tab.3 Závislost střižného odporu  $k_s$  na tloušťce materiálu

| Materiál            | Střižný odpor $k_s$ /MPa/ |              |
|---------------------|---------------------------|--------------|
|                     | Tloušťka materiálu /mm/   |              |
|                     | 2 až 4                    | 0,5 až 2     |
| Ocel                | 0,75                      | - 0,90 $R_m$ |
| Mosaz               | 0,65                      | - 0,75 $R_m$ |
| Hliník měkký        | 0,75                      | - 0,90 $R_m$ |
| tvrdý               | 0,55                      | - 0,70 $R_m$ |
| Dural měkký         | 0,65                      | - 0,75 $R_m$ |
| tvrdý               | 0,60                      | - 0,65 $R_m$ |
| Korozivzdorné oceli | 0,68                      | - 0,72 $R_m$ |
| Slitiny titanu      | 0,65                      | - 0,70 $R_m$ |

Dalším činitelem, který působí na střižný odpor je tvar a rozměr výstřižku. Při menších průměrech je součást více zaklíněna v otvoru střižnice, takže se zvětší síla na protlačení a tím také odpor ve stříhu a celková střižná práce. Kromě toho je zde důležité i to, že při stříhání větších součástí je větší pravděpodobnost výskytu vad nebo slabých míst na povrchu a průřezu plechu.

Velký vliv na velikost střižného odporu má střižná vůle. Vůle, při které má střižný odpor nejmenší hodnotu se označuje optimální střižná vůle. Mezi optimální vůli patří ta, při které se trhlinky vycházející od střižníku a střižnice spojují. Jakost povrchu stříhu je nejlepší a rozměry výstřižku se velmi blíží rozměrům střižnice. Životnost stříhadla je při optimální vůli největší.

Velikost střižného odporu ovlivňuje také tvar otvoru ve střižnici. Nejmenší odpor mají střižnice s kuželovitým otvorem. To je možné vysvětlit tím, že kuželovou dírou se výstřižky snáze protlačují. Na obrázku 14 vidíme tvary používaných střižnic.



a/

b/

Obr. 14 Tvar díry střižnice a/ kuželová  
b/ válcová

Střižnic s kuželovým otvorem se používá hlavně pro výstřižky, které otvorem propadají. Střižnic s válcovou částí se většinou používá tam, kde výstřižky vytlačujeme zpět do pasu a také k přímému stříhání. Střižnice s válcovou částí mají také větší životnost, protože je lze vícekrát přebrousit beze změny vůle.

Velikost  $k_s$  je velmi ovlivňována stavem střižných hran stříhadel. Je známo, že při práci s otupeným nástrojem je třeba větších střižných sil než u nástroje naostřeného a to proto, že při otupení střižných hran se zvětšuje úhel stříhu /je větší než 90' / a plocha stříhu se zvětšuje na úkor střižné vůle. Výstřižek se při otupených střižných hranách také hůře vysune z nástroje.

/1/

### 3.2. Střižná vůle

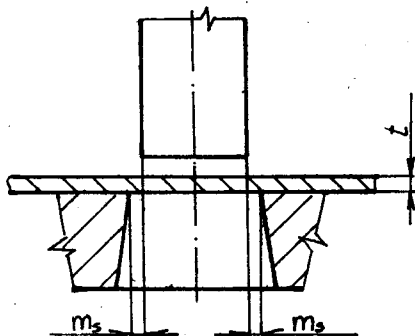
Střižná vůle je nejdůležitějším konstrukčním parametrem nástroje. Je to rozdíl mezi rozměrem střižníku a střižnice.

Je dána vzorcem :

$$v = 2 \cdot m_s \quad (1)$$

kde  $v$  - střižná vůle

$m_s$  - střižná mezera, mezera mezi střižníkem a střižnicí  
dle obr. 15



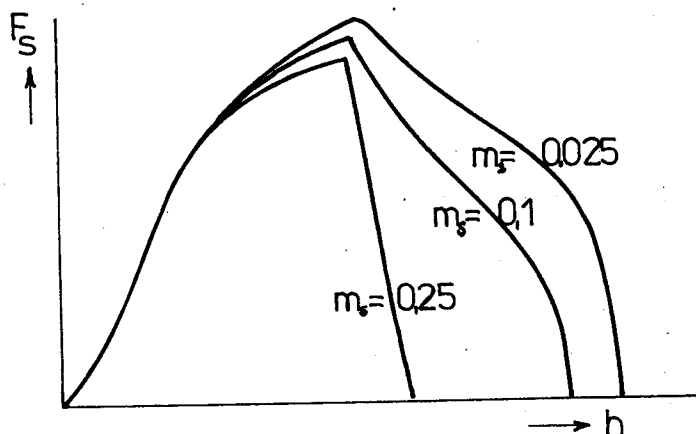
Obr. 15 Schéma střižné mezery

Velikost střižné vůle má vliv zejména na střižný odpor, střižnou práci a trvanlivost nástroje. Střižná mezera má být stejná a rovnoměrná ve všech místech křivky střihu. Velikost střižné vůle závisí v první řadě na druhu a tloušťce stříhaného materiálu a stanoví se v procentech tloušťky stříhaného materiálu dle tabulky 4. Zmenšení střižné mezery má vliv na střižnou sílu a práci. Malý přírůstek střižné síly znamená velký přírůstek střižné práce a v maximum může dosáhnout až 40%. V pracovním diagramu na obr.15 vidíme závislost střižné síly na dráze střižníku pro různé velikosti střižné vůle. Plocha pod křivkou nám udává střižnou práci.

Z prováděných výzkumů vyplývá, že střižná síla s rostoucí střižnou vůlí klesá do určité hodnoty této vůle a dále dochází s růstem střižné vůle k růstu střižné síly. /9/ To znamená, že pro každý materiál existuje optimální relativní střižná vůle, kdy je střižná síla nejmenší.

Tab.4 Přehled střižných vůlí v procentech tloušťky plechu

| Druh materiálu          | Střižná vůle /%t/ |             |
|-------------------------|-------------------|-------------|
|                         | do 2,5 mm         | 2,5 až 6 mm |
| Ocel měkká              | 5                 | 7 až 8      |
| Ocel středně tvrdá      | 6                 | 6 až 8      |
| Ocel tvrdá              | 7 až 9            | 7 až 10     |
| Hliník                  | 4 až 7            | 5 až 9      |
| Dural                   | 7 až 8            | 7 až 10     |
| Měď měkká               | 4 až 5            | 5 až 6      |
| Měď polotvrdá a tvrdá   | 6 až 7            | 6 až 7      |
| Mosaz měkká             | 4 až 5            | 4 až 6      |
| Mosaz polotvrdá a tvrdá | 5 až 6            | 5 až 7      |



Obr.15 Pracovní diagram závislosti střižné síly na dráze střižníku

Optimální střižná vůle je dále závislá na rychlosti stříhání a to tak, že s rostoucí rychlostí stříhání roste u měkkých a houževnatých materiálech a klesá u křehkých a tvrdých materiálech.

/3/

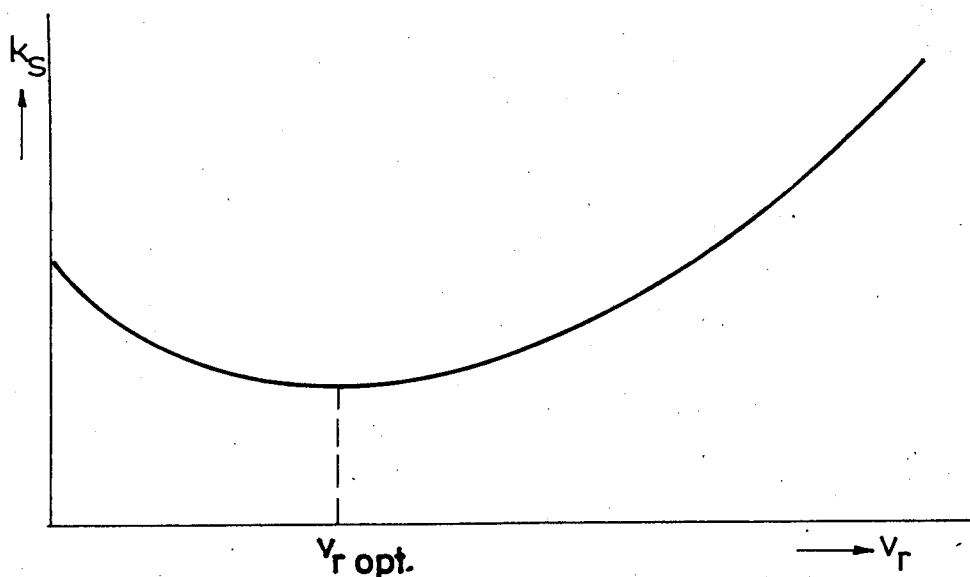
Relativní střižná vůle se vyjadřuje:

$$v_r = \frac{v}{s} \cdot 100 \quad \% \quad (2)$$

kde  $v$  - střižná vůle  
 $s$  - tloušťka plechu

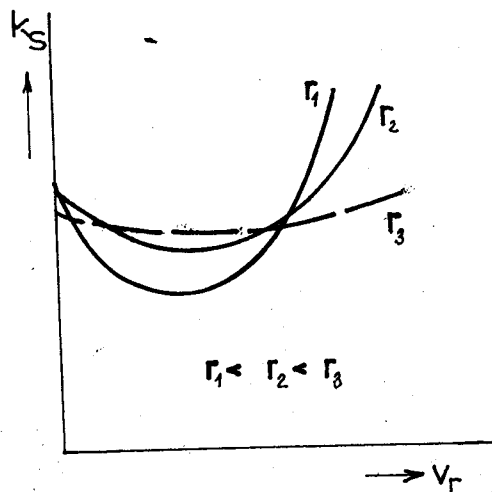
Podle výsledků experimentu /9/ je optimální střižná vůle v mezích 10-30 % a závisí na druhu materiálu.

Na obrázku 16 je znázorněna závislost střižného odporu na velikosti relativní střižné vůli. Zvýšení střižného odporu při malých relativních střižných vůlích je možné vysvětlit tím, že v pružně-plastické oblasti vznikají větší deformace, než při optimální střižné vůli, které způsobují i větší místní zpevnění materiálu.



Obr. 16 Závislost střižného odporu  $k_s$  na relativní střižné vůli

Dalším parametrem ovlivňujícím tuto závislost je poloměr zaoblení střižného nástroje. Tuto závislost vidíme na obrázku 17. Při poloměru zaoblení 7,96 mm se velikost střižného odporu v závislosti na relativní střižné vůli mění výrazněji než u poloměru zaoblení 15,88 mm. Z obrázku vyplývá, že při malých poloměrech zaoblení střižného nástroje je potřeba volit menší relativní střižné vůle /tj. menší než 20%/ a naopak pro větší poloměry zaoblení hodnoty relativní střižné vůle větší /tj. větší než 20%/. Tyto změny střižného odporu v závislosti na uvedených parametrech je třeba brát v úvahu při výpočtu nástrojů, potřebného výkonu strojů a práce.



Obr. 17 Závislost střižného odporu  $k_s$  na relativní střižné vůli pro různé zaoblení střižného nástroje

/9/

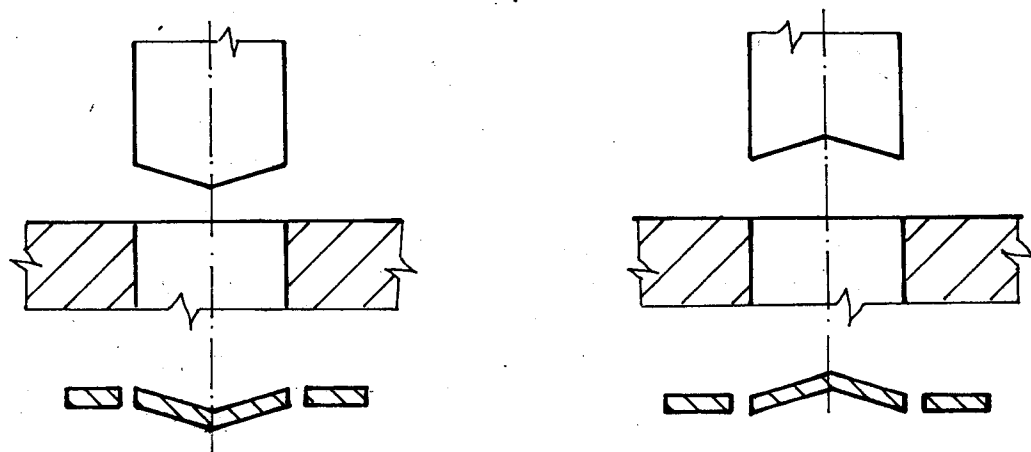
Velikost střižné vůle také ovlivňuje kvalitu výstřižku. Při optimální vůli se nástřihy od střižníku a střižnice setkají a vytvoří v průřezu jednu plochu bez otřepů. Při stříhání s malou nebo velkou vůlí se nástřihy neseťkají a způsobí nerovný povrch plochy stříhu. Optimální vůle je taková, při které se dosáhne požadované jakosti povrchu střižné plochy při nejmenší střižné síle. V důsledku toho, že velikost střižné vůle se během stříhání mění vlivem opotřebení nástroje, zhotovují se nové nástroje s minimální vůlí.

Je-li výstřižek výrobkem, pak se jeho rozměr získá z rozměru střižnice a střižná vůle se provádí na úkor střižníku, který se o příslušnou vůli zmenší. Rozměr součásti pak odpovídá rozměru střižnice. Naopak, je-li otvor výrobkem, dostává své rozměry od střižníku a technologická vůle se konstruuje na úkor střižnice. Pak rozměr vystřiženého otvoru odpovídá rozměru střižníku.

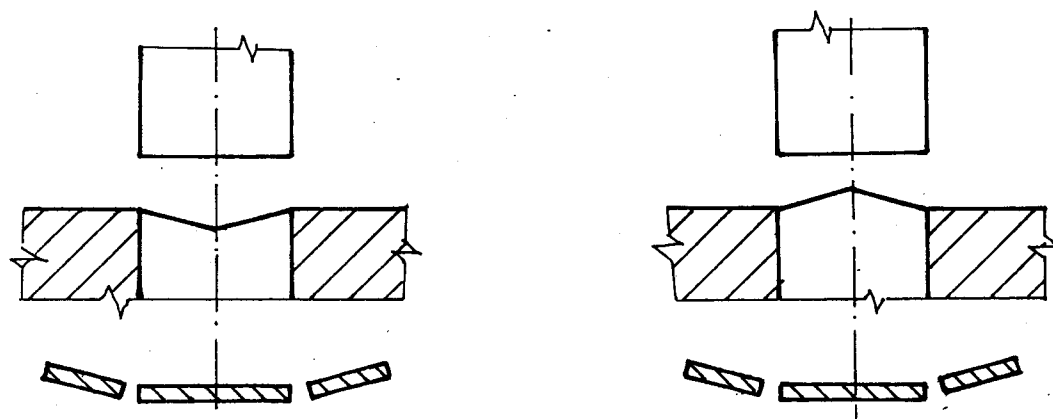
### 3.3. Úprava střižných hran

Úpravou střižných hran lze zmenšit střižné síly. Na obr. 18 vidíme různé způsoby úpravy jak střižnice, tak i střižníku.





a/



b/

Obr. 18 Úprava střižných hran a/ úprava střižníku  
b/ úprava střižnice

Střih při takto upravených stříhadlech pak probíhá postupně. Dojde přitom jednak ke zmenšení maximální střižné síly a také ke zrovnomměnění průběhu této síly.

Při děrování má být střižnice rovná a střižník skosený. Součást se pak nedeformuje a ohýbá se odpad. Při stříhání se skosenou střižnicí a rovným čelem střižníku se deformuje pás a výstřižek je rovný. Jednostranné zkosení se používá pro nastříhování s ohnutím. Zkosení není však vhodné pro prostříhování součásti složitých tvarů.

Dalším činitelem ovlivňujícím velikost střižné síly a kvalitu střižné plochy je stupení střižných hran. Stupení nastane

tím dřív, čím větší bude tření mezi střižnou hranou a materiálem. Tření je větší například u okujených materiálů, proto je výhodné okuje z povrchu materiálu odstranit.

Dovolené otupení je dáno empirickým vzorcem:

$$r = 0,1 \cdot s \quad (3)$$

kde  $r$  - poloměr otupení břitu /mm/  
 $s$  - tloušťka plechu /mm/

Mezi další způsoby ovlivňování kvality výstřižku je ovlivnění napjatosti ve střižné oblasti. Toho lze dosáhnout použitím nátlačných hran a spodního přidržovače. Tím je navozen všestranný tlak, který je z hlediska tváření nejvýhodnější. Nevýhodou je však nárůst střižné síly.

Na kvalitu výstřižku má vliv také rychlost stříhání a mazání střižných hran a materiálu. Bylo zjištěno, že s rostoucí rychlostí stříhání se zmenšuje výška ostřin. Také při mazání jsou ostřiny mnohem menší, snižuje se i deformace výstřižku. Největší ostřiny vznikají při stříhání na sucho.

/4/

### 3.4. Faktory ovlivňující opotřebení střižných nástrojů

Při vystřihování dochází k opotřebení pracovních částí střižného nástroje. Opotřebení stříhadla je dáno ubytkem jeho aktivních částí v oblasti střižné hrany, které souvisí s počtem vyrobených výstřižků. Nejlepší trvanlivost má ten nástroj, který má nejmenší opotřebení a nejmenší osti při stejném počtu vyrobených výstřižků ze stejného plechu. Naopak nejlepší stříhatelnost má ten plech, který způsobuje nejmenší opotřebení nástroje a vykazuje nejmenší nárůst osti při vystřihování stejného počtu kusů.

Mezi technologické faktory opotřebení patří velikost střižné

vůle, složitost tvaru vystřihované součástky-má vliv na možnost výroby nástroje s rovnoměrnou střižnou mezerou po celém obvodu, typ a konstrukce nástroje, tuhost lisu a nástroje. Také rychlost stříhání ovlivňuje šířku zpevnění - oblast zpevnění a velikost ostí.

K provozním faktorům patří stav střižných hran, technický stav lisu a jeho mechanismů, upnutí nástroje na lisu a způsob jeho mazání.

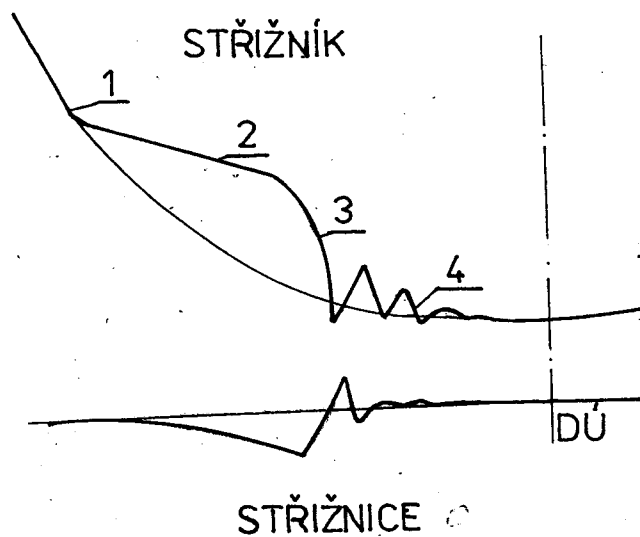
Opotřebení střižných hran střižnice a střižníku lze odstranit přebroušením čelní plochy střižníku a střižnice. To je hlavní druh opotřebení. Současně s tím vzniká opotřebení bočních ploch střižníku a otvoru střižnice, kdy opotřebení střižníku je větší než u střižnice.

Velký význam má proces vzniku tepla při deformaci na opotřebení střižných částí nástrojů. Podle poznatků se přemění na teplo až 80 % střižné práce a jen 20 % této práce se mění na potenciální energii deformované mřížky a povrchové vrstvy okolo obvodu stříhání.

Experimentálně bylo zjištěno, že opotřebení pracovních částí nástrojů, které jsou vyrobeny z nástrojových ocelí, je funkcí počtu vyrobených výstřižků. Charakter opotřebení částí nástrojů vyrobených z tvrdých kovů je podstatně jiný než u nástrojů z nástrojových ocelí. Opotřebení a velikost ostí u nich roste pomaleji, nástroj pracuje dlouho bez ostí, potom vznikají únavové trhlinky a nástroj se rychle opotřebí. U většiny starších lisů se však nástroje z tvrdých kovů nemohou používat pro malou tuhost frémy.

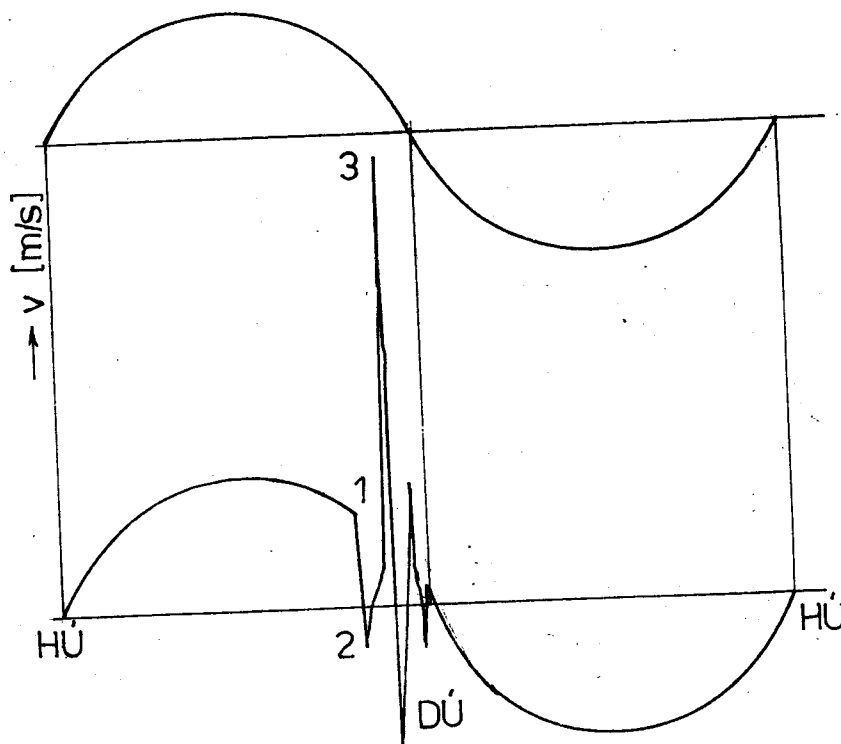
V průběhu stříhání dochází k nerovnoměrnému pohybu střižníku a střižnice dle obr.19.

- 1-dosednutí střižníku na stříhaný materiál
- 2-proces plastické def.
- 3-proces stříhání
- 4-kmitání beranu



Obr.19 Nerovnoměrný pohyb střižníku a střižnice

V plastickém stádiu stříhání se střižnice prohýbá ve směru působící síly a v momentě stříhání se rychle zvedne nahoru. V průběhu stříhání má i beran nepravidelný chod dle obr. 20.

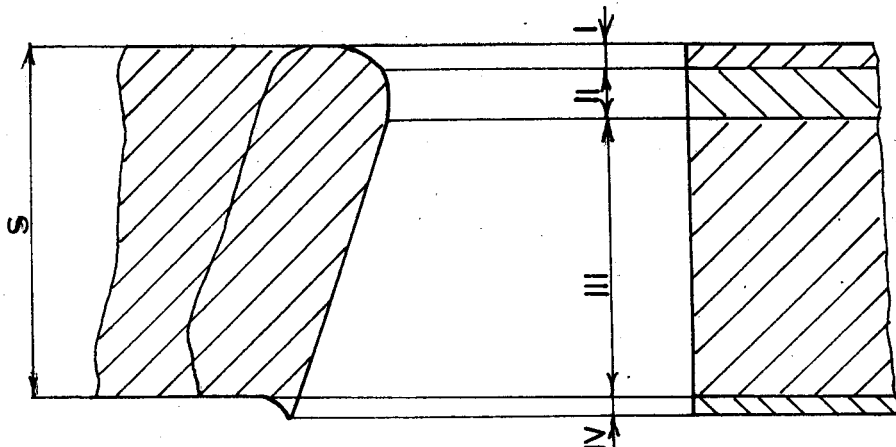


Obr. 20 Změna rychlosti beranu při stříhání.

Kmitání beranu a střižnice je zdrojem doplňujícího spotřeby střižníku a střižnice.

### 3.5. Kvalita povrchu střižných ploch

Střižná plocha výstřižků se skládá ze čtyřech pásem podle obrázku 21.



Obr. 21 Pásma střižné plochy

- I. Pásmo otáčení od střižníku - zeslabení cca  $0,06 \cdot s$
- II. Pásmo plastického střihu - přeřezání cca  $0,1 \cdot s$
- III. Pásmo matné vytrhané plochy - lom cca  $0,8 \cdot s$
- IV. Pásmo zdeformované od střižnice - zeslabení cca  $0,04 \cdot s$

Pásma I, II, IV odpovídají stádiu pružně-plastické deformace a pásmo III lomu materiálu.

U tvrdších materiálů se pásma I, II, IV zmenšují a pásmo III roste. Pro měkké materiály je to naopak. Kvalita střižných ploch závisí dále na vlastnostech střižaného materiálu, střižné vůli, geometrii nástroje a rychlosti stříhání.

/3/

#### 4. Stanovení sil a práce při stříhání

Stanovení velikosti síly a práce je rozhodujícím faktorem pro vhodnou volbu velikosti stroje pro stříhání. Při stříhání se nesmí překročit jmenovitá síla lisu, jinak by mohlo dojít k jeho poškození

##### 4.1. Síly při stříhání

Při stříhání se, kromě síly potřebné na oddělení materiálu, uplatňuje ještě síla potřebná na setření materiálu ze střižníku a síla potřebná na protlačení výstřižku střižnicí.

##### a/ Střižná síla

Tato síla je v každém okamžiku dána součinem dvou proměnných veličin, součinem střižného odporu a stříhané plochy. Velikost střižné síly se v průběhu pracovního zdvihu mění podobně jako při zkoušce materiálu tahem. Ve velikost střižného odporu se vlivem zpevnování zvětšuje. Tím vlastně závisí na hloubce a proniknutí střižníku do materiálu. Mění se od meze kluzu až do meze pevnosti. Obvykle se mění střižný odpor od 0,7 do 0,9  $R_m$ .

Střižná síla se pak určí ze vzorce :

$$F_s = k_s \cdot S_s \cdot K \quad /N/ \quad (4)$$

kde  $k_s$  - střižný odpor /MPa/

$S_s$  - plocha stříhu /mm<sup>2</sup>/

$K$  - součinitel stupení břitů dle výpočtu  $K = 1 + 0,5 \cdot r/s$

$l$  - délka stříhu /mm/

$r$  - stupení břitů /mm/

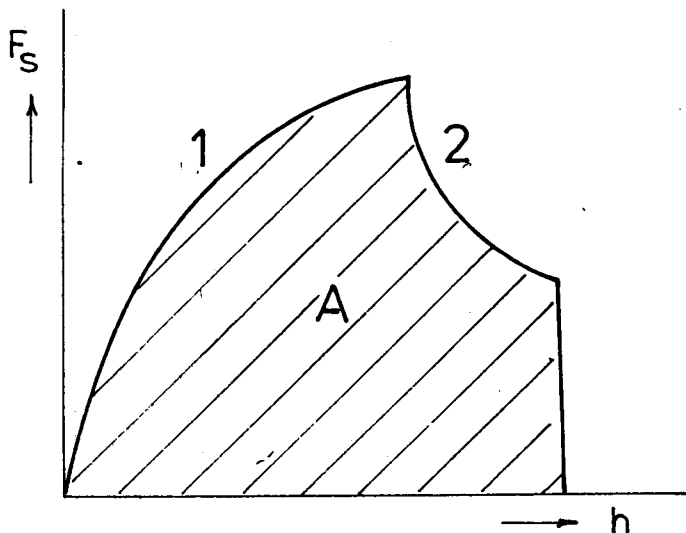
$s$  - tloušťka materiálu /mm/

Na obrázku 22 je znázorněn diagram závislosti střižné síly na dráze střižníku.

Pro volbu potřebného lisu nebo při výpočtu pevnosti nástroje se volí střižná síla o 20 až 25 % větší vzhledem k možnosti změny střižných podmínek.

Pak pro vhodnou volbu lisu bude velikost střižné síly:

$$F_1 = 1,2 \text{ až } 1,25 \cdot S_s \cdot k_s \cdot K \text{ /N/} \quad (5)$$



1. síla potřebná k vystřižení polotovaru
2. síla potřebná k protlačení výstřižku střižnicí a sejmutí polotovaru ze střižníku

Obr.22 Průběh střižné síly v závislosti na dráze střižníku

/4/

#### b/ Stírací a protlačovací síla

Při vystřihování a děrování ulpí stříhaný materiál, vlivem své pružnosti, na vnějších plochách střižníku. K jeho setření je potřeba určité síly, která závisí na materiálu, jeho tloušťce, složitosti tvaru stříhu, velikosti střižné vůle a mazání.

Její velikost lze vyjádřit v procentech střižné síly a je dána ze vzorce:

$$F_T = c_1 \cdot F_s \text{ /N/} \quad (6)$$

kde  $F_s$  - střižná síla /N/  
 $c_1$  - součinitel stírání

Hodnoty součinitele stírání  $c_1$  najdeme v tabulce 5. Spodní hranici hodnot součinitelů bereme pro výpočet u jednotlivých a jednoduchých střižníků. Horní hranici bereme při stříhání více střižníků. Pro běžné oceli se velikost stírací síly odhadem jako 10 % střižné síly. Zkouškami bylo zjištěno, že stí-

rání ze střižníku představuje hodnotu 3 až 20 % střižné síly. Také se ukázalo, že velikost stírací síly při vystřihování je menší než při děrování.

/3/

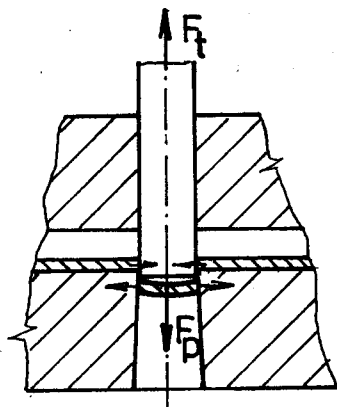
Další silou, které se při stříhání objevuje je síla potřebná na protlačení výstřižku střižnicí. Je závislá na stejných činitelích jako síla stírací. Její velikost je dána vzorcem:

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s \quad /N/ \quad (7)$$

kde  $F_s$  - střižná síla /N/

$c_2$  - součinitel protlačení dle tabulky 5

Na obr. 23 vidíme obě uvedené síly.



Obr.23 Stírací a protlačovací síla

Tab.5 Hodnoty součinitelů stírání  $c_1$  a protlačování  $c_2$

| tl.materiálu | $c_1$     | $c_2$      |
|--------------|-----------|------------|
| ocel do 1 mm | 0,02-0,12 | 0,005-0,08 |
| 1 až 5 mm    | 0,06-0,16 |            |
| nad 5 mm     | 0,08-0,20 |            |
| Mosaz        | 0,06-0,07 | 0,04       |
| slitina AL   | 0,09      | 0,02-0,04  |



#### 4.2. Střižná práce

Střižná práce potřebná pro vystřižení součásti z materiálu je přímo úměrná střižné síle a hloubce vtlačení střižníku do materiálu. V diagramu na obrázku 22 je střižná práce dána plochou pod průběhem střižné síly v závislosti na dráze střižníku. Výpočtem lze velikost střižné práce určit ze vzorce :

$$A = K_A \cdot F_s \cdot s \quad /J/ \quad (8)$$

kde  $K_A$  - součinitel zaplnění

$F_s$  - střižná síla /kN/

$s$  - tloušťka materiálu /mm/

Hodnoty součinitele zaplnění závisí na druhu, tvrdosti a tloušťce materiálu. Hodnoty  $K_A$  jsou uvedeny pro různé materiály v tab. 6.

Z důvodu určitých tolerancí tloušťky a pevnosti materiálů nebude výpočet střižné práce úplně přesný a proto počítáme až s desetiprocentní rezervou.

Tab.6 Hodnoty součinitelů zaplnění  $K_A$

| Materiál                                  | tloušťka materiálu /mm/ |           |           |           |
|---|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | do 1                    | 1 až 2    | 2 až 4    | nad 4     |
| ocel měkká<br>$k_s=250 - 350$ MPa         | 0,75-0,70               | 0,70-0,65 | 0,65-0,55 | 0,50-0,40 |
| ocel středně tvrdá<br>$k_s=350 - 500$ MPa | 0,65-0,60               | 0,60-0,55 | 0,55-0,48 | 0,45-0,35 |
| ocel tvrdá<br>$k_s=500 - 700$ MPa         | 0,50-0,47               | 0,47-0,45 | 0,44-0,38 | 0,35-0,25 |
| hliník, měď/žihane                        | 0,80-0,75               | 0,75-0,70 | 0,70-0,60 | 0,65-0,50 |

/5/

## 5. Měření střižné síly

Jak vyplývá ze zadání diplomové práce úkolem je navržnutí měřícího zařízení a experimentální zkoušky měření vlivu rychlosti nástroje na střižnou sílu.

### 5.1. Způsoby měření sil

Velikost sil lze, kromě některých speciálních snímačů např. piezoelektrických, které umožňují měřit tuto veličinu přímo, určit zpravidla podle velikosti deformace měrné části nástroje. Tyto systémy se podle způsobů snímání deformace dělí:

Mechanické systémy : změna rozměru je mechanickým převodem až tisícinásobně zvětšena. Převod se provádí buď systémem pák nebo ozubených kol. Tyto systémy jsou určeny hlavně pro statická měření. Výhodou je dobrá stálost i při časově dlouhém měření.

Pneumatické systémy : deformace měřené součásti se přenáší na clonku, ve které dochází ke škrcení průtoku vzduchu. Zaznamenáváme změnu tlaku vzduchu.

Hydraulické systémy : využívají malé stlačitelnosti kapalin. Vlivem deformace dochází k vytlačení části do kapiláry, na které určíme velikost síly. Tento způsob měření se používá jen pro statická měření, a je značně závislý na teplotě.

Akustické systémy : využívají k měření změnu kmitočtu různě napínané struny.

Elektrické systémy : patří mezi nejčastější způsoby měření deformací. Využívají změny elektrické vodivosti kovů nebo polovodičů při deformaci. Jsou vhodné pro měření dynamických sil.

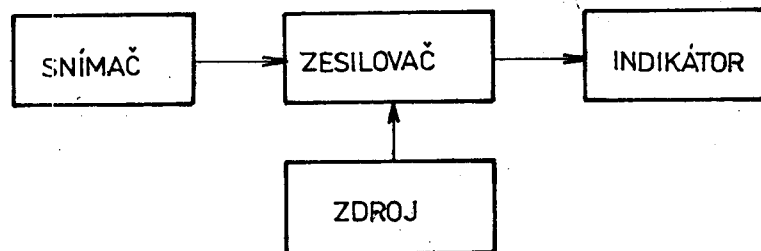
Pro naše měření střižné síly použijeme elektrického měřicího systému.

Tento systém měření je pro své výhody nejpoužívanější. K nejvýraznějším výhodám patří:

- velká citlivost
- vysoká přesnost
- možnost měření na dálku
- možnost měření rychle se měnících veličin
- možnost registrace

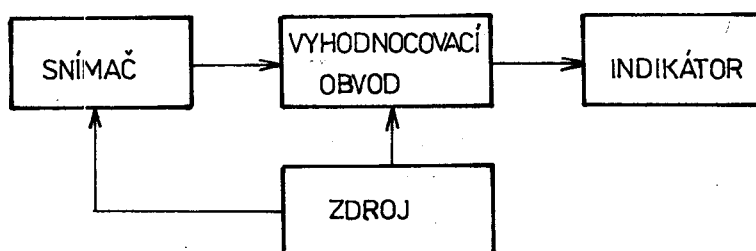
Přeměna neelektrické veličiny na elektrickou se zprostředkovává pomocí snímačů. Tyto snímače můžeme rozdělit podle způsobu přeměny neelektrické energie na elektrickou na:

- 1/ Snímače aktivní - tyto převádějí energii úměrnou měřené veličině přímo na energii elektrickou. Mezi tyto snímače patří například piezoelektrický snímač, elektrodynamický snímač, termoelektrický článek atd. Jejich výstupní signál je ve formě elektrického napětí nebo proudu a je dále zesílen tak, aby mohl být indikován. Na obrázku 24 je blokové schéma zapojení s aktivním snímačem.



Obr. 24 Blokové schéma zapojení aktivního snímače

2/ Snímače pasivní - jsou takové snímače, které při působení měřené veličiny mění některý ze svých parametrů, jako třeba elektrický odpor, indukčnost, kapacitu a tím ovlivňují procházející el. proud respektive napětí. V tomto procesu dochází k tzv. modulaci nosného napětí. Na obrázku 25 vidíme zapojení tohoto snímače v blokovém schématu.



Obr. 25 Blokové zapojení pasivního snímače

ad 1. Piezoelektrické snímače - tyto snímače jsou založeny na piezoelektrickém jevu. U některých krystalů, jsou-li mechanicky namáhány, vznikají na povrchu el. náboje / přímý jev/. Opačně, jsou-li tyto krystaly vloženy do el. pole, pak se deformují /nepřímý jev/. Látky mající tyto vlastnosti se označují jako látky piezoelektrické. El. náboje na povrchu krystalů vyvolají napětí. Napěťová citlivost je funkcí jednak rozměru piezoelektrického výbrusu, ale také velikostí piezoeel. koeficientu a permitivity výbrusu. El. náboj

se však vzhledem k povrchovému odporu a svodu časem zmenšuje. Tyto snímače jsou omezeny maximálním přípustným tlakem a jsou vhodné pro měření dynamických sil.

ad 2. Odporové snímače - podstatou těchto snímačů je prvek, jehož elektrický odpor se mění působením měřené veličiny.

Indukční snímače - při deformaci dochází ke změně indukčnosti v cívce, která slouží jako měřící člen. Použití těchto snímačů je omezené, neboť snáší velmi špatně otřesy.

Kapacitní snímače - vlivem deformace dojde ke změně kapacity, která způsobí přeladění oscilátoru na jiný kmitočet a tato změna kmitočtu se převede na změnu napětí, kterou snímáme.

V oblasti pružné deformace platí Hookův zákon, který říká, že poměrná deformace je úměrná mechanickému napětí materiálu. Jestliže nám bude snímač přesně sledovat deformaci materiálu, můžeme přímo elektrickou cestou sledovat průběh mechanického napětí v materiálu. Nejpoužívanějšími snímači deformace jsou snímače odporové - tenzometry. Tento typ snímače použijeme i pro naše měření.

### Tenzometrický snímač

Principem tenzometrického snímače je změna odporu snímače způsobená deformací vodiče. Obecně je pro každý odporový tenzometr platný vztah mezi relativní změnou odporu a poměrným prodloužením.

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta L}{L} \quad (9)$$

kde R - odpor vodiče

L - délka vodiče

k - koeficient úměrnosti vyjadřující citlivost odporu vůči

deformaci

Přesnost měření závisí na přesnosti zjištění konstanty  $k$ .  
Pro její určení vycházíme z fyzikálního zákona:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad / \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2} / \quad (10)$$

kde  $\rho$  - měrný odpor  
 $L$  - délka vodiče  
 $S$  - průřez vodiče

a předpokládáme, že dochází ke změně odporu o  $dR$ , který je  
vyvolán změnou délky vodiče o  $dL$ , průřezu o  $dS$  a měrného odporu  
o  $d\rho$

$$\text{pak} \quad dR = \rho \frac{L}{S} \frac{d\rho}{\rho} + \rho \frac{L}{S} \frac{dL}{L} - \rho \frac{L}{S} \frac{dS}{S} \quad (11)$$

po vydělení  $R$  dostáváme:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S} \quad (12)$$

dále víme, že  $S = \pi r^2$   
kde  $r$  - poloměr vodiče

$$\text{a pak} \quad \frac{dS}{S} = 2 \frac{dr}{r} \quad \text{a} \quad \frac{dL}{L} = -\mu \frac{dr}{r} \quad (13)$$

kde  $\mu$  = Poissonův činitel / 0,24 - 0,40 /

pak po dosazení vztahů 13 do 12

$$\frac{dR}{R} = / 1 + 2\mu / \cdot \frac{dL}{L} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (14)$$

dále ze vztahu 9 vyplývá

$$k = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dL}{L}} = 1 + 2\mu + \frac{\frac{dS}{S}}{\frac{dL}{L}} \quad (15)$$

kde poslední člen  $\frac{dS}{S} \frac{dL}{L}$  vyjadřuje změnu měrného odporu v závislosti na deformaci

/4/

Podmínkou přesného měření deformace těchto snímačů je dokonalé spojení snímače s prvkem, ve kterém měříme napětí. Nejčastějším způsobem spojení je lepení. Druh používaného lepidla je závislý na teplotě a podmínkách měření. Například u tenzometrů používaných při teplotách do 80°C se používá acetátových lepidel, pro teploty vyšší pryskyřice a do extrémních podmínek tj. nad 200°C lepidel keramických.

Pro možnost použití snímačů za vyšších teplot jsou drátky vyráběny zpravidla z materiálů s malým teplotním součinitelem odporu. Nejpoužívanějším materiálem je konstantan/slítina 58,8% Cu, 40% Ni, 1,2% Mn/.

odporové tenzometry jsou složeny z dlouhého deformačně citlivého vodiče, který je připevňen na papírové nebo umělé destičce. Destička slouží, kromě nosiče vodiče, i jako elektrický izolátor od snímané součásti. Průměr odporových drátků bývá 0,025 mm. Na obr. 26 vidíme mřížkový tenzometr.



Obr. 26 Mřížkový tenzometr

## 5.2. Způsoby vyhodnocování změn parametrů pasivních snímačů

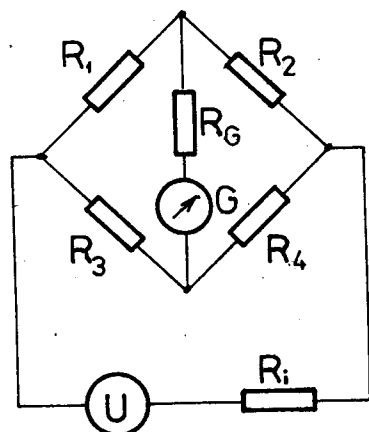
Vyhodnocování změn odporu, kapacity nebo indukčnosti u odporových, kapacitních nebo indukčních snímačů se provádí nejčastěji dvěma způsoby.

/6/

- 1/ Zapojením příslušného snímače do obvodu určujícího kmitočet vhodného typu oscilátoru a převedením změny parametru na změnu kmitočtu, který lze číslicově měřit.
- 2/ Vyhodnocení změny odporu, kapacity nebo indukčnosti snímače ve vhodném můstkovém zapojení.

Pro náš případ měření použijeme můstkové zapojení snímače.

Změnu ohmického odporu lze vyhodnotit pomocí Wheatstonova můstku, jehož schéma zapojení vidíme na obr. 27.



Obr.27 Zapojení Wheatstonova můstku

Ve vyváženém můstku je výchylka galvanometru rovna nule tj.  $I_g = 0$  a pak platí:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad (16)$$

Za předpokladu, že  $R_1$  je neznámým odporem a odpor  $R_2$  je proměnný s možností odečtení své hodnoty, pak lze určit hodnotu neznámého odporu  $R_1$  za předpokladu vyváženého můstku podle vzorce

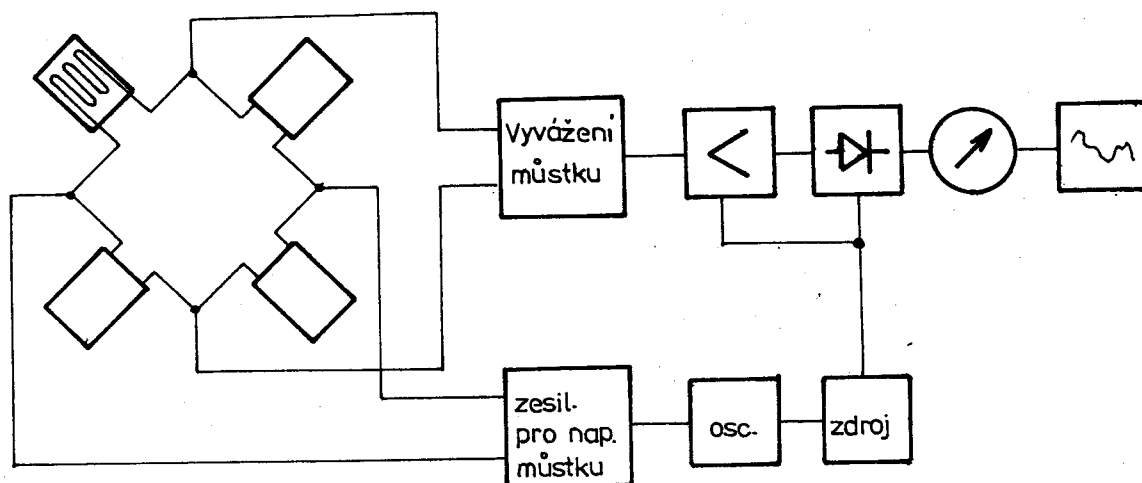
$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (17)$$

V obdobném zapojení lze vyhodnocovat i velikost indukčnosti nebo kapacity, které se však nachází na místě neznámého odporu  $R_1$ .



Wheastonův můstek je součástí tenzometrické aparatury TDA 3, která se u nás používá, vyráběné ve státním podniku Mikrotechna.

Je určena pro statickodynamická měření a skládá se ze tří nezávislých kanálů, kterými lze snímat současně tři měřené veličiny. Na obr. 28 je blokové schéma zapojení této aparatury. Můstek je možné vytvořit buď čtyřmi aktivními tenzometry, nebo jedním aktivním a jedním kompenzačním tenzometrem. U krátkodobých měření, u kterých nezáleží na teplotní kompenzaci, je možné použít pouze jeden aktivní tenzometr a tři zbývající nahradit pevnými odpory.



Obr. 28 Blokové schéma měřicí aparatury TDA-3

Můstek je napájen stabilizovaným napětím o kmitočtu 5 kHz s možností volby napájecího napětí. Napětí z můstku je vyvedeno na vyvažovací obvod, kterým je možno vyvážit základní odchylky tenzometrů. Při měření se napětí vzniklé nerovnováhou můstku zesílí a po následném usměrnění se přivede na smyčkový oscilograf.

/6/

## 6. Princip a mechanika protahování a ražení

### a/ Protahování

Protahování je zvětšování předstřiženého otvoru za současného vytváření kolmé válcové plochy. Při protahování otvorů dochází ke složité nerovnoměrné napjatosti, která vyvolává nerovnoměrnou deformaci. Na obr. 29 vidíme na mechanických schématech deformace průběhy a směry napětí a deformací. Při protahování je část polotovaru uvnitř válcové části podrobena rovinné tahové napjatosti v tečném a radiálním směru a prostorové deformaci.

Největší radiální tahové napětí  $\sigma_r$  je v místě poloměru zaoblení tažnice a s rostoucí vzdáleností od tohoto poloměru jeho velikost ubývá a blíží se nule. Proto je element  $a$  na povrchu protaženého otvoru podroben jednosměrné tahové napjatosti. V důsledku toho se při protahování prodlužují vlákna v tečném směru a zmenšuje se tloušťka výchozího materiálu.

Důležitým parametrem při operaci protahování je velikost protahovací mezery. Protahovací mezera je rozdíl mezi rozměrem tažnice a tažníku. Může být konstruována o něco menší než je tloušťka výchozího materiálu. Schéma protahovací mezery je na obr. 30.

V případě, že tloušťka materiálu v oblasti protahování není předepsána, stanoví se mezera při protahování z plochého polotovaru ze vzorce:

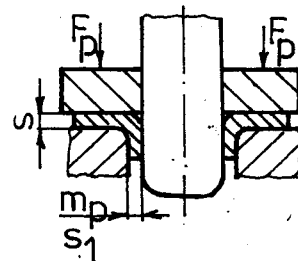
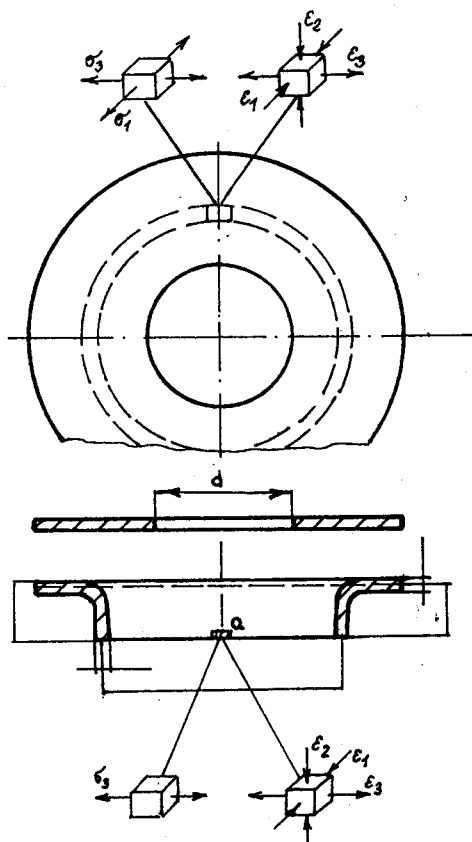
$$s_1 = m_p = s_{\min} - /0,1 - 0,15/.s \quad (18)$$

kde  $s_1$  - tloušťka stěny po protahování

$s_{\min}$  - minimální tloušťka výchozího materiálu

$s$  - tloušťka výchozího materiálu

Má-li mít protažená válcová část stejnou tloušťku, je nutné protahovat se ztenčením stěny. Přitom je třeba respektovat dovolenou velikost ztenčení  $s/s_1$ , která nabývá hodnoty 2,0 až 2,5 pro ocel, 2,5 až 3,5 pro měď a 4,0 až 5,0 pro hliník.



Obr.30 Schéma protahovací mezery

Obr.29 Schéma protahování a mechanických schémat deformace

/ 1/

b/ Ražení

Ražení je operace, při níž se z materiálu vyrážejí za studena v zápustkách jednoduché součásti. Patří mezi objemové tváření. Lze realizovat také pomocí střížného nástroje, kde nahradíme střížnicí kalenou raznicí - zápustkou.

Síla potřebná pro ražení se vypočte ze vztahu:

$$F = S \cdot g \quad /N/ \quad (19)$$

kde S - tvářená plocha /mm<sup>2</sup>/  
g - měrný tlak /MPa/

Při ražení dochází k velkému stupni deformace. Hodnota měrného tlaku  $g$  závisí na druhu materiálu dle následujícího rozdělení.

|          | Al       | Mosaz     | Ocel      |
|----------|----------|-----------|-----------|
| $g/MPa/$ | 800-1200 | 1600-2000 | 2500-3000 |

## 7. Experimentální část

Jak vyplývá ze zadání diplomové práce je cílem experimentální části návrh měřícího zařízení a měření tvářecí síly pro stříhání při různých rychlostech pohybu nástroje. Měření provedeme pro plechy Ms 423213, Cu 42300.11, ocel 11320.2, 11343.10 a 12071.6.

### 7.1. Experimentální stanovení meze pevnosti v tahu a stříhu u vybraných materiálů

Pro zjištění mechanických vlastností použitých materiálů a upřesnění koeficientů pro ověřovací výpočty určujeme mez pevnosti v tahu a ve stříhu.

Pro stanovení meze pevnosti v tahu a ve stříhu jsme použili zkušební stroj FPZ 100 R /NDR/. Pro určení meze pevnosti v tahu byl stroj uspořádán pro zkoušku tahem dle ČSN 42 0310. Pevnost v tahu je definována jako napětí odpovídající největšímu zatížení předcházejícímu porušení zkušební tyče, které je vztaženo k původní velikosti průřezu zkušební tyče.

Zkušební tyče pro zkoušku tahem byly vyrobeny ze středních částí pásů vybraných materiálů stříháním na tabulových nůžkách. Použité tyče mají tvar pásků /šířka 20 mm, délka 220 mm, dle ČSN 42 0435/ a jsou bez prismatické části. Síla při přetržení byla odečtena z registračního zařízení trhačky, které pracuje v závislosti na pohybu upínacích čelistí. Rychlost zatěžování byla volena 10 mm/min.. Zkouška u jednoho materiálu byla provedena na 8mi zkušebních tyčích, z nichž 5 bylo vybráno pro hodnocení. Dosažené výsledky obsahuje tabulka 7. Mez pevnosti v tahu jsme vypočetli ze vztahu:

$$R_m = F_p / S \quad /MPa/ \quad (20)$$

kde  $F_p$  - maximální síla při přetržení / N/  
 $S$  - původní průřez /mm<sup>2</sup>/

Tab.7 Naměřené hodnoty síly při přetržení  $F_p$ /kN/ a výsledná hodnota meze pevnosti v tahu  $R_m$ /MPa/

| Měření č. | 1                            | 2                            | 3                            | 4                            | 5                            | průměr                      |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Ms        |                              |                              |                              |                              |                              |                             |
| 423213    | 9,50<br>19,4 x 1<br>489,7    | 9,20<br>19,6 x 1<br>469,7    | 9,40<br>18,8 x 1<br>474,7    | 9,40<br>19,4 x 1<br>484,5    | 9,40<br>19,5 x 1<br>482,0    | 9,38 ± 0,1<br>480,0 ± 7,2   |
| Cu        |                              |                              |                              |                              |                              |                             |
| 42300.11  | 7,77<br>44 x 0,7<br>252,3    | 7,78<br>44 x 0,7<br>252,6    | 7,65<br>44 x 0,7<br>248,4    | 7,60<br>44 x 0,7<br>246,7    | 7,40<br>44 x 0,7<br>240,3    | 7,64 ± 0,1<br>248,1 ± 4,5   |
| Fe        |                              |                              |                              |                              |                              |                             |
| 11320,2   | 7,68<br>20,4 x 1<br>376,5    | 6,53<br>19,4 x 1<br>336,5    | 7,45<br>18,4 x 1<br>384,0    | 6,30<br>16,4 x 1<br>384,1    | 7,15<br>19,0 x 1<br>376,3    | 7,00 ± 0,5<br>371,5 ± 17,8  |
| Fe        |                              |                              |                              |                              |                              |                             |
| 11343.10  | 10,45<br>19,8 x 1,5<br>351,8 | 11,85<br>20,0 x 1,5<br>395,0 | 11,20<br>19,4 x 1,5<br>384,9 | 10,40<br>19,8 x 1,5<br>350,2 | 11,75<br>19,4 x 1,5<br>403,2 | 11,13 ± 0,6<br>377,1 ± 22,2 |

Stanovení střižného odporu jsme provedli technologickou zkouškou střihem, střižníkem o průměru 10,10 mm a se střižnicí o průměru 10,30 mm. Zkouška probíhala na trhacím stroji FPZ 100 R, v uspořádání pro zkoušku tlakem ve zkušebním střižném přípravku, který tvoří základ nově navrženého nástroje pro další měření střižné síly / pozice 2,6,7,8 přílohy 1/. Zatěžování bylo opět provedeno pro rychlost 10 mm/min.

Střižný odpor jsme vypočetli ze vztahu:

$$k_s = F_s \text{ max} / S_s \quad / \text{MPa} / \quad (21)$$

kde  $F_s \text{ max}$  - maximální síla při střihu / N/  
 $S_s$  - plocha střihu /mm<sup>2</sup>/

Naměřené hodnoty  $F_s$  a vypočtené hodnoty  $k_s$  jsou v tabulce 8. Zkouška u jednoho materiálu probíhala opět na osmi vzorcích, z nichž pět bylo vybráno pro hodnocení.

Tab. 8 Naměřené hodnoty střižní síly  $F_s$ /kN/ a výsledné hodnoty střižné pevnosti  $k_s$ /MPa/

| Měření č.      |             | 1      | 2     | 3           | 4     | 5     | Ø     |
|----------------|-------------|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| Ms<br>423213   | $F_s$ /kN/  | 9,7    | 9,5   | 9,5         | 9,55  | 9,60  | 9,57  |
|                | tl/mm/      | 1,00   | 1,01  | 0,99        | 1,01  | 1,00  | 1,002 |
|                | $k_s$ /MPa/ | 305,7  | 296,4 | 302,4       | 299,0 | 302,5 | 301,0 |
| Cu<br>42300,11 | $F_s$ /kN/  | 4,12   | 3,90  | 4,01        | 4,05  | 4,00  | 4,02  |
|                | tl/mm/      | 0,71   | 0,75  | 0,72        | 0,73  | 0,72  | 0,726 |
|                | $k_s$ /MPa/ | 182,9  | 163,9 | 175,5       | 174,8 | 175,1 | 174,4 |
| Fe<br>11320.21 | $F_s$ /kN/  | 9,3    | 9,1   | 9,50        | 9,7   | 9,4   | 9,4   |
|                | tl/mm/      | 1,03   | 1,02  | 1,02        | 1,00  | 1,04  | 1,02  |
|                | $k_s$ /MPa/ | 284,5  | 281,2 | 293,5       | 305,7 | 284,8 | 289,9 |
| Fe<br>11343.10 | $F_s$ /kN/  | 13,9   | 13,6  | 13,7        | 13,9  | 13,6  | 13,74 |
|                | tl/mm/      | 1,51   | 1,49  | 1,51        | 1,50  | 1,49  | 1,5   |
|                | $k_s$ /MPa/ | 2290,1 | 287,6 | 285,9-292,0 |       | 287,7 | 288,7 |

Podle uváděných vztahů je střižný odpor dán vztahem :

$$k_s = /0,7 - 0,9/ \cdot R_m \quad /MPa/ \quad (22)$$

Z vypočtených hodnot střižných odporů a mezí pevností v tahu u vybraných materiálů je zřejmé, že přesnější výpočet střižného odporu z meze pevnosti v tahu dosáhneme při dosazení koeficientu 0,7.

## 7.2. Návrh měřících zařízení pro zjišťování vlivu rychlosti nástroje na tvářecí sílu při stříhání

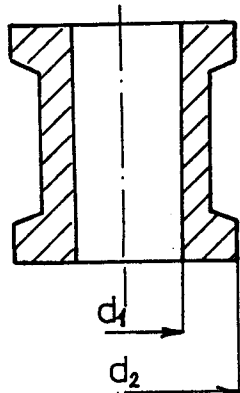
K měření vlivu rychlosti stříhání na střižnou sílu jsme přistoupili proto, že závěry z této problematiky nejsou dostatečně zřejmé.

Při návrhu měřících zařízení jsem vycházel z vybavení pracovišť VŠST. Vzhledem k možnostem těchto pracovišť jsme nemohli přistoupit k přímému měření síla-zdvih na tvářecím stroji, a tak jsme přistoupili k nepřímé metodě, tedy s ohledem na typ použitého tvářecího stroje. Pro naše účely jsme potřebovali tvářecí stroj s širokým rozsahem volby počtu zdvihů. Jelikož tento stroj nebyl k dispozici, použili jsme dva stroje s velkým rozdílem rychlostí nástroje. Velikost střižné síly byla měřena na tvářecím stroji LEN 40 / $v \approx 0,1$  m/s /, který je na pracovišti katedry k dispozici, a další ověřovací měření bylo provedeno na trhacím stroji FPZ 100 R, v rozsahu nízkých rychlostí / $v \approx 10^{-5}$  m/s /.

Jak již bylo uvedeno v předcházející části, pro snímání síly je použit tenzometrický snímač s napájením ze statickodynamické tenzometrické aparatury TDA 3. Další potřebné přístrojové vybavení tj. smyčkový oscilograf se zapisovačem a předzesilovač bylo skompletováno s pomocí katedry obrábění. Schéma zapojení měřící aparatury je zřejmé z obr. 31. Siloměrné čidlo-dynamometr bylo navrženo a vyrobeno na KPT. Jedná se o snímač typu cívky



s válcovou částí, na které jsou nalepeny čtyři tenzometrické snímače z toho dva napříč a dva podél po 90°. Snímače jsou dále zapojeny do můstku. Pro měření byl použit snímač již zkoušený na KPT a válcová část byla kontrolována dle výpočtu:



pro naše měření

$$F_{smax} = 40 \text{ kN}$$

$$\sigma_{dov} \leq 200 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dov} \leq \frac{F_{smax}}{S} \quad \text{pak } S \geq \frac{F_{smax}}{\sigma_{dov}} = 200 \text{ mm}^2$$

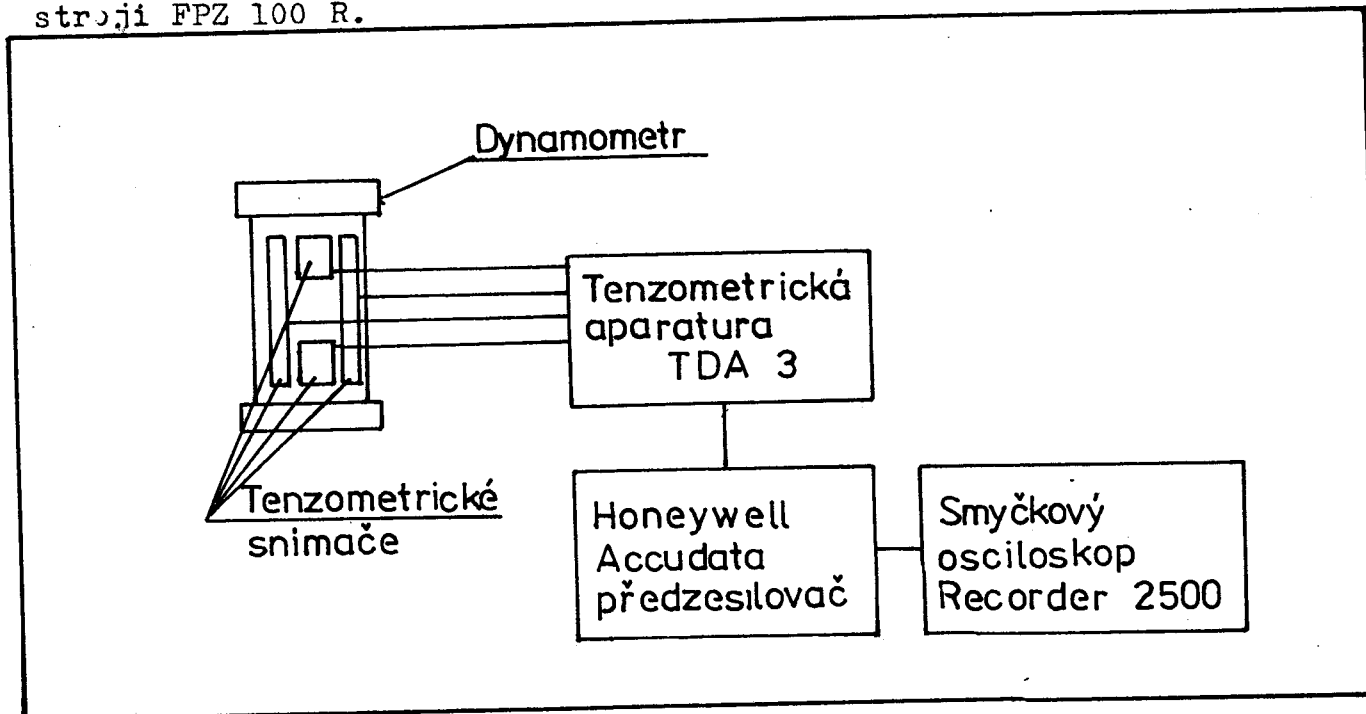
pro náš snímač, kde  $d_1 = 24 \text{ mm}$   
 $d_2 = 36 \text{ mm}$

$$\text{je } S = 565 \text{ mm}^2$$

Z toho je zřejmé, že válcová část je dostatečně dimenzovaná.

Nástroj pro měření střižné síly byl vyroben dle přílohy 1. v diplomové práci. V návrhu jsme brali v úvahu možnosti výroby na pracovištích VŠST a přiblížení se provozním podmínkám. Snímač-dynamometr byl umístěn ve střižném nástroji do upínací hlavy a jeho příruba dosedá přes zatěžovací podložku na střižník. Střižník má průměr 10,10 mm a střižnice 10,30 mm tj. střižný obvod je 31,73 mm, kruhový průřez křivky stříhu vylučuje anizotropii mechanických vlastností. V konstrukci nástroje je zachován válcový přidržovač, který plní současně funkci stírače. Upnutí na stůl je provedeno přes základovou desku, která byla pro tento účel vyrobena. Je pevně spojena s tělesem nástroje a tím blokuje posuv střižnice. Střižný nástroj byl vyroben na KPT, brousící operace byly zajišťovány s VD VŠST. Těleso nástroje a válcový přidržovač nejsou tepelně zpracovány. Na obr. 32 vidíme upínací hlavu nástroje. Na dalším obrázku 33 vidíme pohled na střižnici nástroje.

Při zatížení siloměru vzniká na výstupu napětí, které je funkcí síly. Pro záznam tohoto napětí byl vybrán smyčkový oscilograf Ultra Violet /Recorder 2500/ s oscilografickým papírem UF /SSSR/. Smyčkový oscilograf pracoval s předzesilovačem Honeywell-Accudata. Měření dynamometru bylo provedeno na trhacím stroji FPZ 100 R.



Obr. 31 Schéma blokového zapojení měřicí aparatury

Shrneme-li výše uvedený postup návrhu, jsou pro naše měření s ohledem na vybavení pracovišť VŠST vhodné tyto zařízení a potřeby:

- trhací stroj FPZ 100 R
- lis LEN 40
- modelový střižný nástroj podle přílohy 1.
- dynamometr s aparaturou TDA 3
- pásy plechů zhouzených materiálů

- smyčkový oscilograf Ultra Violet /Rekorder 2500/
- oscilografický papír UF /SSSR/
- předzesilovač Honeywell-Acudata

### 7.3. Zkušební měření vlivu rychlosti nástroje na hodnotu střižné síly na modelovém nástroji

Zkoušky na lisu LEN 40 i na trhacím stroji byly prováděny jednotlivými zdvihy. Na trhacím stroji nebyl pořizován záznam síla-dráha, ale byla zaznamenána jen maximální hodnota tvářecí síly z měřicího zařízení trhačky. Trhací stroj byl uspořádán pro zkoušku tlakem. Výsledky zkoušek z trhacího stroje uvádí tabulka 9 pro materiály Ms 423213, Cu 42300.11, Fe 11320.21, Fe 11343.10, Fe 12071.6 pro rozsah rychlostí trhacího stroje.

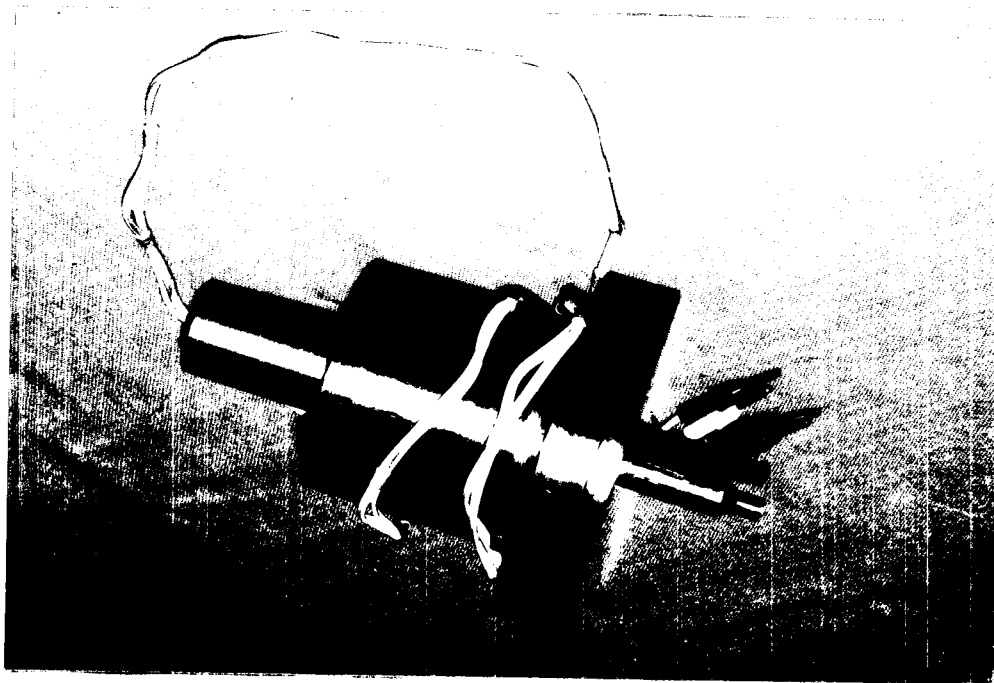
Výsledky měření střižné síly na lisu ukazuje tabulka 10 pro stejné druhy materiálu, ale rychlost mnohonásobně vyšší než na trhacím stroji. Síla byla snímána výše uvedeným postupem tenzometrického měření a zaznamenána na oscilografický papír. V rozsahu měřených sil bylo výstupní napětí lineární, tzn., že záznam síly byl proveden přímo v měřítku v porovnání s céjchovní křivkou. Z výsledků měření je zřejmé, že celková síla pro stříh je vždy větší na lisu než celková síla pro stříh naměřená na trhačce. To dokumentuje vliv zvýšené rychlosti nástroje na lisu oproti rychlosti tváření na trhačce na střižnou sílu. Záznam průběhu střižných sil na lisu je zaznamenán na obr. 34. Na obr. 35 vidíme upnutý střižný nástroj na lisu LEN 40. Kmitání v počátku záznamu střižných sil je způsobeno při dosažení střižníku na stříhaný materiál a je zapříčiněno částečně nepříliš tuhým upnutím dosedu paty střižníku a částečně vymezením vůlí v mechanismu lisu.

Tab. 9 Statistické hodnocení výsledné sřížné síly  $F_s$   
na trhacím stroji FPZ 100 R ve sřížném přípravku

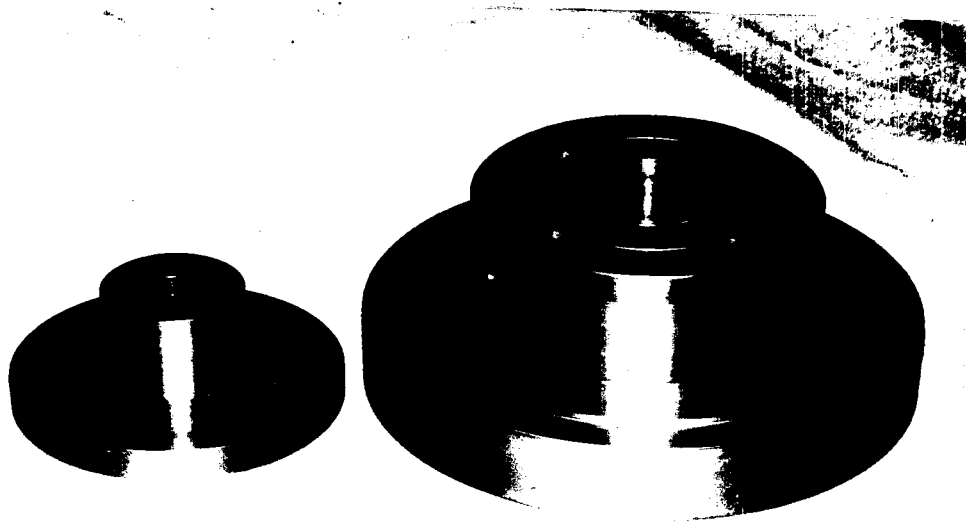
| Měření<br>č.                             | $F_s$ /kN/ pro materiály : |                       |                    |                      |                      |
|--|----------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|  | 423213<br>Ms55x1           | 423001.11<br>Cu44x0,7 | 11320.21<br>Fe56x1 | 11343.10<br>Fe56x1,5 | 12071.6<br>Fe25x0,32 |
| pro rychlost nástroje $r_n = 1$ mm/min.  |                            |                       |                    |                      |                      |
| 1  | 9,50                       | 4,00                  | 9,30               | 13,90                | 8,70                 |
| 2  | 9,40                       | 4,05                  | 9,40               | 13,75                | 8,60                 |
| 3  | 9,60                       | 3,85                  | 9,40               | 13,80                | 8,60                 |
| 4  | 9,40                       | 3,80                  | 9,37               | 13,80                | 8,67                 |
| 5  | 9,30                       | 3,90                  | 9,42               | 13,84                | 8,70                 |
| ∅  | 9,44                       | 3,92                  | 9,38               | 13,82                | 8,65                 |
| pro rychlost nástroje $r_n = 10$ mm/min. |                            |                       |                    |                      |                      |
| 1  | 9,70                       | 4,12                  | 9,30               | 13,90                | 8,82                 |
| 2  | 9,50                       | 3,90                  | 9,10               | 13,60                | 8,75                 |
| 3  | 9,50                       | 4,01                  | 9,50               | 13,70                | 8,75                 |
| 4  | 9,55                       | 4,05                  | 9,70               | 13,90                | 8,80                 |
| 5  | 9,60                       | 4,00                  | 9,40               | 13,60                | 8,87                 |
| ∅  | 9,57                       | 4,01                  | 9,40               | 13,74                | 8,80                 |
| pro rychlost nástroje $r_n = 20$ mm/min. |                            |                       |                    |                      |                      |
| 1  | 9,80                       | 4,35                  | 10,00              | 14,42                | 8,92                 |
| 2  | 9,87                       | 4,20                  | 10,05              | 14,30                | 8,97                 |
| 3  | 9,82                       | 4,30                  | 10,10              | 14,20                | 8,75                 |
| 4  | 9,75                       | 4,10                  | 10,00              | 14,35                | 8,85                 |
| 5  | 9,80                       | 4,17                  | 10,20              | 14,30                | 8,85                 |
| ∅  | 9,81                       | 4,22                  | 10,07              | 14,31                | 8,87                 |
| pro rychlost nástroje $r_n = 40$ mm/min. |                            |                       |                    |                      |                      |
| 1  | 9,68                       | 4,25                  | 10,01              | 14,71                | 8,95                 |
| 2  | 9,75                       | 4,40                  | 10,80              | 14,80                | 8,97                 |
| 3  | 9,90                       | 4,30                  | 10,70              | 14,90                | 8,90                 |
| 4  | 9,80                       | 4,27                  | 10,40              | 14,70                | 8,80                 |
| 5  | 9,75                       | 4,35                  | 10,60              | 14,85                | 8,75                 |
| ∅  | 9,77                       | 4,31                  | 10,50              | 14,69                | 8,87                 |

Tab. 10 Statistické hodnocení výsledné střižné síly  $F_s$   
na výstředníkovém lisu LEN 40

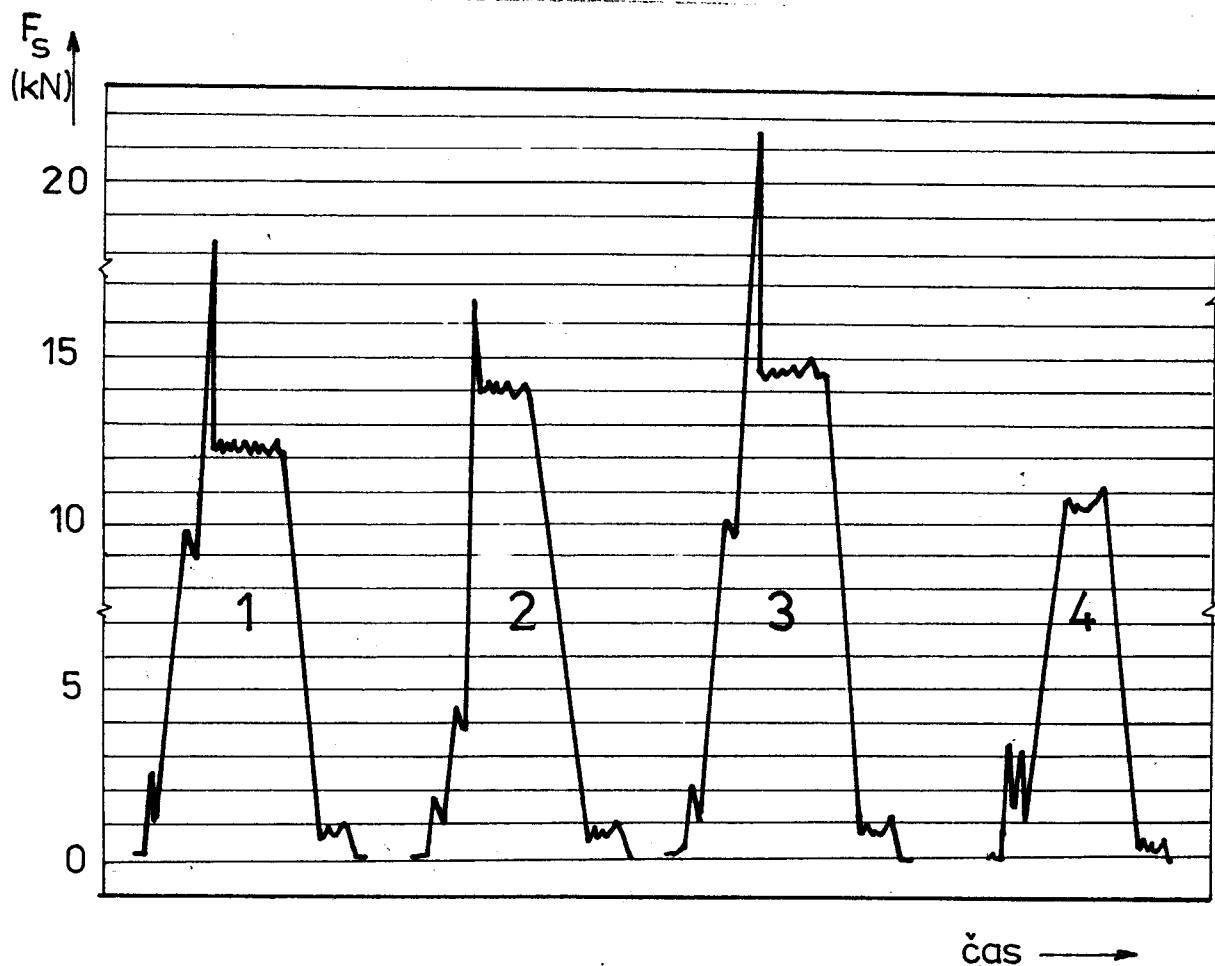
| Měření<br>č. | $F_s$ /kN/ pro materiály : |                       |                    |                      |                      |
|--------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|              | 423213<br>Ms55x1           | 423001.11<br>Cu44x0,7 | 11320.21<br>Fe56x1 | 11343.10<br>Fe56x1,5 | 12071.6<br>Fe25x0,32 |
| 1            | 18,0                       | 16,5                  | 21,6               | 31,2                 | 11,1                 |
| 2            | 18,1                       | 16,1                  | 21,0               | 32,0                 | 11,5                 |
| 3            | 18,0                       | 17,0                  | 21,1               | 32,0                 | 10,8                 |
| 4            | 18,1                       | 17,0                  | 21,1               | 31,8                 | 10,7                 |
| / 5 /z       | 18,1                       | 16,5                  | 21,5               | 31,2                 | 11,0                 |
| 6            | 18,3                       | 16,2                  | 21,9               | 31,0                 | 11,1                 |
| 7            | 17,8                       | 16,8                  | 21,7               | 31,3                 | 10,9                 |
| 8            | 18,2                       | 17,1                  | 21,5               | 31,0                 | 11,0                 |
| 9            | 17,9                       | 16,4                  | 21,6               | 31,2                 | 11,0                 |
| 10           | 18,0                       | 16,3                  | 21,5               | 31,2                 | 10,9                 |
| Průměr       | 18,05                      | 16,59                 | 21,45              | 31,40                | 10,97                |
| Odchylka     | $\pm 0,14$                 | $\pm 0,34$            | $\pm 0,28$         | $\pm 0,37$           | $\pm 0,25$           |



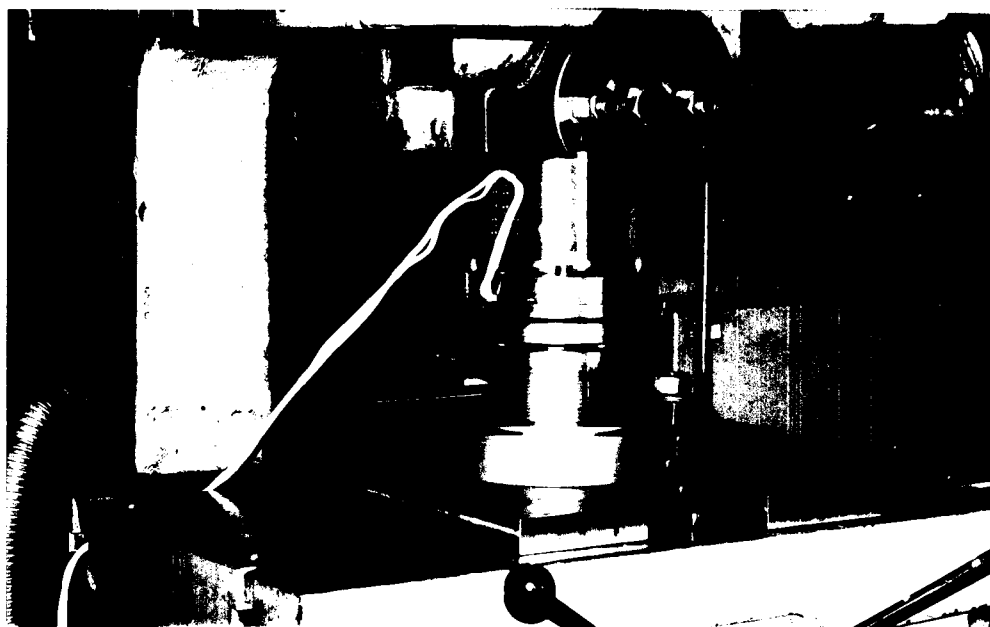
Obr. 32 Pohled na upínací hlavu nástroje



Obr. 33 Pohled na střižnici nástroje



Obr. 34 Záznam typických průběhů střižných sil pro materiály:  
 1-Ms 423213, 2-Cu 423001.11, 3-Fe 11320.21, 4-Fe 12071.6,  
 pro časovou osu platí  $1 \text{ mm} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ sec.}$



Obr. 35 Pohled do pracovního prostoru lisu LEN 40 na upnutý nástroj

#### 7.4. Výpočet rychlosti beranu lisu LEN 40 v okamžiku stříhu

Na obr. 36 vidíme mechanismus použitého tvářecího stroje LEN 40. Jedná se o výstředníkový lis. Z geometrických poměrů podle obrázku dostaneme zdvihovou funkci ve tvaru:

$$h = r \cdot (1 - \cos \psi) + l \cdot (1 - \cos \beta) \quad (23)$$

víme, že  $\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}$ ,  $\sin^2 \beta = \left(\frac{r}{l}\right)^2 \cdot \sin^2 \psi$   
 $\sin \beta = \frac{r}{l}$ ,  $\sin \psi = \frac{l}{x}$   $\lambda = \frac{r}{l}$

pak 
$$h = r \cdot \left[ (1 - \cos \psi) + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin^2 \psi \right] \quad (24)$$

rychlost beranu dostaneme derivováním zdvihové funkce 24 a dostaneme

$$v = r \cdot \omega \cdot (\sin \psi + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin 2\psi) \quad (25)$$

a zrychlení

$$a = r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \psi + \lambda \cdot \cos 2\psi) \quad (26)$$

pro náš případ: zdvih=30 mm, r=15 mm

přeběh=4mm, h pro začátek stříhu = 5,5 mm pro  
 plech tloušťky 1,5 mm

pro  $\lambda \rightarrow 0$ , což je i náš případ, lze použít pro rychlost beranu v závislosti na zdvihu rovnici ve tvaru:

$$v = h \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{r}{h} - 1} \quad (27)$$

Z rovnice 27 vypočteme pro náš případ rychlost beranu při dosednutí střížníku na materiál tloušťky 1 mm.

$$v_1 = 5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 65 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{15}{5} - 1} = 4566 \text{ mm/min.}$$

a rychlost těsně při přestřihnutí:

$$v_2 = 4 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 65 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{15}{4} - 1} = 4164 \text{ mm/min.}$$

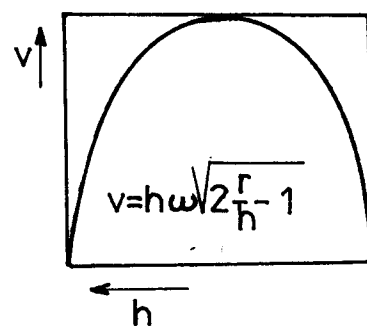
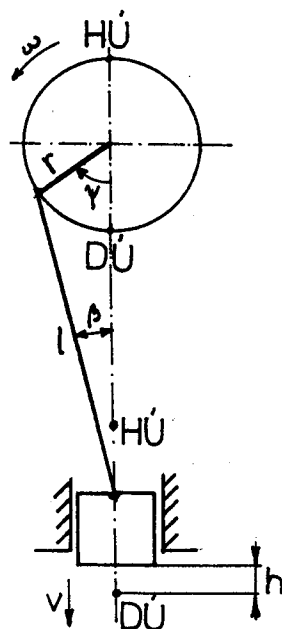


vzhledem k tomu, že se jedná o tenké plechy lze střední rychlost stříhání vypočítat :

$$v_{\text{stř}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = 4365 \text{ mm/min.}$$

Na obrázku 37 vidíme závislost rychlosti beranu na zdvihu u výstředníkového lisu.

V porovnání s nejvyšší rychlostí stříhání na trhacím stroji vidíme, že střední rychlost nástroje u lisu LEN 40 je 109 krát vyšší.



Obr. 37 Závislost rychlosti beranu na zdvihu u výstředníkového lisu

Obr. 36 Mechanismus tvářecího lisu LEN 40

### 7.5. Výsledky z této problematiky získané z experimentálních měření na VŠT v Košicích

V experimentální práci na VŠT prováděli měření závislosti vlivu rychlosti nástroje na střižný odpor. Byl použit střižný nástroj s velmi přesným kuličkovým vedením, u kterého byla zaručena rovnoměrná střižná mezera-vůle po obvodě stříhu. Snímání síly bylo provedeno také pomocí dynamometru tenzometrickým měřením. Záznam síly byl registrován smyčkovým oscilografem 8 LS-1. Jako stroj byla použita drážkovačka NK 8 s širokým rozsahem volby počtu zdvihů až do 1300 1/min.. Síla naměřená na drážkovačce byla porovnávána se silou odečtenou na trhacím stroji pro malé rychlosti stříhání.

Z uvedeného popisu je zřejmé, že metodický přístup řešení daného úkolu byl velmi podobný, zejména pro hodnocení velikostí střižných odporů při malých rychlostech /použit trhací stroj/. Při porovnání materiálů 11 321,  $s=0,83$  mm a  $l_s=50$  mm s naším materiálem 11 320.21,  $l_s=31,73$  mm,  $s=1$  mm nebyly zjištěny výraznější rozdíly. Výraznější rozdíly byly zjištěny při porovnání zkoušek uvedených materiálů při vyšších rychlostech. Podle mého názoru jsou rozdíly dány zejména:

- zřejmě rozdílnými technologickými podmínkami tj. mazání, seřízení
- rozdílnou konstrukcí nástroje tj. vliv rovnoměrné vůle
- použitím rozdílného stroje

Toto upozornění uvádím proto, že chci zdůraznit, že velikost střižných odporů, s ohledem na rychlost stříhání, bude vždy vycházet z konkrétních provozních podmínek každého podniku a je dána kromě materiálu strojem a nástrojem. Výsledky nemají proto obecnou platnost, ale jsou použitelné jen v našich konkrétních podmínkách.

## 8. Závěr

Předkládaná práce pojednává o návrhu měřicího zařízení pro měření střižné síly v závislosti na rychlosti stříhání a o experimentálním měření této závislosti u materiálů Ms 423213, Cu 423001.11, Fe 11343.10, Fe 11320.21 a Fe 12071.6.

Z návrhu a experimentálně naměřených výsledků vyplývá :

- pro naše podmínky je vyhovující měření střižné síly pomocí dynamometru a tenzometrické aparatury TDA 3
- vzhledem k možnostem vybavení pracovišť VŠST je postačující pro naše účely měření závislosti střižné síly na čase
- hodnoty střižných odporů a mezí pevností, zjištěné u vybraných materiálů, ukazují na to, že výpočet střižné pevnosti přepočtem meze pevnosti v tahu je pro naše podmínky při použití koeficientu 0,7 přesnější
- dále je zřejmé, že při výpočtu střižné síly ze střižné pevnosti je pro nízké rychlosti přesnější volit koeficient 1,1
- z experimentálního měření vyplývá, že se zvyšováním rychlosti stříhání střižný odpor /síla/ roste
- z naměřených hodnot vyplývá, že střižná síla při stříhu na lisu LEN 40 tj. při rychlosti 110 krát vyšší než na trhacím stroji vzrostla až na dvojnásobek, a že tato hodnota je jiná pro různé materiály. To je v částečném rozporu s měřeními prováděnými na VŠT v Košicích. Nejsou nám však přesně známy podmínky při provádění zkoušek, ale z práce vyplývá, že výsledky jsou závislé na podmínkách stříhání tj. na stroji, nástroji a technologických faktorech. Měření na VŠT v Košicích nebylo prováděno pro náš rozsah rychlostí, nejsou známy technologické podmínky. Pro optimální posouzení této problematiky bych doporučil další měření.

- dále z práce vyplývá, že u plastičtějších materiálů s malou pevností ve stříhu, které mají vysokou tažnost a malou tvrdost, dochází k většímu zvýšení střižného odporu při zvyšování rychlosti stříhání než u materiálů, které mají větší pevnost ve stříhu a malou tažnost.
- na základě výsledků této práce je zřejmé, že zvýšení střižného odporu při vyšších rychlostech stříhání nelze při pevnostním výpočtu střižných nástrojů a výpočtu výkonů strojů zanedbat.

Podle zkušeností pro další měření navrhuji:

- volit co nejmenší nutný zdvih pro založení materiálu / menší kmitání, lepší vycentrování střižníku a střižnice, dodržení rovnoměrné střižné vůle/
- do trhacího stroje umístit celý střižný nástroj a střižnou sílu měřit pomocí dynamometru
- pevné upnutí paty střižníku /menší kmitání/
- důkladné vycentrování střižníku a střižnice
- co nejmenší nutný přeběh /menší opotřebení střižníku/
- menší tuhost a větší citlivost měřícího válečku dynamometru
- ocejchování dynamometru při rázové síle.


Náročnou částí při realizaci experimentu byla příprava a zajištění potřebných zkušebních zařízení a měřící techniky.

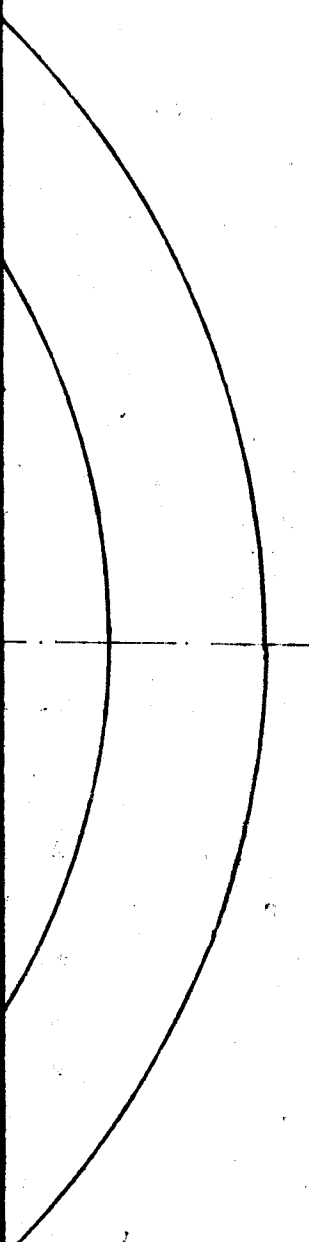
Na závěr bych chtěl poděkovat za pomoc a spolupráci při řešení této problematiky Ing. M.Šafaříkovi.

## 9. Použitá literatura

- /1/ Kolektiv : Lisování. SNTL, Praha 1978
- /2/ Novotný J.-Langer Z. : Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. SNTL, Praha 1980
- /3/ Lachvác J. : Závislost střižného odporu na rychlosti stříhání a na relativní střižné vůli při vystříhování rotorových a statorových plechů pro elektrické stroje točivé. Kandidátská disertační práce, VŠT Košice 1977
- /4/ Hála V. : Studium vlivu podmínek na stříhání plechů. Diplomová práce, Liberec 1987 - VŠST
- /5/ Bobčík L. : Střižné nástroje pro malosériovou výrobu. SNTL, Praha 1980
- /6/ Jakubcová H. : Měření mechanických veličin. Skripta, Praha 1972 - ČVUT
- /7/ Rudolf B.-Kopecký M. : Tvářecí stroje. SNTL, Praha 1979
- /8/ Hýsek R. : Tvářecí stroje. SNTL, Praha 1974
- /9/ Kuljaník S. : Porovnání závislosti střižného odporu na technologických parametrech střižného procesu plechů pro elektrotechniku z produkce VSŽ n.p. Košice. Technický zpravodaj VSŽ, Ocelové plechy. č.1-2, 1987, str.66-81
- /10/ Storochov R.V.-Popov J.A. : Teória tvárenia kovov. Alfa Bratislava, SNTL, Praha 1978
- /11/ Šafařík M.-Hornák M.-Jungwirt J. : Tvářecí odpory a programové vybavení pro jejich výpočet. Technická zpráva, Liberec 1989 - VŠST

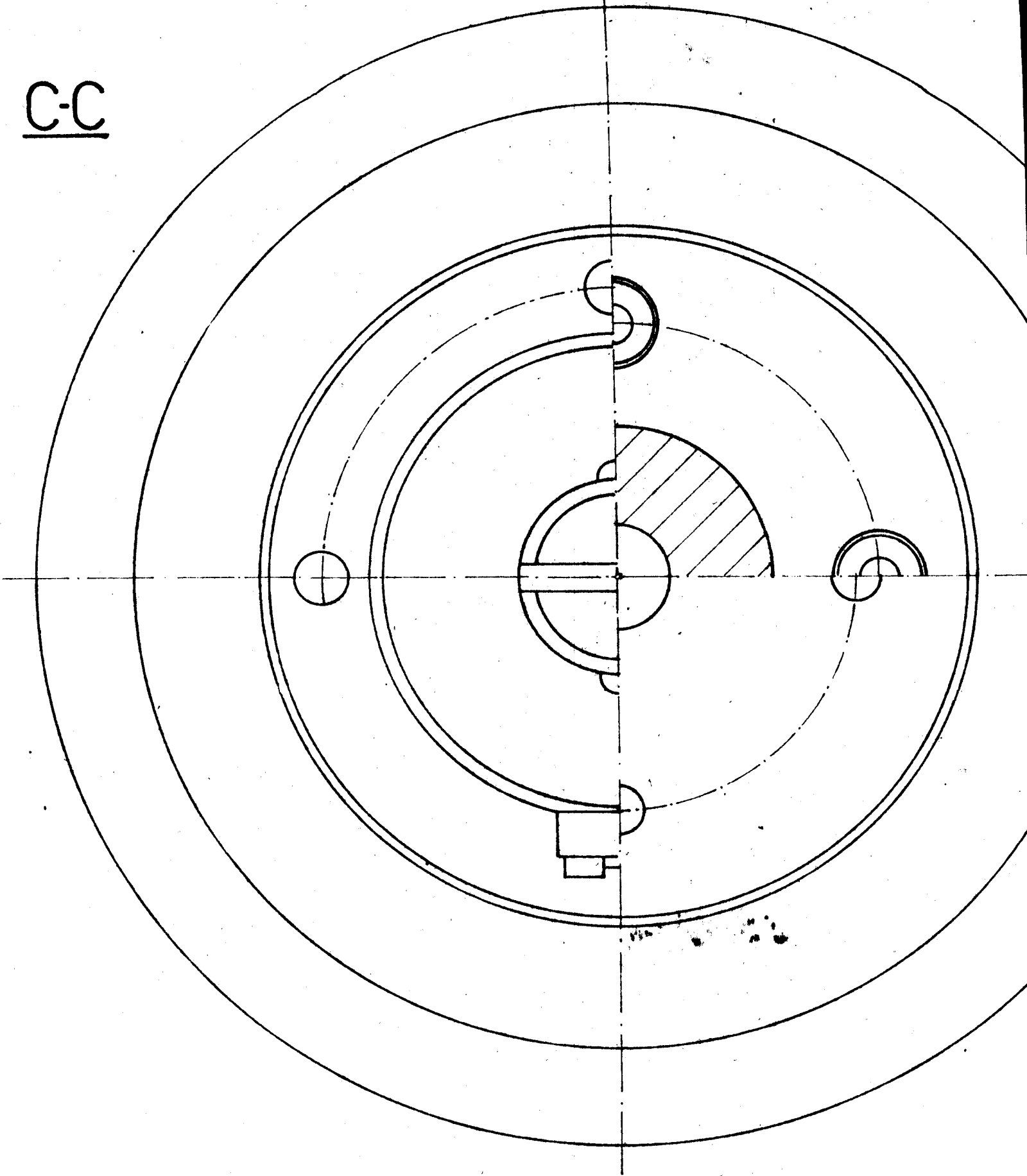
|     |                     |            |            |          |           |     |
|-----|---------------------|------------|------------|----------|-----------|-----|
|     |                     |            |            |          |           |     |
|     |                     |            |            |          |           |     |
|     |                     |            |            |          |           |     |
|     |                     |            |            |          |           |     |
|     |                     |            |            |          |           |     |
| 1   | Distanční podložka  | Ø 140x4    | Al424057.1 |          | DP FS-02  | 19  |
| 2   | Distanční podložka  | Ø 50x1     | Al424057.1 |          | DP FS-02  | 18  |
| 3   | Šroub M 4x15        |            |            |          |           | 17  |
| 1   | Elektrická svorka   |            |            |          |           | 16  |
| 4   | Šroub Ø8x40         | ČSN02-1143 |            |          |           | 15  |
| 4   | Polyuret. pružina   | Ø/20x16    | Polytan 25 |          | DP FS-02  | 14  |
| 4   | Polyuret. pružina   | Ø 20x22    | Polytan 25 |          | DP FS-02  | 13  |
| 4   | Šroub M8x40         | ČSN02-1143 |            |          |           | 12  |
| 1   | Stopka Ø40x99       | ČSN02-6264 | 11373      |          | DP FS-02  | 11  |
| 1   | Snímací váleček     | Ø 50x60    | 12050.4    | 50 HRC   | DP FS-02  | 10  |
| 2   | Zatěžovací podložka | Ø 50x11    | 11500      |          | DP FS-02  | 9   |
| 1   | Střižník            | Ø 18x82    | 19312.4    | 56 HRC   | DP FS-02  | 8   |
| 1   | Vodící deska        | Ø 60x50    | 11500      |          | DP FS-02  | 7   |
| 1   | Střižná vložka      | Ø 54x24    | 19312.4    | 60 HRC   | DP FS-02  | 6   |
| 1   | Upínací deska       | Ø 140x110  | 11500      |          | DP FS-02  | 5   |
| 1   | Kotevní deska       | Ø 140x18   | 11500      |          | DP FS-02  | 4   |
| 1   | Deska               | Ø 140x15   | 11500      |          | DP FS-02  | 3   |
| 1   | Deska střižnice     | Ø 145x60   | 11500      |          | DP FS-02  | 2   |
| 1   | Základová deska     | Ø 240x40   | 11500      |          | DP FS-02  | 1   |
| p.k | Název               | Rozměr     | Materiál   | Poznámka | Č.výkresu | přz |

|  |                |                     |                  |               |              |                       |       |  |
|--|----------------|---------------------|------------------|---------------|--------------|-----------------------|-------|--|
| Pos.   | Název součásti | Norma - č. modelu   | Kusů             | Materiál      | Hrubý rozměr | Pozn. - tepel. sprac. |       |  |
| Měřítko  | Č. snímku      | Kreálil: J. Vondrák | Norm. ref.       | Změna         | Podpis       | Datum                 | Index |  |
|  |                | Přeskoušel:         |                  |               |              |                       | a     |  |
|  |                | Schválil:           | Datum: 26.4.1991 |               |              |                       | b     |  |
|  |                | Typ:                |                  |               |              |                       | c     |  |
|  |                | Skupna:             |                  |               |              |                       | d     |  |
|  |                | Celok:              |                  | Starý výkres: | Nový výkres: |                       |       |  |
|  |                | KUSOVNÍK            |                  |               |              |                       |       |  |
| ŠROUBÁRNA TURNOV   |                |                     |                  |               |              |                       |       |  |



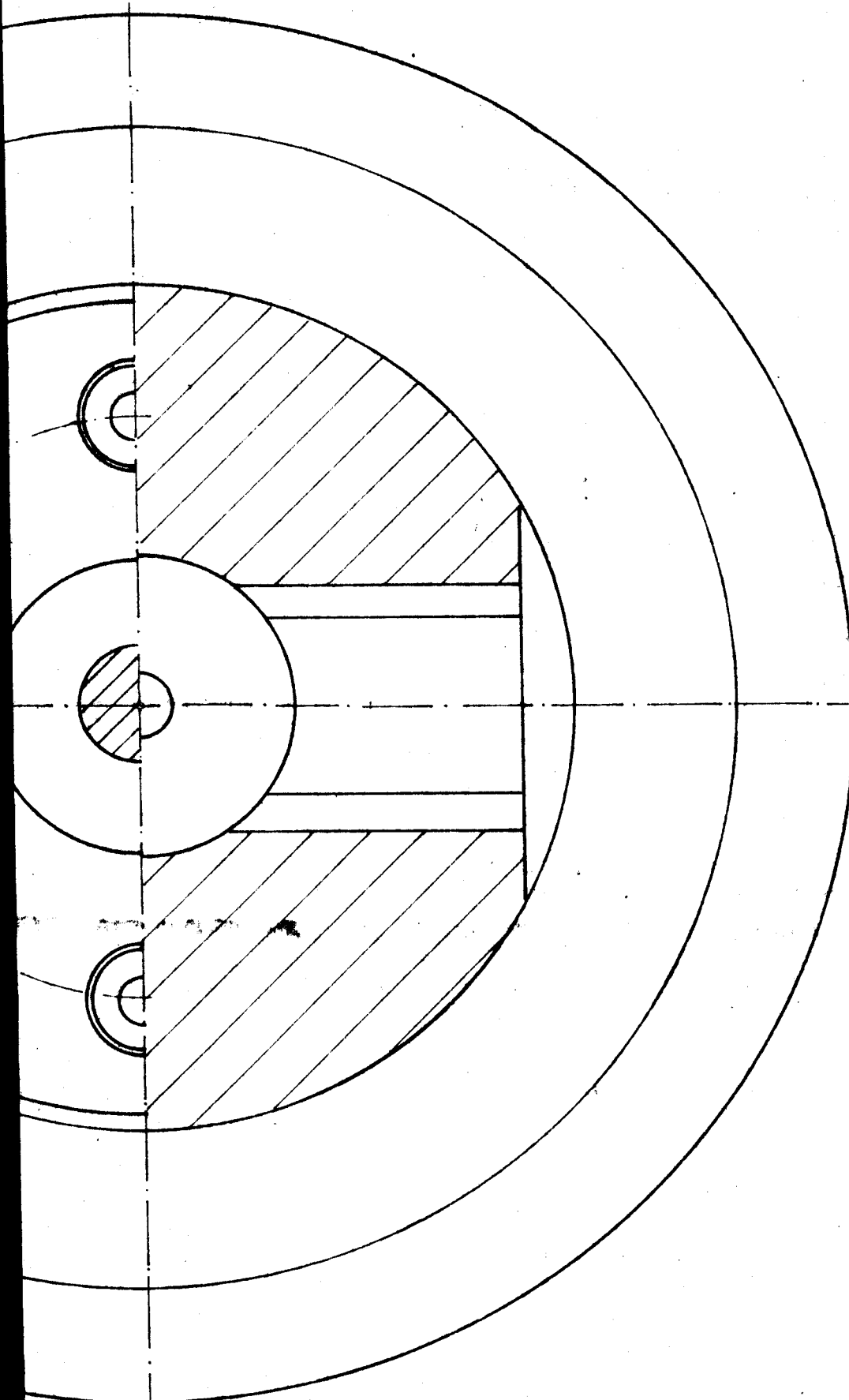
| Materiál  |          | Název           | Rozměr  | Materiál     | Priznámka          | Číslo výkresu | Prst      |
|---|----------|-----------------|---------|--------------|--------------------|---------------|-----------|
| Měřička<br>Měřička<br>Měřička<br>Měřička<br>Měřička | Datum    | 26.4.91         | Podpis  | Č. snímku    | Celková h. váha kg |               |           |
|   | Prosil   | J. VONDRÁK      |         | Č. transp.   | Změna              | Kontrola      | Priznámka |
|   | Poslední |                 |         |              |                    |               |           |
|   | Návrh    |                 |         |              |                    |               |           |
|   | Úprava   |                 |         |              |                    |               |           |
| Skupina   | Název    |                 | Skupina | Starý výkres | Nový výkres        |               |           |
| VŠST<br>LIBEREC                                     |          | STŘIŽNÝ NÁSTROJ |         | DP - FS-01   |                    | počet listů   | list      |

C-C





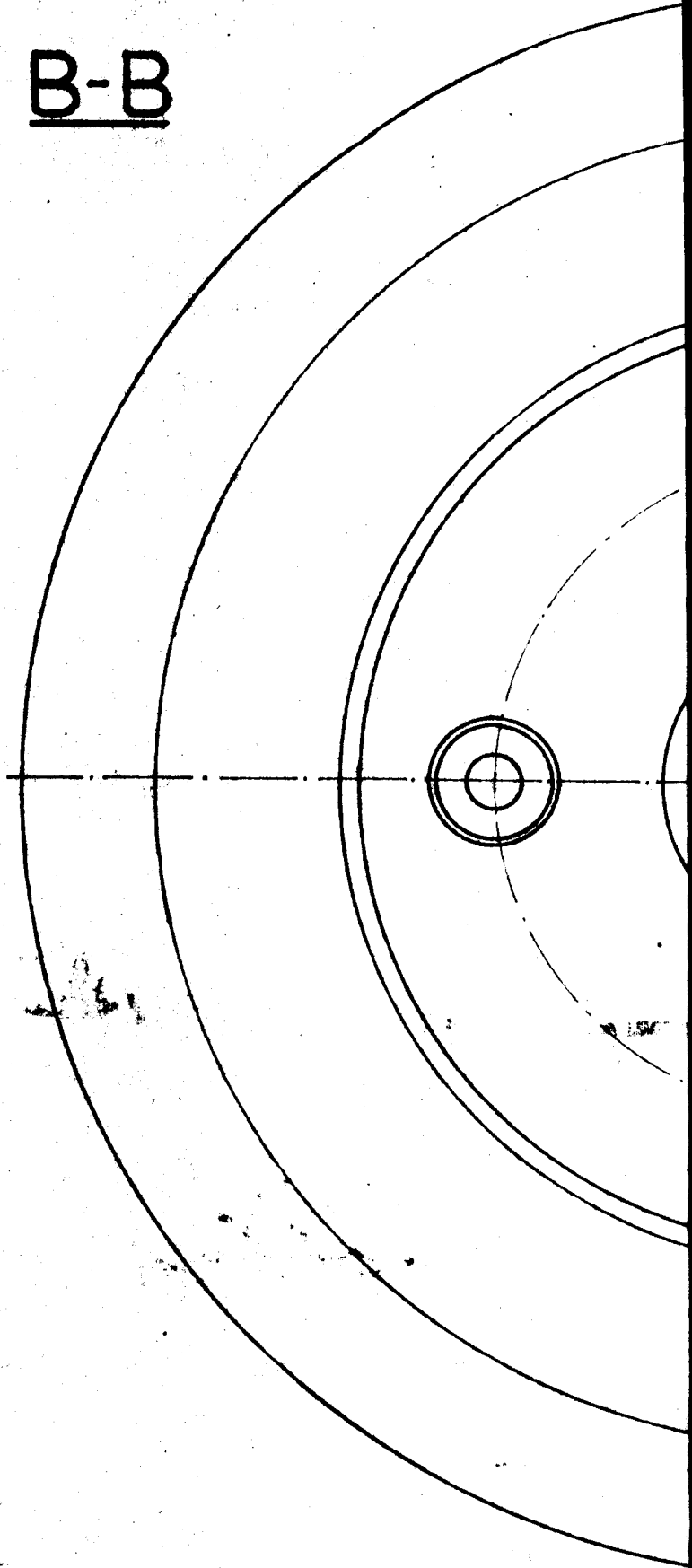
Φ240



A

A

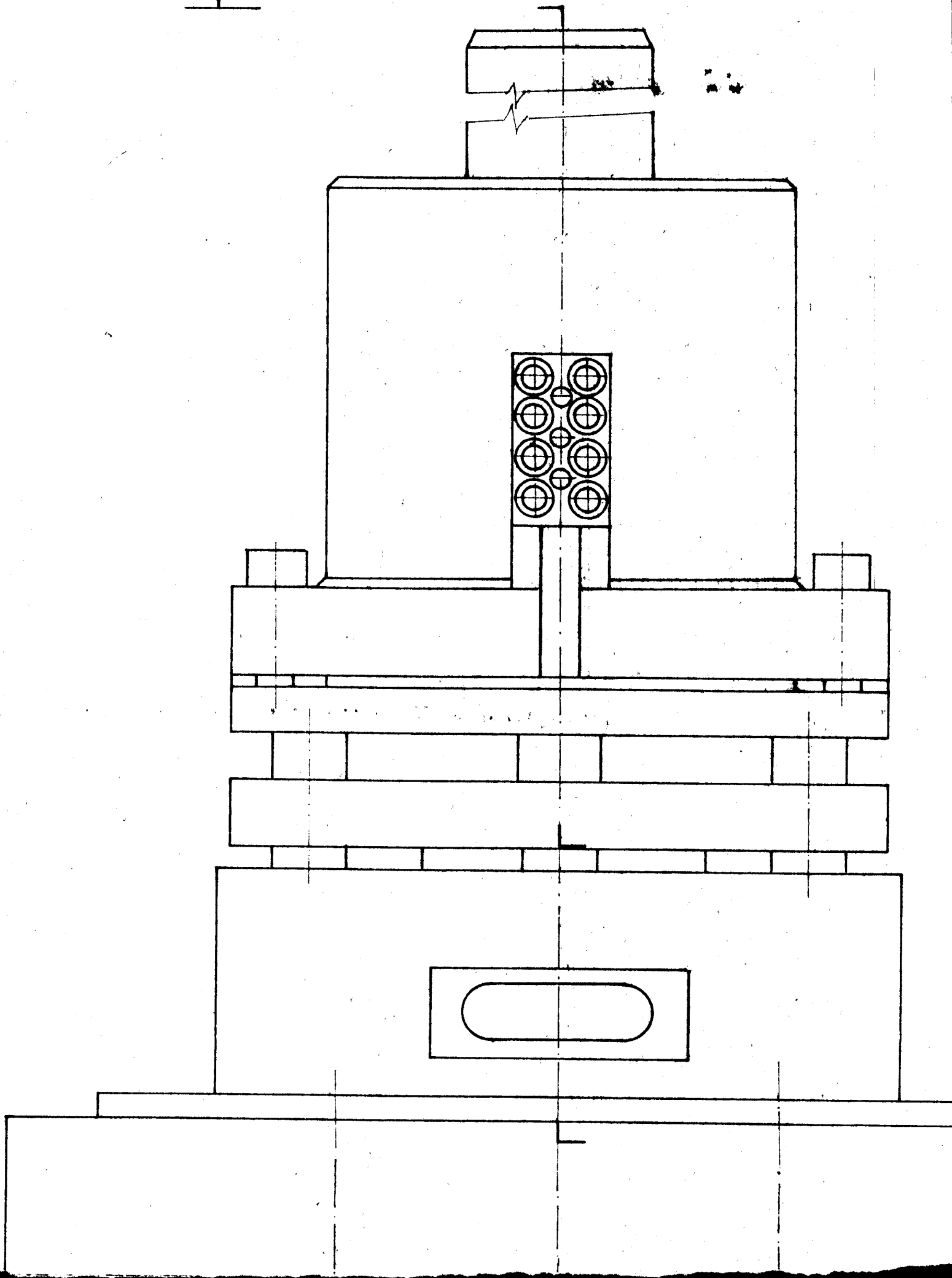
B-B

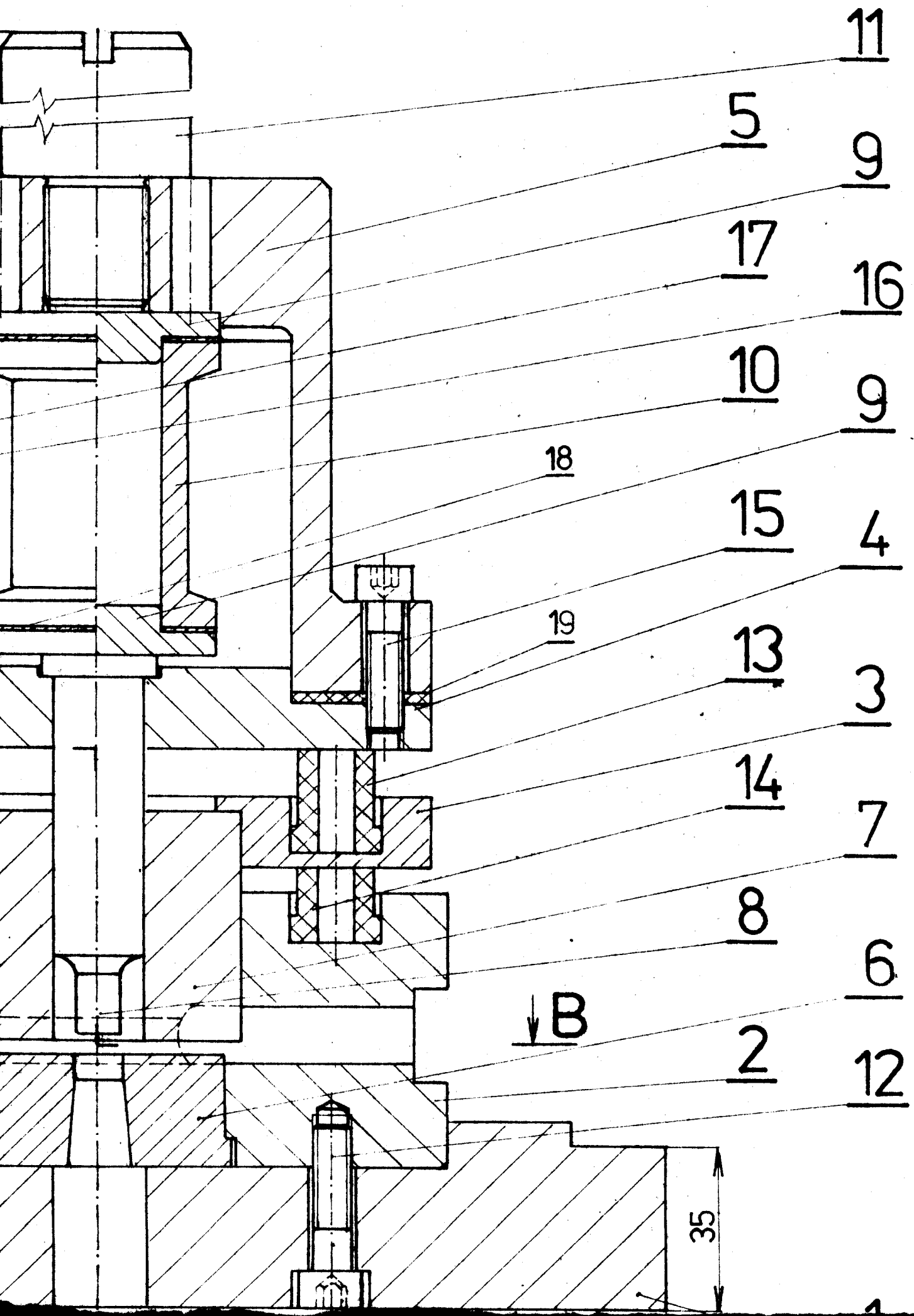


↓ C

↓ C

C





11

5

9

17

16

10

9

18

15

4

19

13

3

14

7

8

6

B

2

12

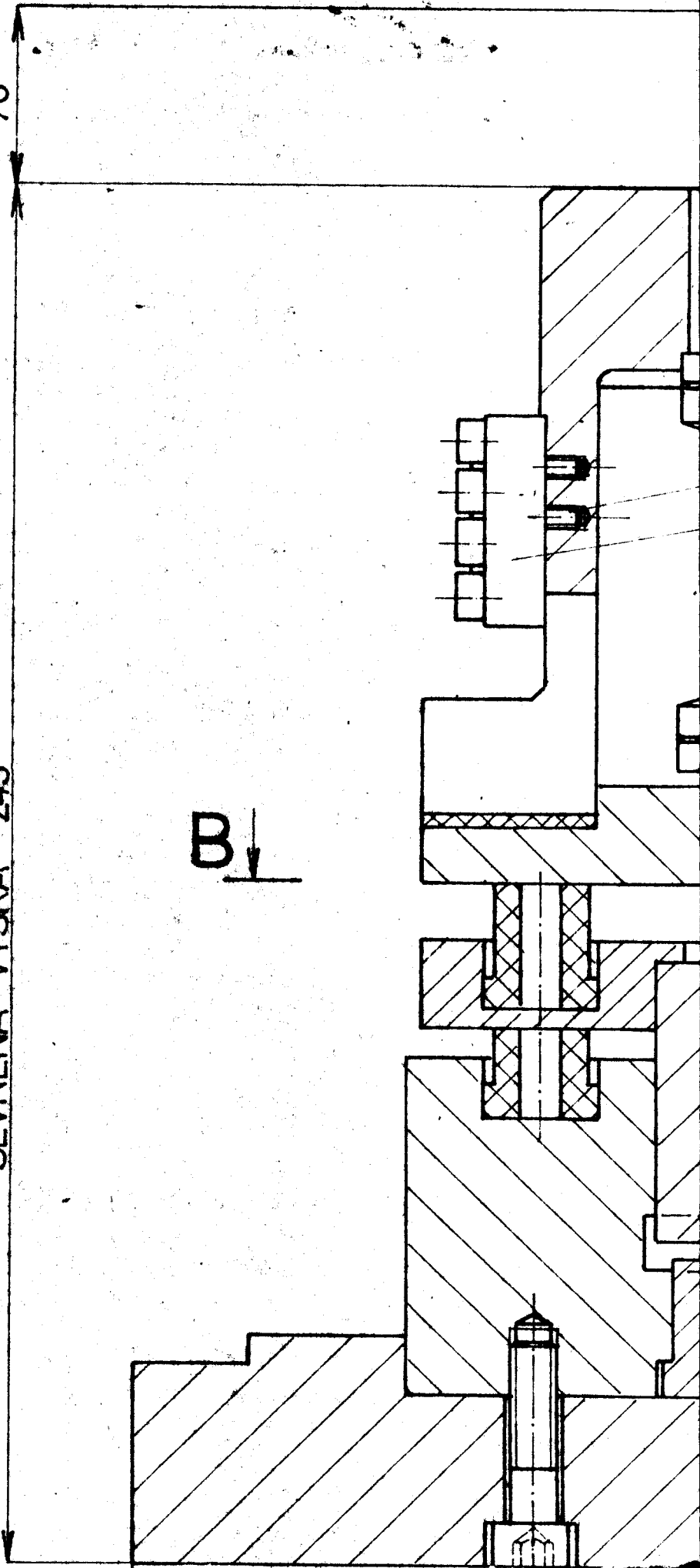
35

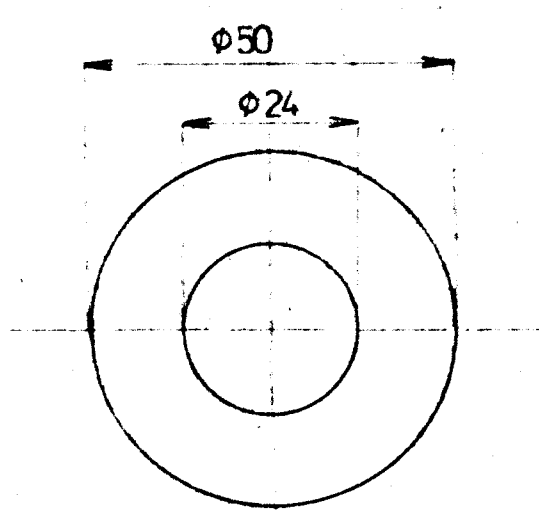
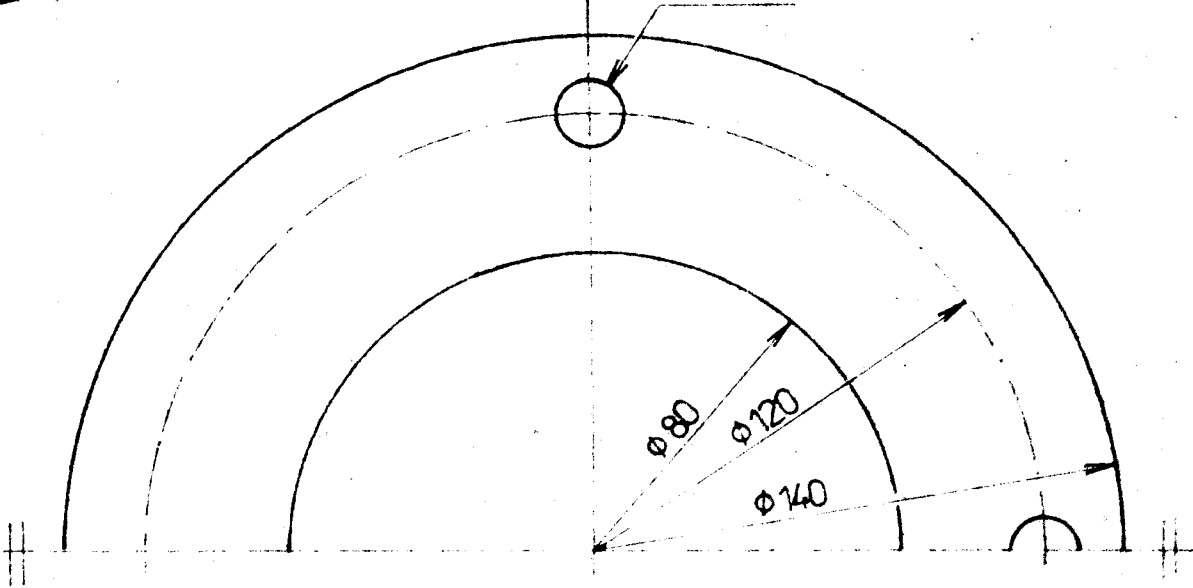
A-A

70

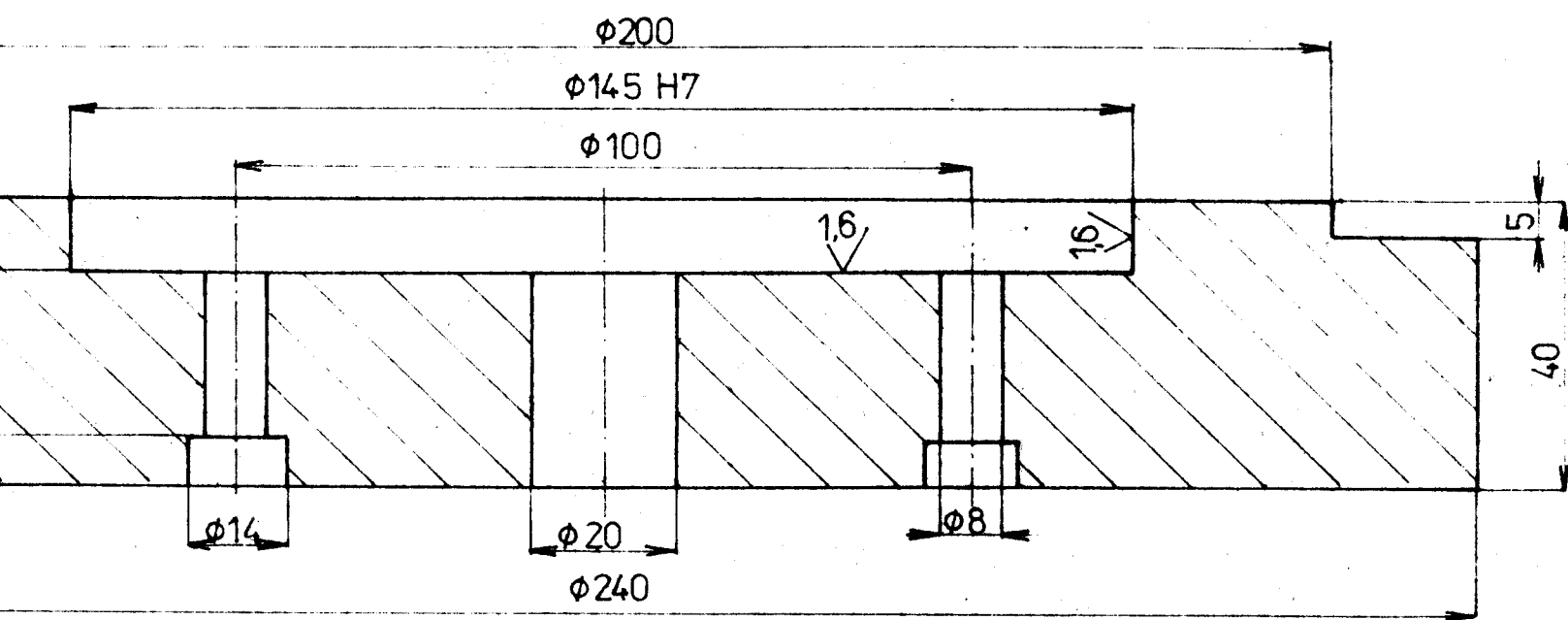
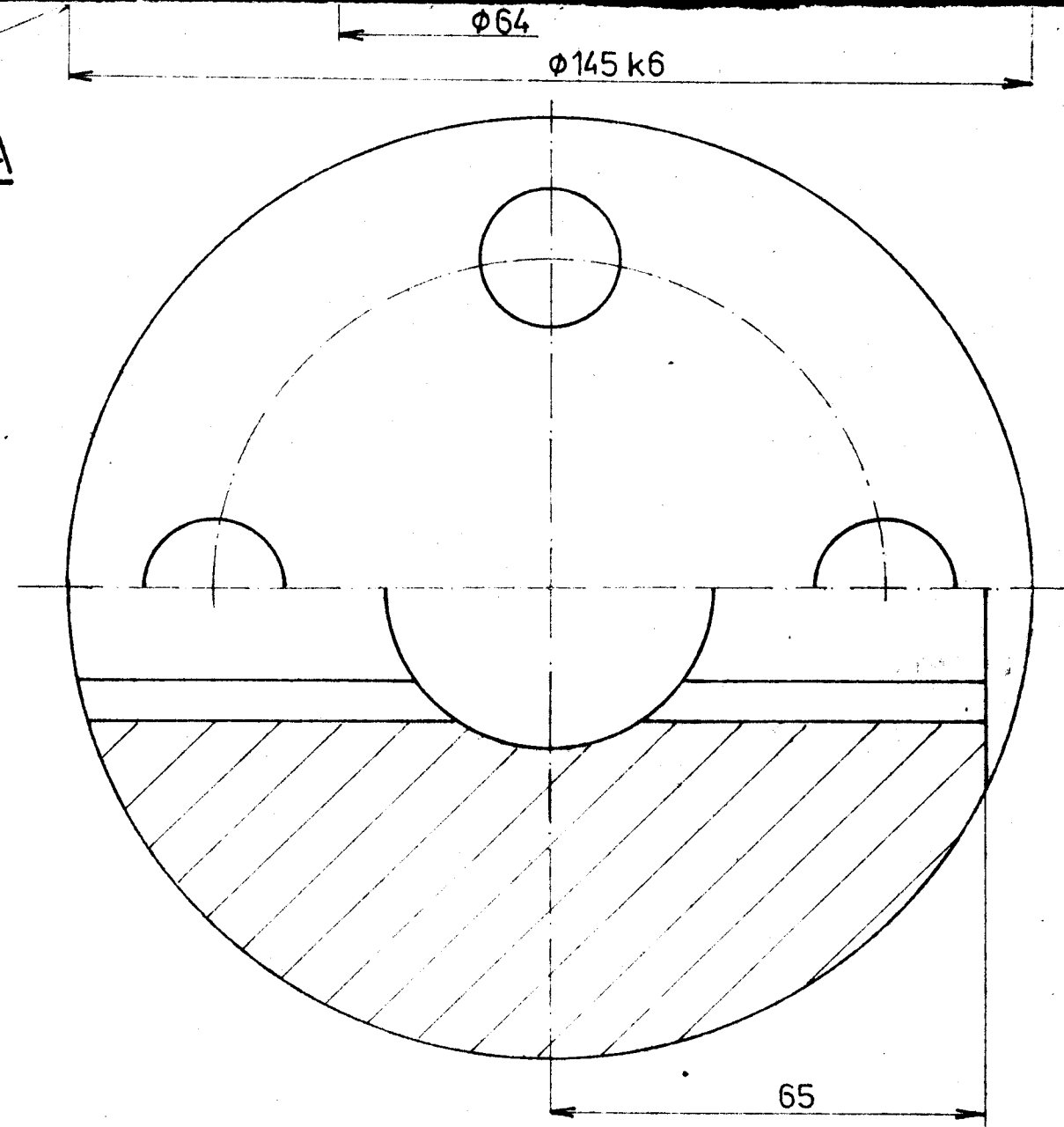
SEVŘENÁ VÝŠKA 245

B ↓

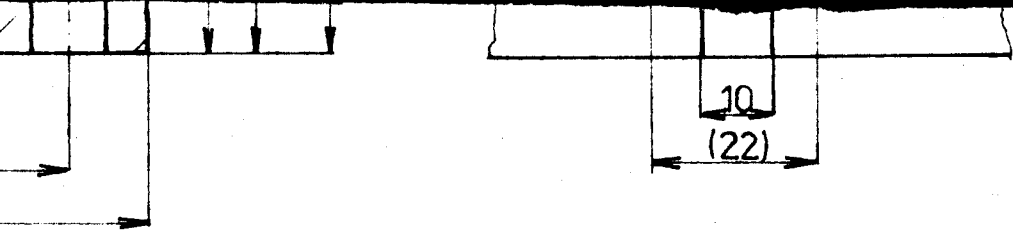




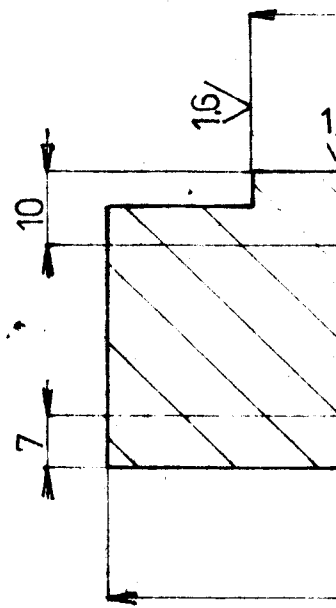
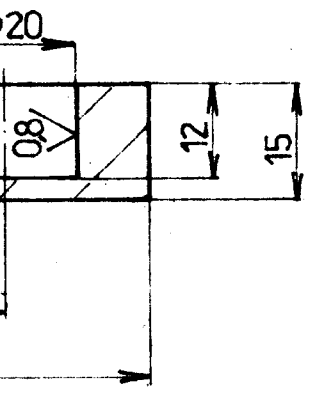
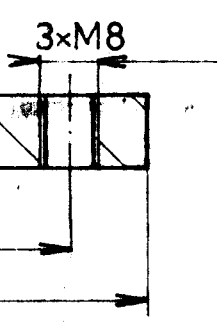
|             |  |         |  |            |  |                    |  |               |  |               |      |
|-------------|--|---------|--|------------|--|--------------------|--|---------------|--|---------------|------|
| Název       |  | Rozměr  |  | Materiál   |  | Poznámka           |  | Číslo výkresu |  | Pos.          |      |
| Dátum       |  | Podpis  |  | Č. snímku  |  | Celková š. váha ka |  |               |  |               |      |
| Měřítko     |  | 264.91  |  | J. VONDRÁK |  | Změna              |  | Č. transp.    |  | Číslo výkresu |      |
| Klasifikace |  | Výkres  |  | Stav       |  | Stav               |  | Stav          |  | Stav          |      |
| VŠST        |  | Název   |  | Stupně     |  | Stary výkres       |  | Nový výkres   |  |               |      |
| LIBEREC     |  | DETAILY |  |            |  | DP-FS-02           |  |               |  | Počet listů   | List |

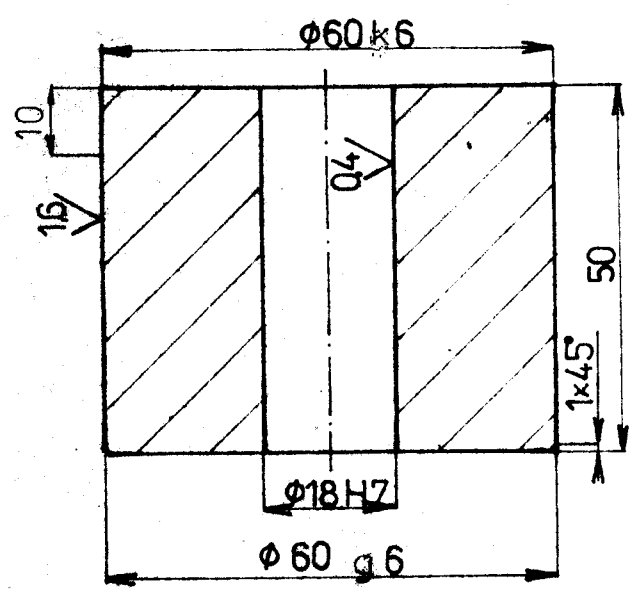
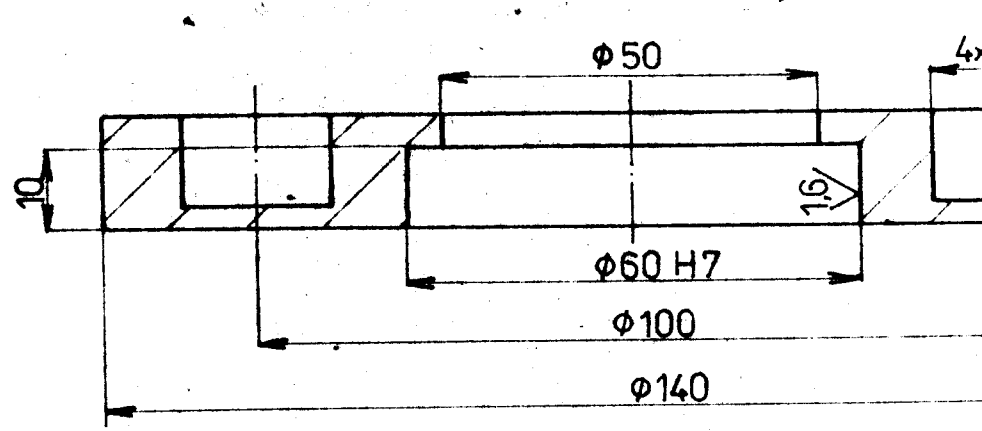
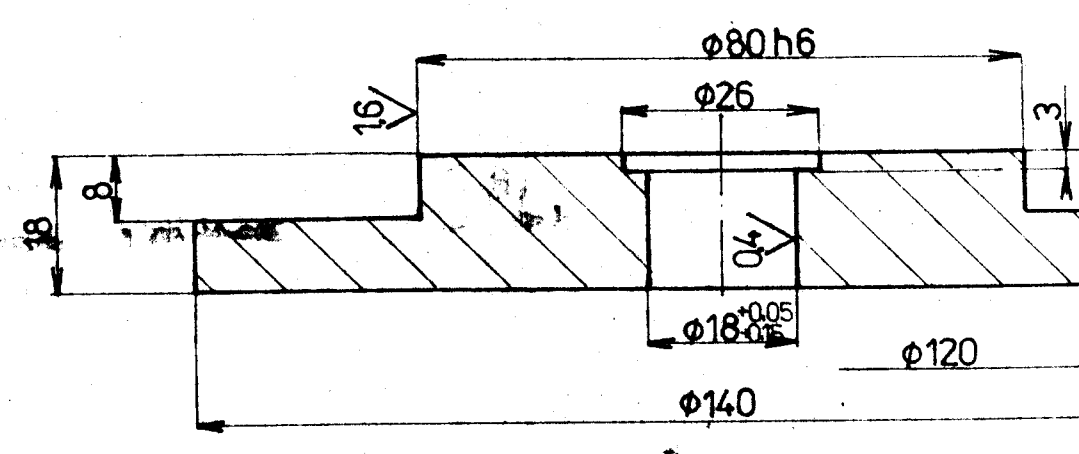
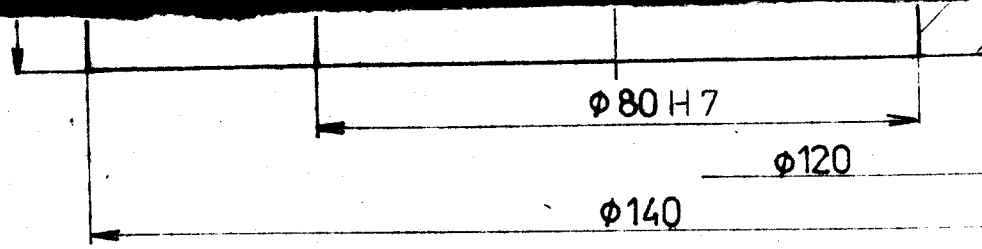




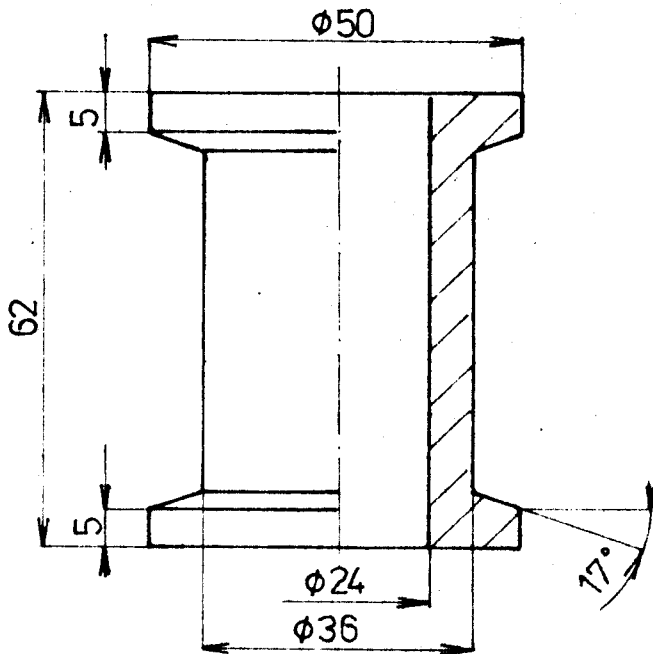
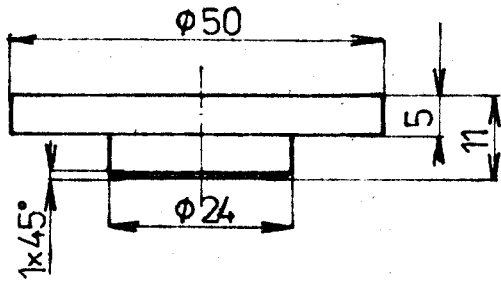


A

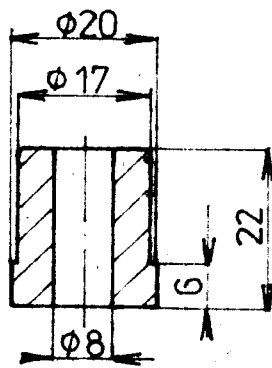




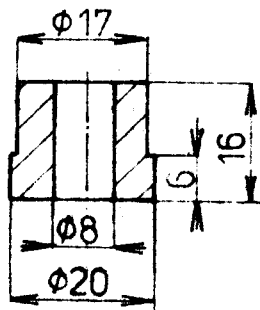
32 (✓)



M 1:1



M 1:1



3 x  $\phi 10$

