

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: technologie a nauky o materiálu

Fakulta: strojní

Školní rok: 1977/78

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. Zdeňka V O J T Ě C H A

obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Návrh experimentálního zařízení pro zkoušení

vibračního tváření použitím střídavé hydrauliky

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerži metod vibračního tváření se zvláštním zřetelem na použití hydraulických mechanismů
2. Posuďte vhodnost použití uvedené metody v oblasti tváření kovů
3. Proveďte návrh experimentálního pracoviště pro použití této metody.

V. 44/1978

Autorské právo se řídí směrnice MŠV pro státní zivotařné zkoušky č. j. 11 727/1962-2 ze dne 13. července 1962 - Věstník MŠV, řada 21, str. 106
31. 8. 1962 č. 19 autorizace číslo 115/53 Sp.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
IČO 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací:

2 A₀ - 2 A₁

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

1. BARANOV-ZACHAROV: ELEKTROIGIDRAVLICHESKIJE i gidravlicheskiye vibraonnyje mechanizmy. Mašinostroje, Moskva 1968.
2. POTURAJEV-MURONJUK : Rasčet i issledovanije gidravlicheskojo vibratora dlja vinropřessevaniya materialov "Gornaja mechanika i mašinostrojenije" Tom 48, NĚDRA 1967

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc
Doc. Ing. Jaroslav Křištof, CSc

Konsultanti:

Datum zahájení diplomové práce: 10.10.1977

Datum odevzdání diplomové práce: 26.5.1978



Doc. Ing. V. Chaloupecký, CSc

Vedoucí katedry

Doc. RNDr. B. Stříž, CSc

Děkan

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

*Jedoušek
Vojtěch*

V Liberci dne 26. května 1978

VŠST Liberec - Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie

Zaměření - tváření kovů a plastů

Katedra - technologie a nauky o materiálu

NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠENÍ

VIBRAČNÍHO TVÁŘENÍ POUŽITÍM STŘÍDAVÉ

HYDRAULIKY

Vypracoval: Zdeněk Vojtěch

SP-ST-1380/78

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaroslav Tměj, Csc

Konzultant: Doc. Ing. Jaroslav Křištof, Csc

Počet stran : 57

Počet tabulek : 1

Počet obrázků : 19

Počet výkresů : 1

DT : 620.17

1. Úvod	6
2. Současný stav vibrační techniky	8
2.1. Principy používaných vibračních zařízení	8
2.1.1. Zahraniční vibrační zařízení	12
2.1.2. Vibrační zařízení používaná v ČSSR	17
2.2. Uplatnění vibrační techniky v tvářecích procesech a dosažené výsledky	21
3. Vliv vybraných činitelů na objemovou tvářitelnost kovů	23
3.1. Činitelé ovlivňující přetvárný odpor	24
3.1.1. Vliv tvaru zkušebního tělesa	24
3.1.2. Vliv stupně přetvoření	26
3.1.3. Vliv přetvárné rychlosti	27
3.1.4. Vliv teploty na tvářitelnost kovů	28
3.2. Vliv vibrací na tvářitelnost kovů	29
4. Návrh experimentálního pracoviště	31
4.1. Plánované experimentální práce	31
4.1.1. Zkouška tlakem	31
4.1.2. Vibrační dopředné protlačování	34
4.2. Návrh vibračního zařízení	36
4.2.1. Popis vibračního zařízení	37
4.2.2. Určení hlavních parametrů vibračního zařízení	39
4.3. Návrh měřícího zařízení	45
4.3.1. Návrh tenzometrického siloměru	46
4.3.2. Návrh snímače dráhy	46
4.4. Uspořádání experimentálního pracoviště	47

5. Závěr	52
6. Literatura	55
7. Seznam příloh	57

1. Ú V O D

Další rozvoj již zavedených i nových tvářecích pochodů, jakož i zpracování nových kovových materiálů nelze opírat jen o teoretické poznatky. Je nutné komplexnější poznání problémů. Proto je třeba provádět řadu experimentálních měření a praktických zkoušek.

Většina zavedených technologií /zápustkové kování, tváření výbuchem, tváření pryží atd./ si klade za cíl dosažení maximálních úspor materiálu, zlepšení kvality a snížení pracnosti výrobků. Tyto technologie jsou již odzkoušeny a zavedeny ve výrobních závodech. Otevřeným a u nás nedořešeným problémem zůstává využití vibrací při tváření kovů a hledání vhodných vibračních principů.

V literatuře je charakterizován vliv rychle za sebou následujících úderů zmenšením vnějšího a vnitřního tření, dosažením rovnoměrnější a jemnější struktury, zvýšením tvárnosti materiálu, zlepšením povrchové jakosti výrobků, zvýšením přesnosti atd.

Příznivých účinků vibrací je již využíváno v řadě oborů. Například ve stavebnictví při dopravě sypkých materiálů, zhutňování betonu apod. Rovněž ve strojírenství jsou vibrace využívány při dopravě a třídění drobnějších součástí. V oboru tváření kovů se využívá vibrací například při stříhání plechů na speciálních vibračních lisech švýcarské firmy ESSA, v SSSR v oboru práškové metalurgie při lisování kovových prášků [6]. Uvedená zařízení jsou však velice nákladná a současný trend směřuje k vývoji vibračních zařízení použitelných jako přídatná zařízení v běžně používané lisovací technice.

V podmínkách VŠST neexistuje v současné době specializované pracoviště vybavené zařízením pro ověřování metod vibračního tváření. Proto je nutné, jestliže se chceme touto

technologií zabývat, vybudovat experimentální pracoviště vibračního tváření.

Cílem diplomové práce je shrnutí dosavadních dosažitelných poznatků o dané technologii a používaných zařízeních a navržení experimentálního pracoviště, kde bude možno ověřovat v některých aplikacích z oboru tváření technologii vibračního tváření.

2. SOUČASNÝ STAV VIBRAČNÍ TECHNIKY

Oblasti vibračního tváření kovů je věnována velká pozornost především v SSSR. Výsledky výzkumů ukazují, že při vibračním tváření kovů v mnoha případech vytváří podmínky pro zlepšení tvářecích procesů.

Teoretické předpoklady ukazují na možnost využití vibrací při tváření materiálů za tepla i za studena. Na základě teoretických prací byly vypracovány různé varianty vibračních zařízení. V zásadě je možno rozlišit dva základní směry. Jedná se buď o vibrační lisy nebo o přídatná vibrační zařízení, používaná jako příslušenství v běžné lisovací technice.

2.1. Principy používaných vibračních zařízení

Vzrůstající zájem o zpracování tlakem s využitím pulzujícího zatížení vede k hledání vhodných principů a zařízení, které by našlo uplatnění v oblasti tváření kovů. Přitom je snaha o co největší využití předností vibračního tváření při současném snížení pořizovacích nákladů.

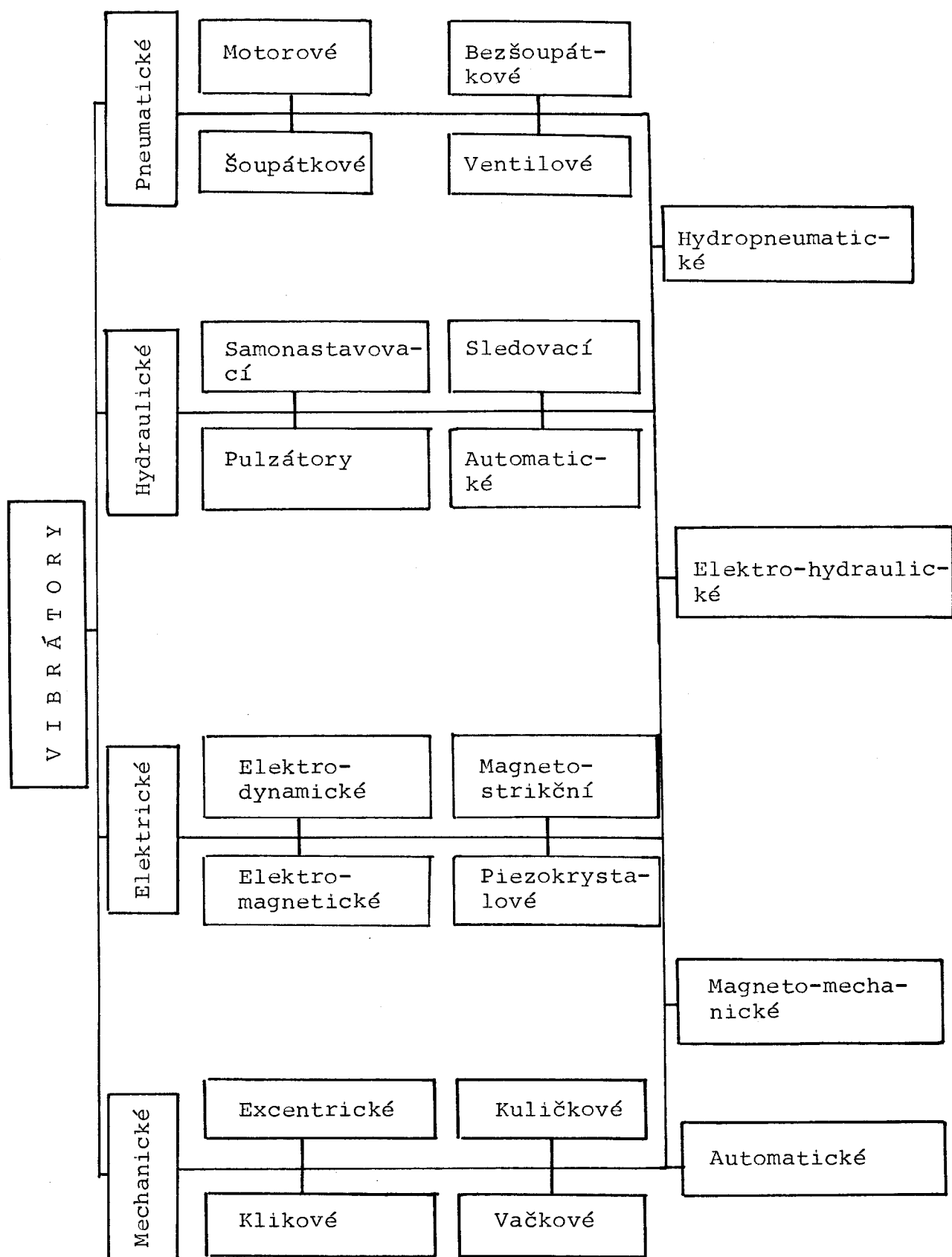
Vibrační zařízení je možno rozdělit podle principu zdroje budící síly na mechanické, elektrické, pneumatické a hydraulické. Existují vibrátory, které v sobě sdružují i několik principů. Schéma klasifikace principů vibračních zařízení uvádí literatura [1] a je uvedeno na obr. 1.

Každý z uvedených vibračních principů má určité přednosti i nedostatky, na základě kterých je možno posoudit vhodnost jeho použití.

Jednou z dalších možností rozdělení vibračních principů je rozlišení podle dosažitelné frekvence vibrací [1].

Například vibrátory:

- mechanické klikové	/2 - 100/ Hz
- mechanické excentrické	/3 - 300/ Hz
- pneumatické	do 200 Hz
- elektrohydraulické	do 400 Hz
- hydraulické	0 - 500 Hz
- elektrodynamické	20 - 3000 Hz



Obr. 1 - Schéma rozdělení základních vibračních principů.

Různorodnost používaných vibračních principů je dána jejich vývojem. Z počátku se používali především mechanické principy. V současné době nacházejí největší uplatnění hydraulické vibrační principy.

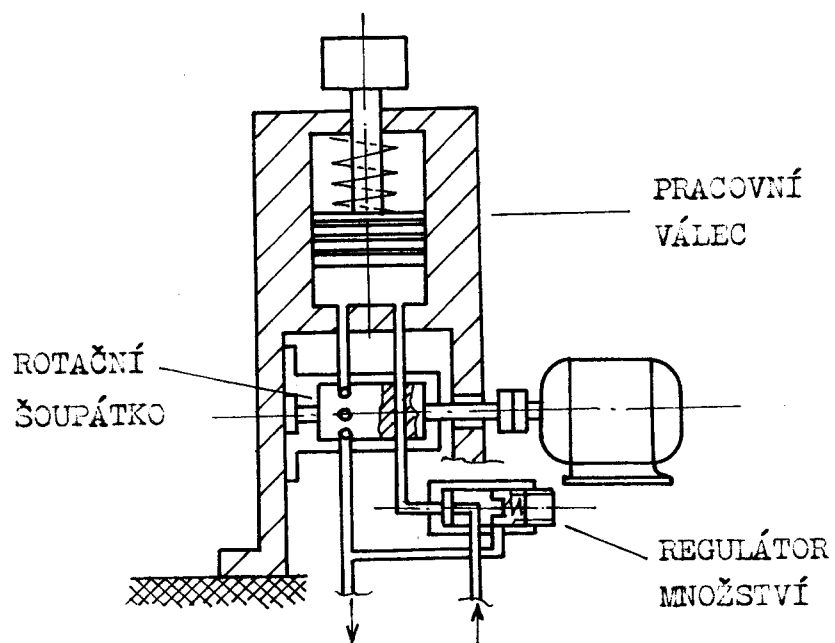
Vibrační principy by měly splňovat následující podmínky:

- 1/ možnost splnění požadovaných technologických požadavků,
- 2/ dosažení požadovaných technických parametrů,
- 3/ jednoduchou regulaci frekvence a amplitudy v žádaném rozsahu,
- 4/ minimální hmotnost pohybujících se dílů,
- 5/ stabilní charakteristiky /frekvence atd./,
- 6/ jednoduchost z hlediska výroby,
- 7/ jednoduchou montáž a obsluhu.

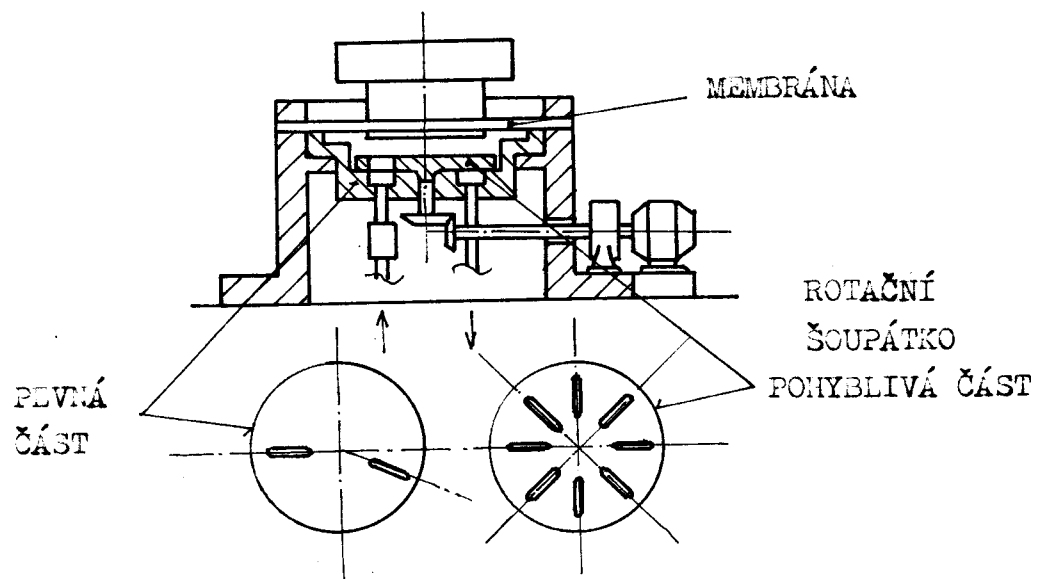
Mechanické vibrátory různých konstrukcí splňují většinou požadavek snadné regulace amplitudy a frekvence. Změna frekvence se většinou provádí změnou otáček pohonu. Hlavním nedostatkem těchto zařízení je malá životnost, nižší tvářecí síla, nežádoucí hluk a vibrace. Nejrozšířenější vibrační principy používané na vibračních lisech jsou hydraulické vibrátory šoupátkového, plunžrového a ventilového typu.

Ve vibrátorech šoupátkového typu se používá rotačního šoupátka s radiálním /viz obr. 2/ nebo čelním /viz obr. 3/ rozdělením otvorů [1]. Hydraulické vibrátory tohoto typu se vyznačují jednoduchostí. Mají však i některé nedostatky. Obtížnost vytvoření potřebného pracovního tlaku vede k nutným ztrátám tlaku pracovní kapaliny. Hydraulické vibrátory tohoto typu dovolují používat jako pracovní kapalinu pouze minerální oleje. I velmi malé znečištění vede k rychlému opotřebení povrchů, které jsou ve vzájemném styku. To znamená, že dojde ke zvýšení tlakových ztrát a snížení životnosti.

Hydraulické vibrátory plunžrového typu [1] /viz obr. 4/ mohou pracovat na rozdíl od vibrátorů šoupátkových ekonomičtěji, protože je možno použít jako pracovní kapaliny vodu, emulze apod. Použitím pracovní kapaliny s vysokým modulem pružnosti se zmenšuje spotřeba energie. Použití vibrátorů plunžrového typu je omezeno tím, že chybí potřebný rychloběžný



Obr. 2 - Rotační šoupátko s radiálním rozdělením otvorů.



Obr. 3 - Rotační šoupátko s čelním rozdělením otvorů.

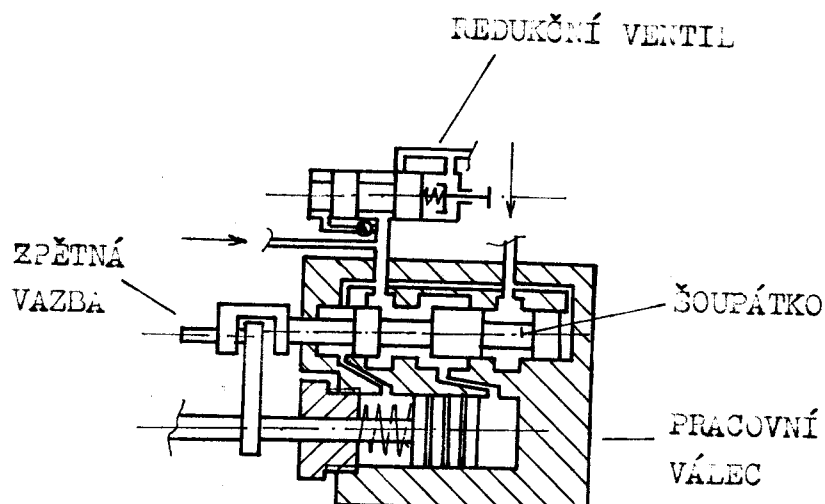
a dostatečně mohutný pohon, který by zabezpečil nezbytné množství pracovní kapaliny při každém zdvihu pístu v pracovním válci.

Jsou známe i pokusy s ventilovými vibračními jednotkami. Tato zařízení však mají podstatné nedostatky. Vzhledem k tomu, že u tohoto typu chybí automatika regulace, nemůže dojít k nezávislé regulaci výkonu, frekvencí a amplitudy. V pracovním válci zůstává zbytkový tlak, který je přibližně roven tlaku, který působí na horní čelo ventilu. Pro zabezpečení úplného odstranění tlaku a získání potřebné amplitudy je zapotřebí neopodstatněného zvětšení pracovního válce.

Lépe odpovídá požadavkům kladeným na impulzivní zařízení schéma ventilového pulzátoru na obr. 5 [3]. V tomto zařízení se pulzace pracovní kapaliny v pracovním prostoru "1" automaticky reguluje pomocí zařízení, které se skládá z ventilu "2", posunovače "3" a pneumatického válce "4". Výkon lisu se plynule reguluje tlakem vzduchu v prostoru "6" pomocí redukčního ventilu "10". V okamžiku snížení tlaku v pracovním prostoru "1" se plunžr "11" vzdaluje od tvářeného předmětu. Tento pohyb je způsoben tlakem ve vratném prostoru "12", odděleném od hlavního pracovního prostoru "1" škrtícím ventilem "9". Amplituda závisí na velikosti tlaku pracovní kapaliny, objemu pracovního a vratného prostoru a rovněž na hodnotě zdvihu a časovém chodu řídicího ventilu. Frekvence kmitů plunžru závisí na množství tlakové kapaliny dodávané čerpadlem, velikosti deformace tvářeného předmětu během prvního impulsu a na době zdvihu ventilu.

2.1.1. Zahraniční vibrační zařízení

Podle dostupných literárních údajů se problematikou vibračního tváření zabývají převážně výzkumné ústavy. Proto má většina používaných zařízení experimentální charakter a doposud není příliš rozšířena jejich sériová výroba.

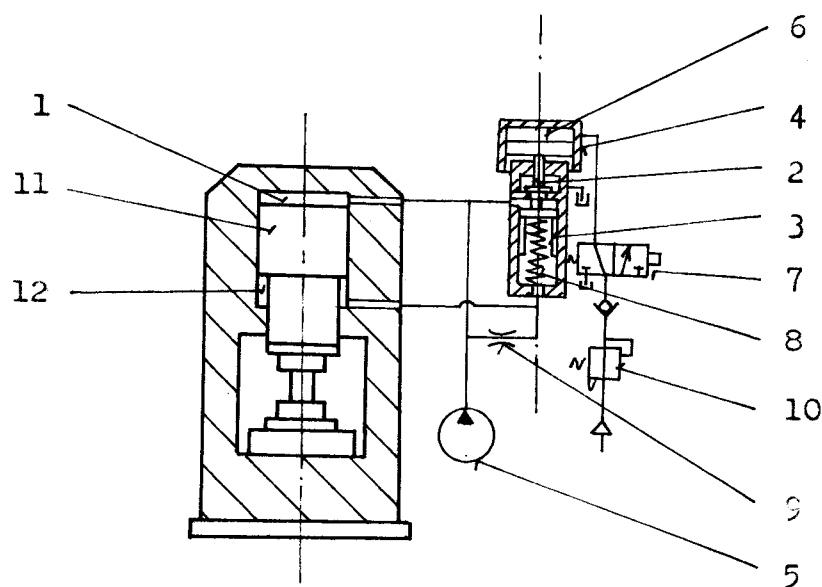


Obr. 4 - Schéma jednostupňového automatického vibrátoru plunžrového typu.

Mezi nejznámější evropské výrobce patří švýcarská firma ESSA, která vyrábí seriově speciální vibrační lisy pro přímé stříhání. V socialistických zemích je největší pozornost této problematice věnována v SSSR. Ve většině případů se používá speciálních vibračních lisů a lisobucharů ventilového typu.

Lisy s mechanickým vibrátorem, určené pro závěrečné zpracování výrobků o průměru 30 mm a tloušťce 9 mm odpovídají orientačně tvářecí síle 500 kN. Tváření výrobků na lisu této konstrukce je prováděno působením vibrátoru, který je umístěn na horním příčnicku lisu. Vibrátor je konstruován na principu excentrického mechanismu. Excentrický mechanismus a příčník mají zvláštní pohony. Známé jsou i vibrační lisy v provedení s jedním příčníkem, který může v průběhu pracovního zdvihu vibrovat a současně se přemisťovat [3].

V ENKIMAŠI SSSR [3] byl navržen zkušební lis pro ostříhování výrobků do průměru 30 mm a tloušťky 3 mm. Vibrátor je umístěn na horním příčnicku lisu /jako v předchozím případě/ a je rovněž proveden na principu excentrického mechanismu. Pracovní zdvih se u tohoto typu lisu uskutečňuje pomocí dolního příčnicku kloubovým mechanismem. Toto zařízení zabezpečuje rychlé přemístění nástroje a jeho pomalý posuv během pracovního chodu.



Obr. 5 - Schéma ventilového pulzátoru typu PPN 100.

Je také možno provést konstrukci lisu [3], u kterého je vibrátorem kloubový mechanismus předávající chvění stolu lisu. Kloubový mechanismus je spojen s elektromotorem přes excentrickou podložku, jejímž prostřednictvím lze měnit amplitudu výchylek. Pracovní zdvih provádí horní příčník lisu, který získává zpětný pohyb dalším elektromotorem.

Předností vibračních lisů s mechanickým pohonem je možnost přesné regulace frekvence a amplitudy chvění beranu. Slabým článkem je pohonná část, která nedává možnost vytvořit větší tvářecí síly než 500 kN, amplitudy do 1 mm a frekvence do 30 Hz [3].

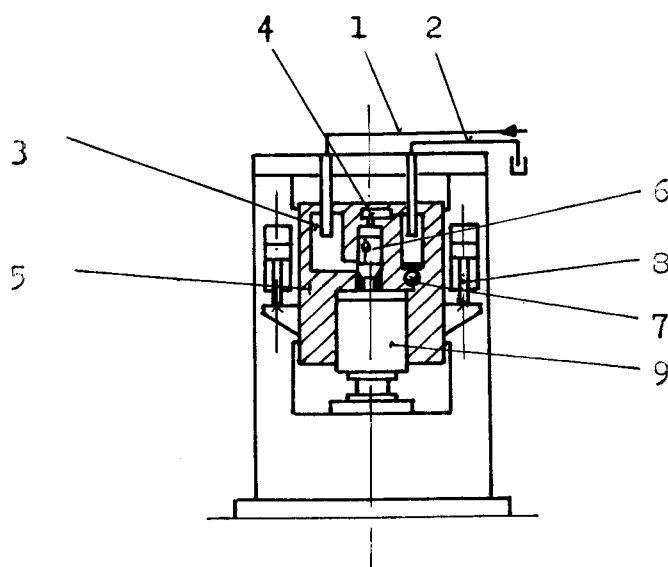
Vibrační lisy s hydraulickým pohonem mohou být navrženy pro vyšší tvářecí síly - až 1000 kN, pro amplitudy až 1 mm a frekvence do 50 Hz [3]. K vytváření pulzací tlaku pracovní kapaliny se v těchto lisech užívají většinou vibrátory šoupátkového, plunžrového a ventilového typu.

V SSSR je rozšířen hydraulický lis s pulzacemi kapaliny v pracovním válci vyvolanými pohybem plunžru. Použití tohoto typu vibrátoru je omezeno tím, že mu chybí potřebný rychloběžný a dostatečně mohutný pohon, který by zabezpečoval nezbytné množství pracovní kapaliny / 100 - 500 cm³ / v každém zdvihu.

Lépe odpovídá potřebám, kladeným na hydraulická vibrační zařízení schéma lisu PPN 100 / viz obr. 5 /. Experimentálním ověřováním vibračního zařízení PPN 100 byla zajištěna shoda s vypočtenými údaji. Současně byla na toto zařízení rozpracována technologie tváření tenkostěnných profilů. Při ověřovacích zkouškách bylo zjištěno, že přesnost rozměrů, geometrie a kvalita povrchu je u profilů zhotovených na lise PPN 100 vyšší než při klasickém zpracování. Kladné výsledky experimentů umožnily přejít na konstrukci mohutnějších zařízení. Byl navržen vibrační lis PPN 315. Ve stručném přehledu jsou uvedeny technické parametry vibračních zařízení PPN 100 a PPN 315 [2].

	<u>PPN 100</u>	<u>PPN 315</u>
maximální síla	1000 kN	3150 kN
frekvence	10-20 Hz	do 20 Hz
amplituda plunžru	max. 1 mm	max. 1 mm
pracovní kapalina	voda, emulze	voda, emulze
tlak pracovní kapaliny	32 MPa	32 MPa

Jediným strojem, kde tlak nosiče energie není v podstatě spojen s tlakem na výkovek v okamžiku deformace je buchar. První lisy - buchary se setrvačným působením pohyblivého válce, tak zvané hydrosetrvační lisy typu "GIP", byly sestrojeny podle schématu uvedeného na obr. 6. U lisu typu "GIP" působí při spuštění ventilu "6" tlaková kapalina z akumulátoru "3" na plunžr "9". Odpor pístového kataraktu "8" ovlivňuje velikost tvářecí síly. Při opakovaném cyklu / po nabití akumulátoru / dochází ke zpětnému zdvihu plunžru "9" / setrvačná hmota / a odtoku pracovní kapaliny z pracovního prostoru přes škrťací ventil "7".



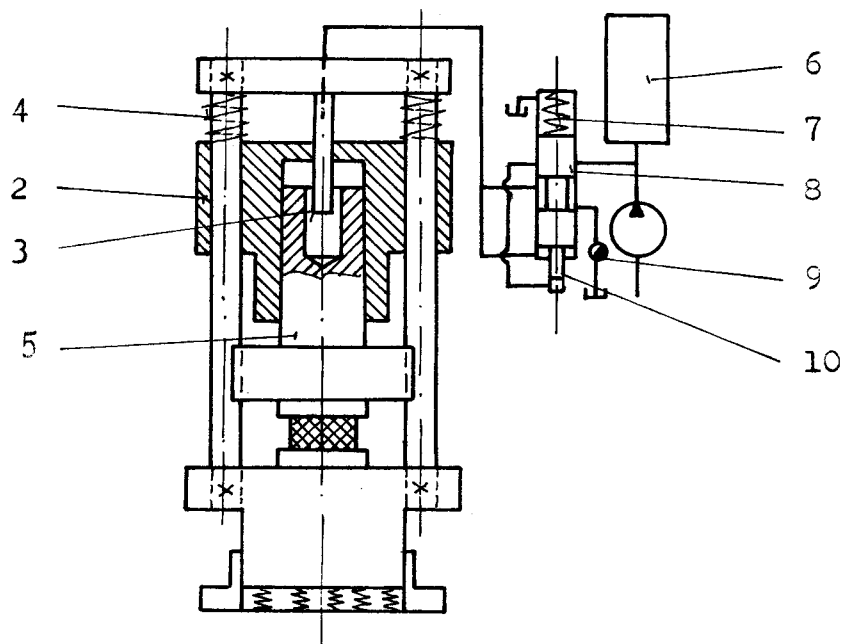
Obr. 6 - Schéma hydroinerčního lisu typu GIP.

Při detailním teoretickém a experimentálním výzkumu prvních lisů typu GIP se ukázalo, že to jsou v podstatě buchary. Proto je nutné instalovat lisy tohoto typu na bucharové základy.

Zařízení na obr. 7 umožňuje protiběžné působení sil na tvářený materiál. Uvedené schéma pracuje s horní a dolní setrvačnou hmotou. Hydroinerční lisy podle tohoto schématu již úspěšně pracují. Krátký zdvih plunžru snižuje hydraulické ztráty na pružné stlačení v pracovním válci a dovoluje zanedbání pružných ztrát ve stojanu.

Matvějev uvádí [2], že projektování hydraulických vibračních zařízení podle schématu obyčejného hydraulického lisu s pulzujícím zatížením nelze pokládat za jedinou možnou variantu řešení. Rozměrné výrobky je účelnější tvářet na vibračních lisobucharech se vstřícným pohybem stojanu / viz schéma na obr. 7 /.

Vibrační zařízení s vysokou frekvencí jsou založena na principu elektromagnetického buzení rezonance. Jedním takovým zařízením je vibrační lis TINDEMAN, jehož schéma je uvedeno na obr. 8. Kotva "2" elektromagnetu "1" je spojena s rezonátorem "3" / membránou /, který je střídavě přitahován k elektromagnetu "1". Elektromagnetické vibrátory jsou vhodné na vybuzení kmitů vyšších frekvencí [4].



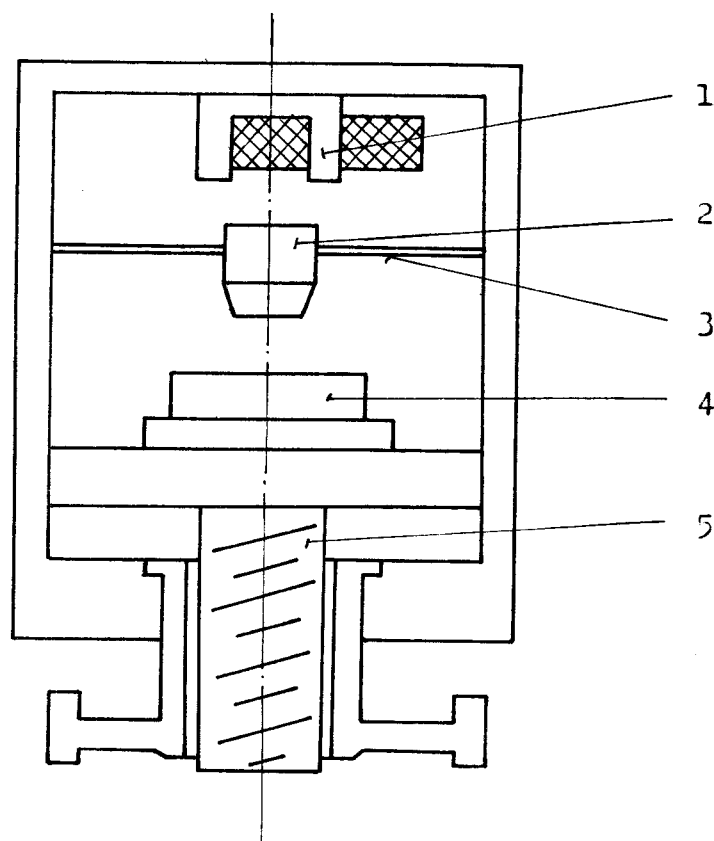
Obr. 7 - Schéma lisobucharu s protiběžným působením tvářecích sil.

2.1.2. Vibrační zařízení používaná v ČSSR

V našich podmínkách se problematice vibračního tváření věnuje především VÚTS Brno [5, 7]. V minulých letech zde byla odzkoušena řada technických tváření s vibracemi. Hlavní popud k řešení tohoto úkolu byl dán konstrukcí a výrobou vřetenových lisů, na kterých se prováděly zkoušky a hledala vhodná technologie pro jejich uplatnění. Kromě toho byly hledány nové vibrační principy / jako přídatná zařízení / a sledován vliv vibrací na mechanické vlastnosti tvářených materiálů.

Pro zkoušky základních tvářecích technologií bylo ve VÚTS Brno mimo jiné použito následujících vibračních zařízení:

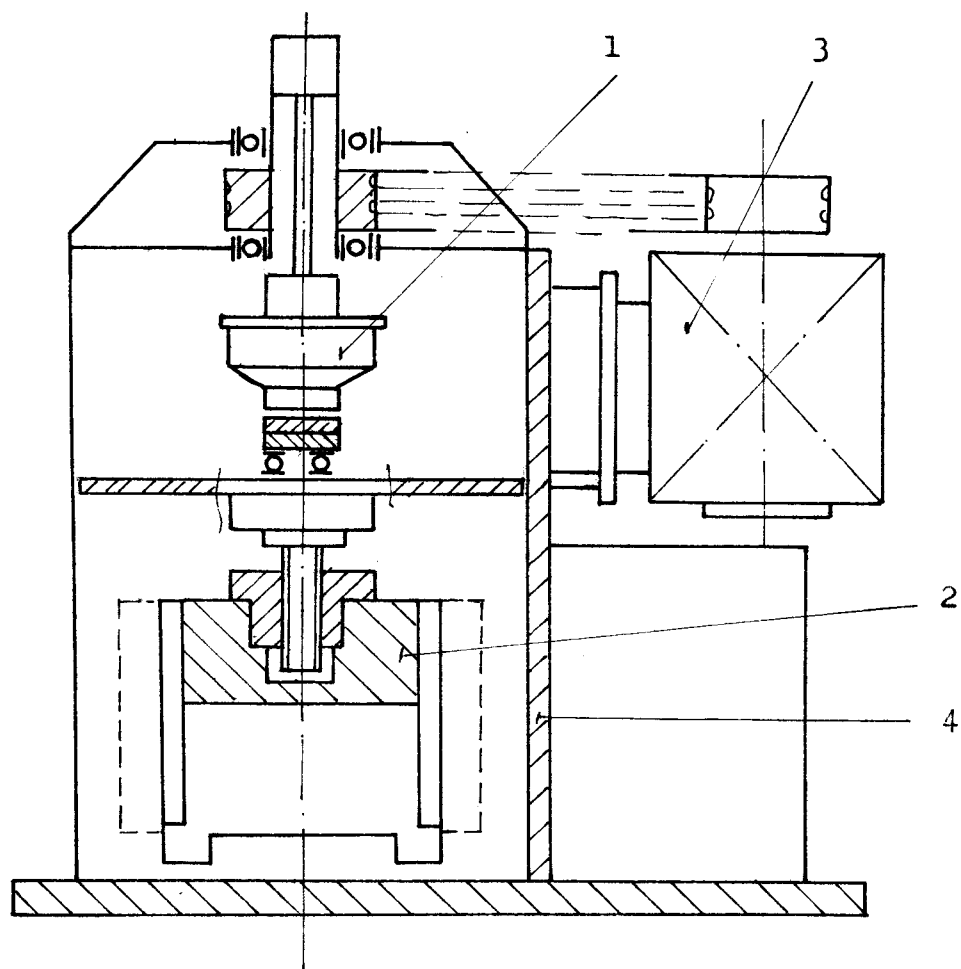
- a/ vibrační vřetenový lis LVI 25
- b/ pneumatické kladivo
- c/ hydraulické vibrační zařízení.



Obr. 8 - Schéma vibračního lisu TINDEMAN.

ad a/ Vibrační vřetenový lis LVI 25

Tyto stroje jsou původní československé konstrukce. Jedná se o vřetenový lis s impulsním náhonem vřetenového šroubu. Frekvence je asi 1800 úderů za minutu. Velikost jednotlivých úderů dosahuje až 7,8 kN. Oscilografický záznam ukázal, že se vřeteno pohybuje stále stejným směrem, takže se beran nemůže vracet. Lisovací síla se udržuje na určité hodnotě, k níž jsou údery přidávány tlakové špičky. Pro lis LVI 25 je charakteristické to, že pohyb beranu je přerušovaný, avšak není vratný. Schéma vibračního lisu LVI 25 je uvedeno na obr. 9.



Obr. 9 - Schéma vibračního lisu LVI 25.

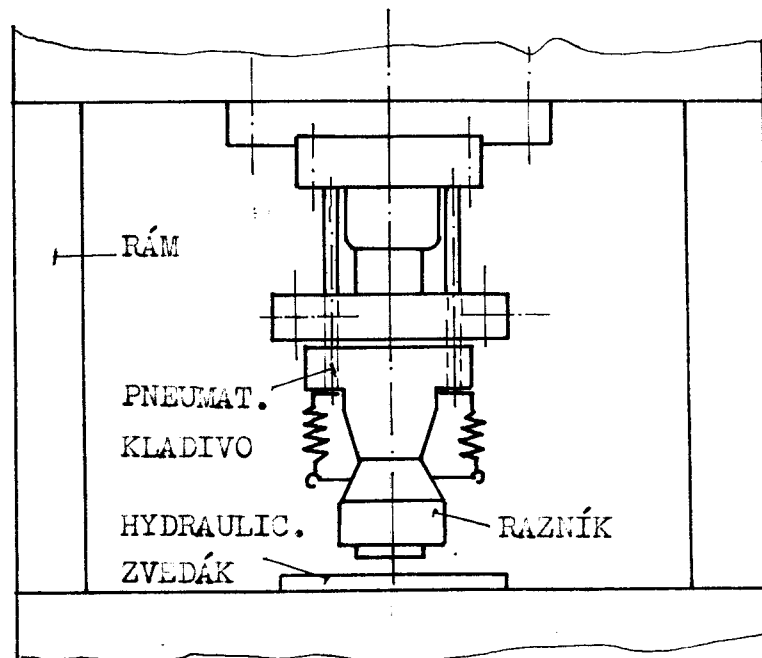
Hlavní části zařízení:

- impulsní mechanismus "1"
- vřeteno s beranem "2"
- elektromotor s převody "3"
- svařovaný rám "4"

Vlastní průběh síly je charakterizován dvěma veličinami. Základní statická hodnota dává průběh diagramu síly. Na tyto hodnoty se superponují jednotlivé úder kladívek v mechanismu "1" [7].

ad b/ Pneumatické kladivo UK-29

K výrobě tohoto zařízení pro tváření opakujícími se rázy bylo použito pneumatického kladiva UK-29 /výrobce TOS Křivoklát/. Pro vlastní zkoušky tváření bylo kladivo upraveno a vloženo do

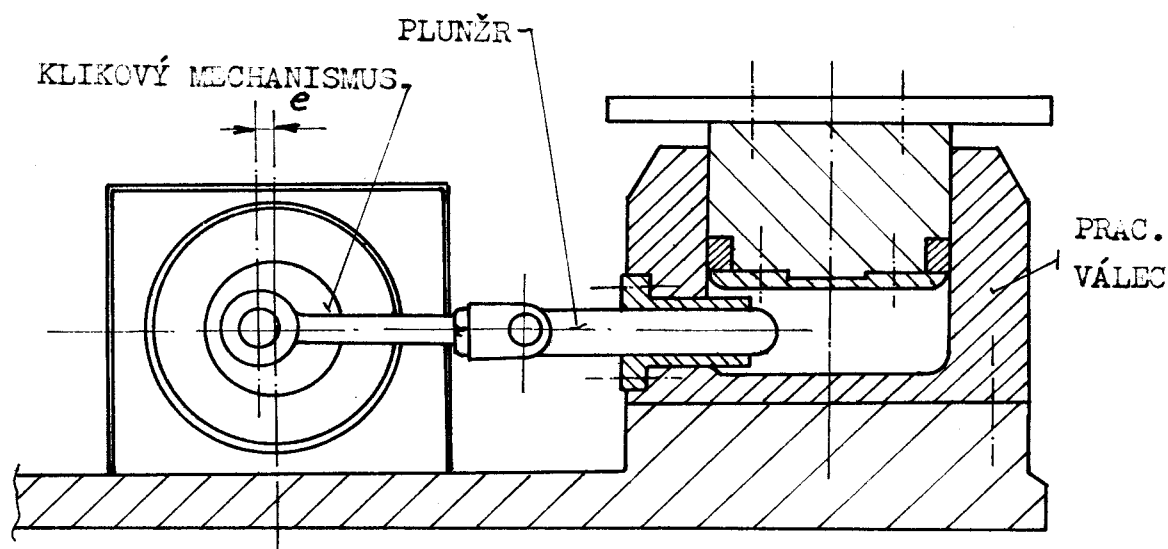


Obr. 10 - Pneumatické kladivo UK-29.

masívního stojanu / viz obr. 10 /. Aby bylo možno měnit částečně frekvenci, bylo použito provedení pístů kladiva o různých hmotnostech. Vlastní průběh síly je charakterizován jednotlivými, rychle za sebou následujícími úderý. Ze záznamů na oscilogramech vyplynulo, že průběh tlaků tvoří tlumené doznívající kmitý [7]. Obálka kmitů je přibližně exponenciála. Po každém úderu následuje úplné odlehčení tvářeného materiálu.

ad c/ Hydraulické vibrační zařízení

Schéma hydraulického vibračního zařízení je uvedeno na obr. 11. Konstrukčně byl zpracován československý patent č. 100 058 na zařízení určené pro vyvarování kmitavého přímočarého pohybu pístu pracovního válce. Bylo zde použito vibrátoru plunžrového typu. Rotační pohyb elektromotoru se mění přes excentrický mechanismus a pracovní medium na přímočarý pohyb pístu pracovního válce, na kterém je upevněn tvářený vzorek. Celé zařízení je konstruováno jako přídatné na hydraulický lis. Průběh sil je charakterizován základní statickou hodnotou tvářecí síly se vzrůstající tendencí. Tato síla je vyvozena hydraulickým lisem. K této hodnotě je namodulována impulsní



Obr. 11 - Schéma vibračního zařízení s plunžrem a excentrickým pohonem.

síla, vyvozená přídatným vibračním zařízením [7] .

2.2. Uplatnění vibrační techniky v tvářecích procesech a dosažené výsledky

Vibracemi se v technologii tváření za studena zmenšuje vnější tření [3], materiál má po deformaci rovnoměrnější a jemnější strukturu. Rovněž potřebné tvářecí tlaky jsou menší. To znamená, že síla potřebná ke tváření bude menší, než při klasických způsobech tváření. Povrchová jakost vibračně tvářených výrobků je lepší. U oceli tvářené vibracemi se oproti tváření bez vibrací / pěchování / zmenšuje při zvětšování amplitudy a frekvence pevnost tvářeného materiálu. Makrostruktura takto tvářených vzorků má charakter uspořádání vláken přibližně stejný jako při tváření bez vibrací. Soudkovitý tvar není tak výrazný, což znamená, že průběh deformace je rovnoměrnější [3].

Sovětsí autoři, kteří se zabývali některými otázkami tváření tlakem za použití vibrací uvádí, že v procesu vibračního působení sil dochází během plastické deformace / při pěchování,

ohybu, protlačování atd. / ke snižování tvářecích odporů. Příčina toho jevu spočívá dle jejich mínění ve změně stavu napjatosti při současné změně dotykového tření [3].

Další sovětský autor M.J.Karhov, který se zabývá problémy plastických změn materiálu při vibračním tváření uvádí, že dříve se na kmitání nástrojů a tvářeného materiálu hledělo jako na jevy pouze škodlivé. Ale úspěchy dosažené při vibračním tváření ukazují, že v mnohých případech dochází ke zkrácení tvářecích procesů a tím i ke zvýšení efektivnosti výroby.

Teoretické předpoklady ukazují i na možnost využití vibračního tváření za tepla. Jedná se hlavně o kování v zápustkách. Někteří autoři se zabývají vztahy mezi veličinami, které charakterizují změnu odporu proti deformacím v závislosti na čase, rychlosti deformace a jejich rozdíly proti zákonitostem platným při klasických způsobech tváření na lisech nebo bucharech [5, 7] .

Podle některých předpokladů může být metoda vibračního tváření i jedním z prostředků zvýšení plasticity materiálu při tváření. Provedené zkoušky ukazují, že materiál, který se nachází ve stavu objemového tváření a je podroben doplňkovému proměnnému zatížení se stává plastičtější. Z takového materiálu je možno vyrábět výrobky složitějších tvarů se zvýšenou přesností a rovnoměrnější deformací [6].

Stanovení pracovních charakteristik a vlivu použitého typu vibračního zařízení není možné bez experimentálně odůvodněného zkoumání.

Ve většině publikovaných případů je dosahováno dílčích výsledků a v žádné dostupné literatuře nebyl prozkoumán vliv vibrací ve větším rozsahu frekvencí a amplitud. Použitá zkušební zařízení pracují většinou v rozsahu frekvencí / 2 - 50/Hz s amplitudou /0,1 - 1/mm. Při použití těchto parametrů lze, podle údajů z literatury, všeobecně usuzovat na zvýšení tvrdosti, vrubové houževnatosti, meze pevnosti a meze kluzu, vyšší

přesnosti vibračně tvářených ocelových výrobků. Současně se zkracuje doba tváření.

O použitých zařízeních lze všeobecně říci, že v případě lisobucharů dochází ke snížení účinnosti v důsledku pružné deformace rámu stroje a pracovní kapaliny. Zařízení použitá ve VÚTS Brno pracují v rozsahu frekvencí /10 - 100/Hz a amplitud /0,1 - 0,35/ mm a nedosahují vyšších výkonů.

Závěrem lze konstatovat, že publikované výsledky, jichž bylo dosaženo při tváření vibracemi, jsou nejvíce výrazné při lisování kovových prášků [6].

Další směry využití metod vibračního tváření záleží zřejmě na možnostech zkoumání vlivu vyšších frekvencí. Je nutné vzít v úvahu i možnost ovlivnění kmitů atomů v krystalické mřížce, tj. účinek podobný vlivu teploty. Přímé ovlivnění kmitů atomů v mřížce je možné teprve při vysokých frekvencích / podle Browna až 10^{13} Hz /. Lze očekávat zvýšení plasticity tvářeného materiálu při použití vyšších frekvencí. Pro dosažení tohoto cíle bude nutno zdokonalit stávající vibrační mechanismy a případně navrhnout nové principy vibračních zařízení umožňujících dosažení potřebných parametrů.

3. Vliv vybraných činitelů na objemovou tvářitelnost kovů

Plastickou deformaci při tváření kovů je možno posuzovat buď jako mechanický děj / rozložení napjatostí / a zkoumat ji pak jako způsob změn tvaru a rozměru tělesa. Nebo je možno plastickou deformaci posuzovat jako fyzikálně-chemické děje a zkoumat ji pak z hlediska změn fyzikálních a chemických vlastností tvářeného materiálu /struktura, složení apod./ [8].

Oba druhy dějů jsou vyvolány následkem tečení kovů. Tečení jakékoliv látky je jen jedním z řady druhů pohybu hmoty. Přitom je třeba vycházet z představy, že taková látka je souhrnem kinematických částic, jejichž pohybem nastávají kvalitativní

změny. U plastických deformací kovů se plastické tečení vyznačuje prostorově uspořádaným přemísťováním kinematických částic. Uspořádanost pohybu kinematických částic je v tom, že se tyto částice pohybují v předem vymezených směrech. U kovů jsou tyto směry určeny pravidelným uspořádáním atomů v mřížce krystalů [9].

Odpor kovů proti plastickým deformacím je důležitou mechanickou vlastností. Má velký význam při zpracování kovů tvářecími pochody, kdy je naopak třeba odpor proti plastické deformaci překonat, aby se dosáhlo požadované změny tvaru tvářecího tělesa.

3.1. Činitelé ovlivňující přetvárný odpor

Odpor kovů proti deformacím / přetvárný odpor / závisí na různých činitelích. Jsou to např. tvar zkušební vzorku, stupeň přetvoření, přetvárná teplota, druh a složení materiálu, rychlost deformace apod.

3.1.1. Vliv tvaru zkušební vzorku

Podstatný vliv na velikost přetvárného odporu má tvar zkušební vzorku a právě tak i jakost povrchu styčných ploch mezi nástrojem a zkušebním vzorkem. Velikost zkušební vzorku odvozujeme na základě velikosti středního technologického přetvárného odporu σ_{te} a maximální tvářecí síly vibračního zařízení.

Základní přetvárný odpor má pro obor tváření kovů velký význam. Pomocí přetvárného odporu je možno určit sílu a nebo příp. práci potřebnou ke tváření. Základní přetvárný odpor je deformován jako napětí, překonávající odpor tvářeného kovu proti plastickému přetvoření. Je určeno poměrem síly a tlačné plochy tvářecího nástroje.

Podle základní teorie plasticity je kritériem pro plastickou deformaci dle Miesse napětí σ_s [9] .

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

Podle Trescy je kritériem pro plastickou deformaci napětí σ_s určené dle vztahu [9].

$$\sigma_s = \sigma_1 - \sigma_3$$

kde

σ_1 - největší hlavní napětí

σ_3 - nejmenší hlavní napětí

Základní přetvárný odpor není konstanta pro určitý kov, ale je závislý na stupni přetvoření, na poměrné rychlosti tváření a na teplotě tvářeného kovu. Experimentálně se základní přetvárný odpor σ_s zjišťuje při jednoosé napjatosti nejčastěji zkouškou tlakem na válcovém tělese. Při této zkoušce je základní přetvárný odpor σ_s dán vztahem $\sigma_s = \frac{F}{S} [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$, kde $S [\text{mm}^2]$ je styčná plocha nástroje s tvářeným materiálem a $F[\text{N}]$ tvářecí síla. Tření na styčné ploše se neuvažuje.

Technologický přetvárný odpor σ_{te} odpovídá základnímu přetvárnému odporu σ_s zvětšenému o pasívní odpory. Pasívní odpory jsou závislé na velikosti tření mezi nástrojem a tvářeným vzorkem. Pro těleso válcového tvaru o průměru d a výšce h se obvykle udává podle Siebela [8].

$$\sigma_{te} = \sigma_s / 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} /$$

Součinitel tření μ se pohybuje v rozsahu 0,2 až 0,5. Pro určení technologického přetvárného odporu doporučuje literatura [8] použití zkušebních vzorků s počátečním poměrem rozměrů

$$\frac{d_o}{h_o} = 0,5.$$

3.1.2. Vliv stupně přetvoření

Při sledování vlivu stupně přetvoření na přetvárný odpor je třeba zásadně rozlišovat tváření za tepla a za studena.

Při tváření za studena stoupá nepřetržitě s rostoucím stupněm přetvoření přetvárný odpor. V závislosti na druhu materiálu a základním přetvárném odporu σ_s vykazuje nejlépe exponenciální tvar závislosti přetvárného odporu na stupni přetvoření [9].

$$\sigma_s = a \cdot \varphi^n$$

kde $\varphi^n = \ln \cdot \frac{h_o}{h_x} / ^n$ logaritmický stupeň přetvoření

n..... je exponent udávající průběh křivky zpevnění

a..... jednotková přetvárná práce [$J \cdot cm^{-3}$],

tj. práce potřebná k tváření jednotky objemu určitým stupněm přetvoření.

Naproti tomu při tváření za tepla z počátku přetvárný odpor stoupá, ale podle Siebela [7] se při přetvoření přes 30% udržuje na konstantní hodnotě nebo mírně klesá. Naproti tomu výzkumy válcování a pěchování [7] ukazují, že též při tváření za tepla, tj. nad rekrytalizační teplotou, nastává trvalý růst přetvárného odporu v závislosti na velikosti přetvoření. Z toho vyplývá, že nastává zpevnění materiálu. Tváření za tepla bez růstu zpevnění nastane jen tehdy, když je zpevnění okamžitě zrušeno rekrytalizací, ke které musí být dostatek času. To znamená, že tváření za tepla bez růstu

zpevnění nastává jen tehdy, když je rychlost přetvoření stejná nebo menší než rychlost rekrystalizace.

3.1.3. Vliv přetvárné rychlosti

Při tváření se pohybuje tvářecí nástroj určitou rychlostí. Rychlost nástroje je závislá na druhu použitého stroje. Pro hlavní typy tvářecích strojů se uvažují tyto rychlosti [9] :

- hydraulické lisy	do $0,2 \text{ ms}^{-1}$
- buchary v okamžiku úderu	$5 \div 8 \text{ ms}^{-1}$
- vřetenové lisy	$0,3 \div 0,6 \text{ ms}^{-1}$
- mechanické klikové lisy	$0,3 \div 0,5 \text{ ms}^{-1}$

Poměrná rychlost tváření φ' je definována jako rychlost, kterou se k sobě blíží plunžry tvářeného materiálu, vzdálené od sebe o jednu délkovou jednotku. Je to změna stupně přetvoření za časovou jednotku. Je-li rychlost nástroje v a stlačujeme-li těleso o nekonečně malou výšku dh , bude stupeň přetvoření dle literatury [9]

$$d\varphi = \frac{dh}{h}$$

Změna stupně přetvoření za časovou jednotku neboli poměrná rychlost tváření bude

$$\varphi' = \frac{d}{dt} = \frac{\frac{dh}{h}}{dt}$$

Při pěchování je rychlost nástroje $v = \frac{dh}{dt}$. Z toho plyne $dt = \frac{dh}{v}$. Dosazením dt do rovnice pro φ' dostáváme :

$$\varphi' = \frac{\frac{dh}{h}}{\frac{dh}{v}} = \frac{v}{h} [\text{s}^{-1}]$$

Poměrná rychlost tváření je závislá nejen na rychlosti nástroje, ale též na stlačované výšce. Bude-li výška stlačovaného materiálu větší, bude poměrná rychlost tváření za stejných podmínek menší.

Střední poměrnou rychlost tváření určíme pro $v = \text{konst.}$ dle vztahu :

$$\varphi'_{\text{stř.}} = \frac{v \cdot \ln \frac{h}{h_0}}{h_0 - h}$$

kde h_0 je výška před tvářením a h výška po tvářením.

Pro práci na bucharu, kdy rychlost dopadu v_0 je větší než rychlost nástroje, která postupně klesá na nulu, bude střední poměrná rychlost tváření :

$$\varphi_{\text{stř}} = \frac{2 \cdot v_0}{h_0 - h} \cdot \left/ 1 - \frac{h}{h_0 - h} \arctg \frac{h_0 - h}{h} \right/$$

Jak uvádí literatura [7] byly prováděny zkoušky při vyšších přetvárných rychlostech. Při pěchování pod padacím buharem stoupá přetvárná rychlost až do určitého maxima a ke konci pěchování prudce klesá k nulové hodnotě.

3.1.4. Vliv teploty na tvářitelnost kovů

Teplota tváření má přímý vliv na charakteristiky tvářitelnosti. S rostoucí teplotou klesá přetvárný odpor a rostou hodnoty plastické deformace. Rozhraní mezi tvářením za tepla a za studena je dáno teplotou rekrytalizace T_r , pro kterou platí vztah podle Bočvara [9]:

$$T_r \geq 0,4 T_t$$

kde T_t je absolutní teplota tavení.

Podle toho, jaké množství, tvářením vyvinutého, tepla se spotřebuje na zvýšení teploty tvářeného materiálu rozdělujeme tvářecí pochody na: izometrické /teplota tvářeného materiálu se nemění/, adiabatické /veškeré vyvinuté teplo zůstane uvnitř materiálu a přispěje ke zvýšení teploty/ a polytropické /část tepla se odvede do okolí a část zůstane uvnitř tvářeného materiálu/.

Rozdělení teplot při protlačování za studena studoval KOBAYASHI [9]. Nejvyšší teplotu naměřil na přechodu do redukovaného průměru a to asi 220°C .

Při zkouškách tváření ocelí za tepla je nutno pracovat nad teplotou min. 900°C , tj. nad rekrytalizační teplotou, a potom můžeme zvýšení teploty během tváření zanedbat.

3.2. Vliv vibrací na tvářitelnost kovů

Práce vibračního lisu je charakterizována frekvencí a amplitudou vibrací. Při experimentech prováděných přechováním vzorků z hliníkových slitin za studena se ukázalo, že se s rostoucím kmitočtem a amplitudou vibrací zvětšuje stupeň deformace. Podobných výsledků bylo dosaženo i při přechování vzorků z uhlíkových ocelí [5].

Základním účelem operací kalibrování a kování do zápustky je získání přesných výkovků bez dalšího mechanického opracování. Je známo, že při kování mezi rovnými čely dostávají čelní povrchy výkovku vypuklý tvar. Hlavní příčinou tohoto jevu je místní pružná deformace nástroje, která závisí na velikosti a charakteru rozložení normálních napětí na styčném povrchu. Sovětští autoři se domnívají, že zlepšení přesnosti rozměrů a tvaru přinese použití vibrační techniky.

Výsledky provedených zkoušek [7] ukazují, že se např. při deformaci vzorků různých průměrů a výšky $h_0 = 10$ mm z hliníkových slitin a uhlíkových ocelí za studena zvyšuje přesnost tvaru a rozměrů. Zlepšení přesnosti tvaru a rozměrů tvářených vzorků je charakterizováno nejen velikostí vypuklosti čelních povrchů vzorku, ale i velikostí vypuklosti bočních povrchů. Rozhodující příčinou je vysoký součinitel vnějšího tření, který se při použití vibrací snižuje.

Při porovnávacích zkouškách, prováděných ve VÚTS Brno [7] byly provedeny zkoušky pēchováním na klasickém hydraulickém lise a na hydraulickém lise s přídavným vibračním zařízením / schéma viz obr. 11 /. Při tváření na lise s přídavným vibračním zařízením byl zjištěn o 15% nižší přetvárný odpor než při použití lisu bez vibračního zařízení. Při zkouškách byl použit materiál 11500 a tváření probíhalo při teplotě 900°C. Snížení přetvárného odporu je zřejmě způsobeno snížením vnějšího tření. Toto potvrzuje skutečnost, že při vibračním pēchování zkušebního vzorku byla zjištěna pouze mírná soudkovitost. Naopak při statickém pēchování na hydraulickém lise byla zjištěna soudkovitost větší. Přetvárný odpor stoupá při tváření ocelí různého typu velmi prudce až do hodnoty přetvoření okolo 20%. Nad touto hodnotou je další růst přetvárného odporu pozvolnější.

Z uvedeného lze učinit následující závěry [7] :

- při vibračním pēchování ocelí za tepla se sníží přetvárný odpor v průměru o 15% proti statickému pēchování,
- přetvárný odpor se snižuje s rostoucí frekvencí a amplitudou vibrací.

4. NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO PRACOVISTĚ

4.1. Plánované experimentální práce

Tvářitelnost kovových materiálů je založena na jejich plasticitě. Způsob zpracování má značný vliv na tvářitelnost vzhledem k rozdílnému rozdělení napjatostí, popř. k různé rychlosti tváření. Experimentální zkoušky nám dávají představu o základních vlivech působících na tvářitelnost. Jsou to např. tyto vlivy: druh napjatosti, poměrná rychlost tváření, teplota tvářeného kovu, stupeň přetvoření a příp. druh použitého tvářecího zařízení.

Při experimentech na navrženém vibračním zařízení je možno zjišťovat plastické vlastnosti kovů za odpovídajících podmínek, sledovat vliv složení /struktury/ materiálu na tvářitelnost a sledovat vliv proměnných parametrů vlastního zařízení. Výsledky těchto zkoušek budou představovat konkrétní údaje pro další uplatnění a rozšíření této nové technologie tváření.

4.1.1. Zkouška tlakem

Zkouška tlakem pěchováním válcového zkušebního tělesa je běžně používána ke zjišťování plastických vlastností kovů za studena i za tepla. Jelikož napětí v tvářecím kovu odpovídá napětí při skutečném technologickém zpracování kovů, dává nám tato zkouška možnost zjistit prakticky potřebné údaje, zejména přetvárný odpor.

a/ Zkušební tělesa pro zkoušku tlakem

Aby nedošlo k ohybu vzorku při zkoušce tlakem, nesmí být výška zkušebního tělesa větší než 2,5 násobek průměru. Obvykle se pro zkoušky tlakem používá válcových těles, jejichž výška je / 1,5 - 2 / násobek průměru. Nejčastěji

se pro zkoušky tlakem používá těles o průměru 10 mm a výšce 20 mm s rovnými čely. Abychom mohli zjistit přetvárný odpor bez dalších korekcí snižujeme tření mazáním stykových ploch mezi zkušebním tělesem a tlačnou plochou nástroje na co nejmenší míru. Abychom zabránili vytlačování maziva je třeba upravit zkušební tělesa vybráním čelních ploch. Bylo zjištěno, že síla potřebná ke stlačování vzorků s rovnou nemazanou plochou je přibližně o 13% větší než u mazaných vzorků s vybráním.

b/ Určení základního přetvárného odporu

Metoda určení přetvárného odporu z průběhu síly a stlačení při pěchování vychází z velikosti síly "F" a stlačení " Δh ". Obě hodnoty registruje elektrické zapisovací zařízení.

Pro přetvárný odpor platí vztah:

$$\sigma_s = \frac{F}{S}$$

$$\text{kde } S = \frac{V}{h_0 - h}$$

po dosazení dostáváme

$$\sigma_s = F \cdot \frac{h_0 - h}{V} \quad [N \cdot mm^{-2}]$$

kde $S [mm^2]$... původní plocha vzorku
 $V [mm^3]$... objem tvářeného vzorku
 $F [N]$... tvářecí síla při stlačení h
 h_0 ... původní výška vzorku
 h ... výška vzorku po tváření

Známe-li průběh síly F v závislosti na příslušném stlačení Δh můžeme určit průběh základního přetvárného odporu během stlačování. Křivku zpevnění, tj. vztah mezi přetvárným odporem [8] a logaritmickým stupněm přetvoření odvodíme z diagramu $F - \Delta h$. Na vodorovnou osu vyneseme stupnici $\varphi = \ln \cdot \frac{h_0}{h}$ a na svislou osu stupnici základního přetvárného odporu σ_s . Pro jednotlivé stupně přetvoření $h_1, h_2 \dots$ atd. určíme hodnoty základního přetvárného odporu σ_s . Graficky vytvoříme hodnoty středních přetvárných odporů $\sigma_{stř.}$ a můžeme nakreslit diagram jednotlivé práce a ,

$$a = \frac{A}{V}$$

kde $A \dots$ je celková absolutní práce $[J]$
 $V \dots$ je objem tvářeného tělesa $[mm^3]$.

c/ Určení křivek zpevnění při zkouškách ve vibračním zařízení

Zkoušky budou prováděny na navrženém vibračním zařízení /max. tvářecí síla 180 kN/ umístěném na hydraulickém lise CDM 80. Použijeme zkušební tělesa o průměru 10 mm a výšce 20 mm. Zkušební těleso přetvoříme na výšku 15 mm. Registrační zařízení zaznamenává diagram stlačení Δh a sílu F . Pro jednotlivé zvolené výšky stlačení určíme z diagramu odpovídající síly a vypočítáme okamžitou plochu styku vzorku s plochou nástroje

$$s = \frac{S_0 \cdot h_0}{h} [mm^2] \quad [9].$$

Pro jednotlivé plochy vypočteme základní přetvárné odpory σ_s . Nakreslíme křivku zpevnění, tj. závislost základního přetvárného odporu na logaritmickém stupni přetvoření. Do tohoto diagramu dále zakreslíme křivku jednotkové práce "a".

Navržený experiment je možno provést pro různé typy materiálů vzorků a pro různé velikosti amplitud a frekvencí. Porovnáním a rozbohem naměřených hodnot získáme přehled o vlivu jednotlivých veličin.

Pro zjištění rozdílu mezi tvářením bez vibrací a s vibracemi je třeba provést srovnávací zkoušky. Tyto zkoušky je možno provést na navrženém vibračním zařízení s použitím navržené měřicí aparatury. Vibrační zařízení bude vyřazeno z činnosti.

4.1.2. Vibrační dopředné protlačování

Jednou z dalších možných aplikací jsou srovnávací zkoušky přímého dopředného protlačování hliníku s vibracemi na hydraulickém lise a bez použití vibrací.

Při tvářením bez vibrací a s vibracemi se liší podmínky pro tvářením kovů a průběh deformace. Technologické zkoušky dopředného vibračního protlačování přináší i poznatky o vlivu vibračního tvářením při technologických operacích, kde dochází k zatékání materiálu do dutin zápusťky.

Důležitým technologickým údajem, který vyjadřuje velikost redukce je určení slisovacího poměru K [10]

$$K = \frac{S_0}{S_1}$$

kde S_0 je plocha příčného průřezu otvoru vložky zásobníku v $[\text{mm}^2]$.

S_1 je součet ploch průtlačně lisovaných otvorů /viz obr. 12/.

Úběr se při protlačování stanoví ze vztahu:

$$u = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 [\%]$$

V praxi se pro hliník a jeho slitiny používá $K_{\min} \gg 7$, což odpovídá $\varphi_{\min} \gg 0,83$. V případě, že slisovací poměr nedosahuje těchto hodnot, není struktura tvářeného materiálu rovnoměrná a vyskytují se značné rozdíly v mechanických vlastnostech.

Hodnota slisovacího poměru má také rozhodující vliv na velikost sil při průtlačném lisování. Materiál klade těmto silám přetvárný odpor.

Síla potřebná k protlačení materiálu:

$$F = p \cdot S$$

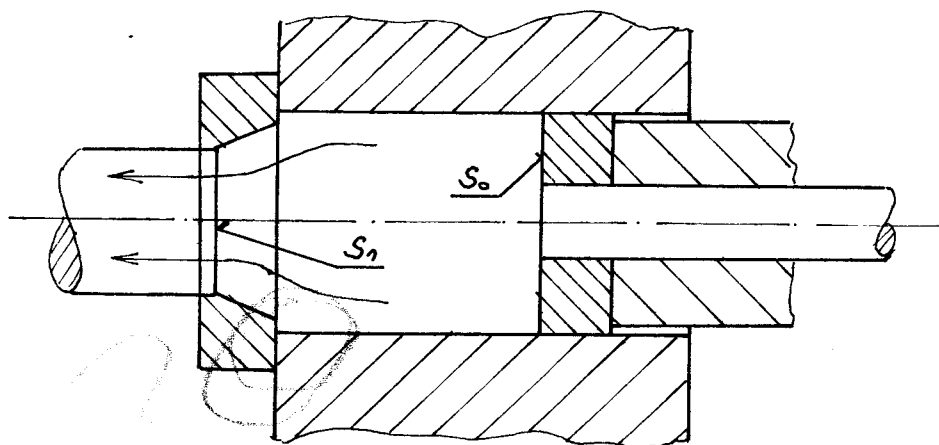
kde p ... je měrný tlak nutný k protlačení materiálu
[N . mm⁻²]

S_0 ... je plocha průřezu vložky zásobníku [mm²]

Měrný tlak se určuje experimentálně. Jedním z nejvíce používaných principů vytlačování je přímé průtlačné lisování. Schéma je uvedeno na obr. 12.

Teplota protlačovaného materiálu závisí na druhu použitého kovu. Čistý hliník lze protlačovat při teplotách do 500°C.

Při zkouškách vibračního protlačování je možno sledovat vliv mazání / velikost sil při protlačování a tok materiálu jsou ovlivněny velikostí tření /. Tenzometrickým měřením je možno zjišťovat průběh síly v závislosti na čase a případně porovnat získané výsledky s protlačováním statickou silou.



Obr. 12 - Schéma příčného průtlačného lisování.

4.2. Návrh vibračního zařízení

Na základě rozboru problematiky vibračního tváření, provedeného v předcházejících kapitolách, byly určeny hlavní požadavky kladené na navrhovaná zařízení a uspořádání experimentálního pracoviště. Hlavní požadované parametry vibračního zařízení:

- maximální tvářecí síla $F = / 150 \div 200 / \text{ kN}$
- rozsah frekvencí $f = / 10 \div 50 / \text{ Hz}$
- rozsah amplitud $z = / 0,1 \div 0,5 / \text{ mm}$

Vibrační zařízení bylo navrženo jako přídatné na hydraulický lis CDM 80. Tento lis umožňuje dosáhnout maximální tvářecí síly 800 kN. V našem případě využijeme pouze část tvářecí síly a to v rozsahu daném velikostí síly, kterou je schopen vyvodit pracovní válec vibrátoru. To znamená, že hlavní tvářecí sílu vytváří pracovní válec hydraulického lisu CDM 80. Přídatné vibrační zařízení, které je upevněno na stole lisu uděluje tvářeným vzorkům vibrační pohyb v rozsahu uvedených frekvencí a amplitud.

4.2.1. Popis vibračního zařízení

Navržené vibrační zařízení je hydraulické, šoupátkového typu. Konstrukce a uspořádání jsou zřejmé z výkresu sestavení DP-ST-1380/78-01 /viz příloha/. Na společné základové desce "1" je umístěn pracovní válec vibrátoru a rotační šoupátko s hnacím elektromotorem 3 AP 90 S-4. Vibrační pohyb pístu jednočinného pracovního válce vibrátoru je vyvozen pulsujícím tlakem pracovní kapaliny. Frekvence pulsů tlakové kapaliny je dána počtem otáček rotačního šoupátka. Stupňovitá změna otáček se provádí úpravou převodového poměru řemenového převodu mezi rotačním šoupátkem a hnacím elektromotorem.

Schéma zapojení hydraulického obvodu je uvedeno na obr. 13. Zdrojem tlakové kapaliny je hydraulický agregát TE 40/160-100 "1" /výrobek maďarské firmy Danuvia/, který byl zvolen na základě výpočtu uvedeného v kap. 4.2.2. Regulací množství dodávané tlakové kapaliny lze měnit amplitudu pístu vibračního válce. Množství tlakové kapaliny je plynule regulováno škrtícím ventilem ZFRM-10-20150L "2" /Danuvia/. Aby bylo vyloučeno namáhání hydraulického agregátu a škrtícího ventilu rázy, které vznikají při uzavírání průtoku tlakové kapaliny rotačním šoupátkem, je tato část hydraulického obvodu oddělena zpětným ventilem S-10-AZ "3" /Danuvia/. K tlumení vzniklých rázů lze použít hydraulický akumulátor 215 AGV-O,4 "4" /výrobce Jihlavan n.p. Jihlava/. Na základě údajů lit. [11] se ukazuje, že pro náš případ by bylo vhodnější použít průtokový akumulátor. Pro Evropu dodává švédská firma PR Hydraulik AB Pyrolavagen, LIDINGO tlumič pulzací americké firmy GREER OLAER HYDRAULIK pod názvem GREER PULSE TONE. Je konstruován pro provozní tlak 21MPa. Výrobce udává, že zařízení je schopno tlumit pulsace až do frekvencí 170 Hz.

4.2.2. Určení hlavních parametrů vibračního zařízení

a/ Pracovní válec vibrátoru

Hlavním rozměrem vibrátoru je průměr pracovního válce D. Tento rozměr byl určen na základě požadované tvářecí síly F a tlaku p kapaliny dodávané hydraulickým agregátem.

Dáno: $p = 15,2 \text{ MPa}$ /zahrnut vliv tlakových ztrát v hydraulickém obvodu/

$F = 180 \text{ kN}$, tj. $0,18 \text{ MN}$

plocha pístu S :
$$S = \frac{F}{p} = \frac{0,18}{15,2} = 0,0118 \text{ m}^2$$

průměr pístu D :
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0118}{\pi}} = 0,122 \text{ m}$$

volíme $D_{\text{skut.}} = 130 \text{ mm}$

Kontrola skutečné tvářecí síly:

$\eta = 0,9$ účinnost pracovního válce

$$F_{\text{skut.}} = F \cdot \eta = p \cdot S_{\text{skut.}} \cdot \eta = p \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{skut.}}^2}{4} \cdot \eta =$$
$$= 15,2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,13^2}{4} \cdot 0,9 =$$
$$= 0,18158 \text{ MN}$$

$F_{\text{skut.}} = 181,5 \text{ kN}$

b/ Rotační šoupátko

K řízení frekvence pulsů vibračního válce slouží dvoucestné rotační šoupátko s nesymetrickým rozvodem. Schématicky je rotační šoupátko uvedeno na obr. 14. Jsou

zde rovněž uvedeny hlavní rozměry.

Změnou otáček rotačního šoupátka se mění počet spojení prostoru pracovního válce se zdrojem tlakové kapaliny. Pro navržené zařízení jsou uvedeny použité frekvence a tomu odpovídající průměry řemenic rotačního šoupátka a hnacího elektromotoru v tab. I. Řemenice rotačního šoupátka a elektromotoru je možno zaměnit.

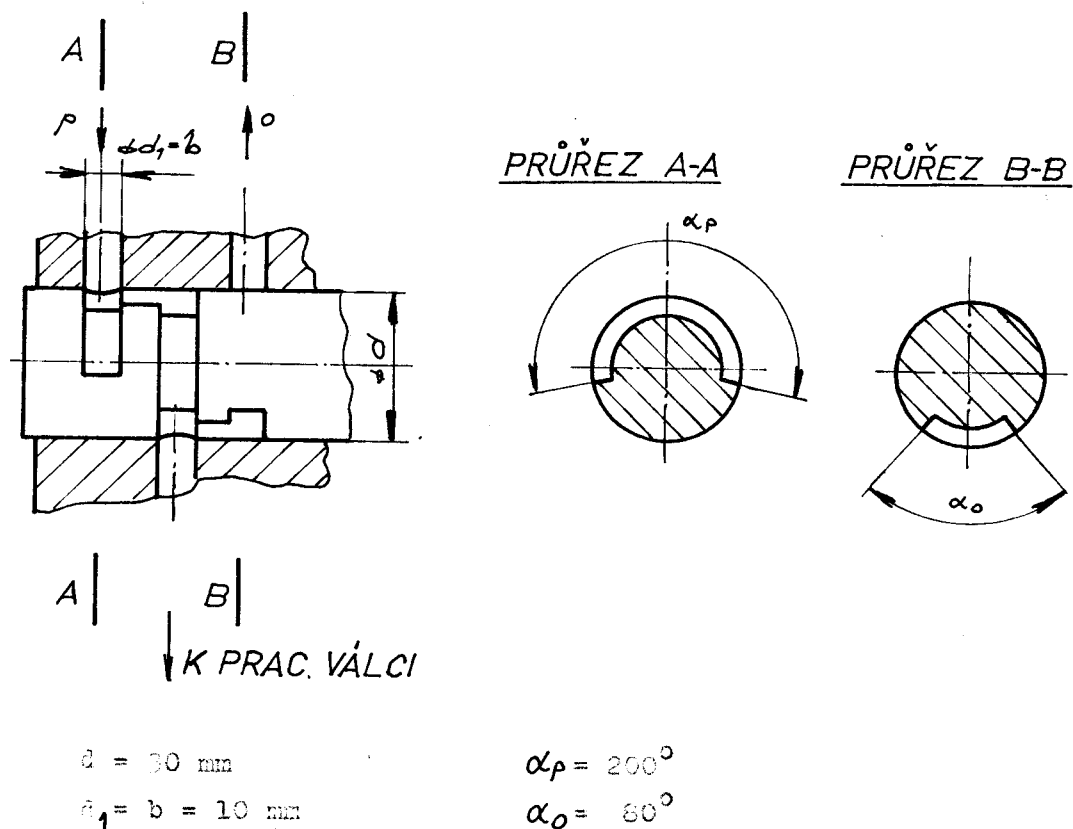
frekvence [Hz]	ø řemenice rotač- ního šoupátka [mm]	ø řemenice elektromotoru [mm]
10	214	93
30	164	214
50	98	214

Tab. I. - Rozměry řemenic rotačního šoupátka a hnacího elektromotoru.

Při návrhu rotačního šoupátka byla snaha o dosažení maximálního poměru doby spojení tlakové větve s pracovním válcem k době spojení s odpadem. Závislost plochy průřezu tlakové a odpadní větve na úhlu pootočení šoupátka je uvedena na obr. 15. Při navržených rozměrech šoupátka a tomu odpovídajících průřezových charakteristikách bylo dosaženo poměru

$$k = \frac{\varphi_{1p} + \varphi_{2p}}{\varphi_0} = \frac{120^\circ + 120^\circ}{120^\circ} = 2$$

Doba spojení prostoru pracovního válce s odpadem je dostatečná a plně postačuje na vyprázdnění celého objemu



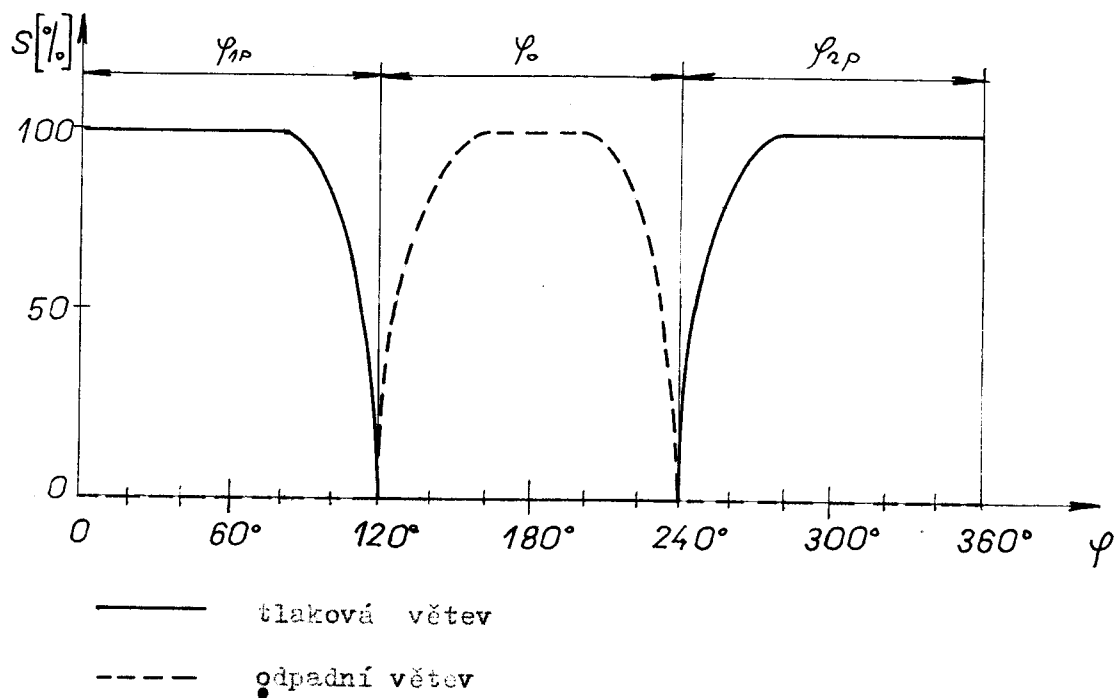
Obr. 14 - Dvoucestné rotační šoupátko.

kapaliny v pracovním válci. Výtlačková rychlost kapaliny přitom nepřesáhne hodnoty doporučené v literatuře [12].

c/ Určení množství tlakové kapaliny dodávané hydraulickým agregátem

Při návrhu vycházíme z rozměrů pracovního válce vibrátoru. Z těchto rozměrů a požadované maximální frekvence a amplitudy vibrací určíme potřebné množství tlakové kapaliny.

Objem tlakové kapaliny připadající na 1 zdvih pracovního válce.



Obr. 15 - Závislost plochy průřezu šoupátka na úhlu pootočení.

Dáno: $D = 1,3 \text{ dm}^3$

$z = 0,005 \text{ dm} \quad /z = z_{\text{max.}}/$

$$V_{pv} = S \cdot z = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot z = \frac{\pi \cdot 1,3^2}{4} \cdot 0,005 = 0,0066 \text{ dm}^3$$

Při maximální frekvenci $f = 50 \text{ Hz}$ je doba jedné otáčky šoupátka rovna $t_g = 0,02 \text{ s}$. Z toho plyne množství kapaliny, které musí hydraulický agregát dodat:

$$Q = \frac{V_{pv}}{t_g} = \frac{0,0066}{0,02} = 0,33 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$Q = 19,8 \text{ dm}^3/\text{min.}$$

Tlaková větev je během jedné otáčky šoupátka spojena s pracovním válcem pouze po dobu odpovídající úhlu natočení $\varphi_p = \varphi_{1p} + \varphi_{2p}$ /viz obr. 15 /. Skutečně potřebné množství tlakové kapaliny bude tedy větší a to v poměru

$$k_p = \frac{360^\circ}{\varphi_p} .$$

$$Q_{\text{skut.}} = Q \cdot k_p = 19,8 \cdot \frac{360}{120 + 120} = 29,7 \text{ dm}^3/\text{min}.$$

Byl zvolen hydraulický agregát, typ TE-40/160-100, s těmito parametry:

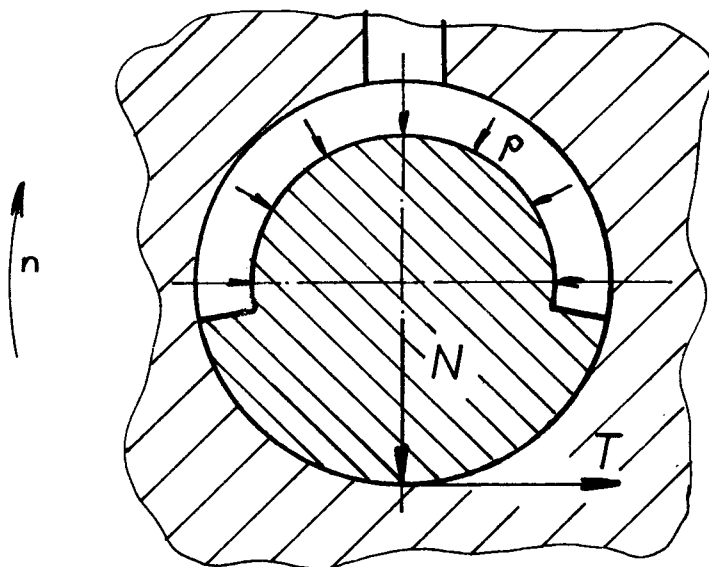
- nominální pracovní tlak 16 MPa
- nominální množství tlakové kapaliny $40 \text{ dm}^3/\text{min}$
- objem olejové nádrže 100 dm^3

Na základě pozorování uvedených parametrů s vypočtenými hodnotami je zřejmé, že navržený typ agregátu vyhovuje.

d/ Určení příkonu elektromotoru pohánějícího rotační šoupátko

Příkon hnacího elektromotoru byl určen z velikosti obvodové třecí síly mezi šoupátkem a tělesem a maximálních otáček šoupátka. Rozložení sil na šoupátku je zřejmé z obr. 16.

- $T [N]$ třecí a obvodová síla
- $N [N]$ kolmá síla
- $p [MPa]$ tlak pracovní kapaliny
- $n [s^{-1}]$ otáčky šoupátka



Obr. 16 - Rozložení sil na rotačním šoupátku.

Kolmá síla N :

$b = 0,01\text{m}$ šířka kanálu

$d = 0,03\text{m}$ průměr rot. šoupátka

$$N = S \cdot p = d \cdot b \cdot p = 0,03 \cdot 0,01 \cdot 15,2$$

$$N = 0,0046 \text{ MN}$$

$$N = 4600 \text{ N}$$

Třecí obvodová síla T :

součinitel tření $\mu = 0,07$ [13]

$$T = N \cdot \mu = 4600 \cdot 0,07 = 322 \text{ N}$$

$$T = 322 \text{ [N]}$$

Kroutící moment M_k

$$M_k = T \cdot \frac{d}{2} = 322 \cdot \frac{0,03}{2} = 4,8 \text{ N.m}$$

Příkon elektromotoru: P

$$n = 50 \text{ s}^{-1}$$

$$P = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = 4,8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50$$

$$P = 1508 \text{ W}$$

Z diagramu uvedeného na obr. 15 je zřejmé, že tlak pracovní kapaliny působí pouze na úhlu $\varphi_p = 240^\circ$. Skutečný potřebný příkon hnacího elektromotoru bude tedy nižší a to v poměru $k_\varphi = \frac{\varphi_p}{360^\circ}$.

$$P_{\text{skut.}} = P \cdot k_\varphi = 1508 \cdot \frac{240}{360} = 1005 \text{ W}$$

$$P_{\text{skut.}} = 1,005 \text{ kW}$$

Byl zvolen elektromotor 3AP 90 S-4 s těmito parametry:

$$P = 1,1 \text{ kW}$$

$$n = 1380 \text{ 1/min}$$

4.3. Návrh měřicího zařízení

Pro zjišťování přetvárného odporu tvářeného vzorku je třeba měřit v průběhu pracovního procesu tvářecí sílu a deformaci. Pro toto měření je vhodné použít termometrického siloměru [9]. Tento způsob nevyžaduje velké úpravy tvářecího nástroje. Tuhost tensometrického snímače je větší, než při použití kapacitního siloměru, který vyžaduje pro svou funkci větší deformace tělesa siloměru. Tuhost siloměru je však v tomto případě prvořadou vlastností, protože chceme docílit minimálního zkreslení snímaného děje. Z literatury je známo, že poměr vlastní frekvence siloměru ke kmitočtu snímaného děje musí být roven nebo větší než 5, aby zkreslení kleslo pod 4%.

4.3.1. Návrh tenzometrického siloměru

Pro návrh tenzometrického siloměru jsme využili stávajících zkušeností získaných na VŠST a údajů z literatury [9]. Vlastní siloměr je možno navrhnout jako prostý válec, na jehož plášti jsou nalepeny 4 tenzometrické snímače. Dva podélné a dva příčné, vždy přesně proti sobě, neboť se tímto způsobem ruší ohybová složka síly, která zde vzniká od excentricky působící tlakové síly. Dvojice podélných snímačů měří přímo tlakovou deformaci vznikající při působení tvářecí síly. Druhá dvojice příčných snímačů měří tahovou složku. Tímto můstkovým zapojením snímačů docílíme vyšší citlivosti, která je v tomto případě rovna 2,6 násobku citlivosti jediného snímače.

Snímače je možno použít až do 80°C . Nad touto teplotou lepidlo měkne a tím dochází ke snížení citlivosti siloměru.

Na základě uvedených předpokladů jsme navrhli schéma siloměru uvedeného na obr. 17. Těleso siloměru "9" s nalepenými snímači "3" je uloženo na podložce z hliníku "8". Tato podložka rozkládá působící sílu na celou plochu a odstraňuje tak vliv náhodných nerovnoměrností dosedací plochy siloměru. Na horní dosedací ploše je uloženo víko "2". Velikost plochy víka je volena s ohledem na průřez zkušebního vzorku. Víka jsme rovněž využili jako nosiče snímače dráhy.

4.3.2. Návrh snímače dráhy

Pro měření dráhy jsme zvolili kapacitní snímač, který zde poskytuje několik výhod oproti jiným metodám. Hlavní výhodou je bezdotykové snímání dráhy a vyloučení mechanických kontaktů. Je nutno navrhnout snímač dráhy tak, aby měřený rozsah dráhy vyvolal změnu kapacity lpF . Princip

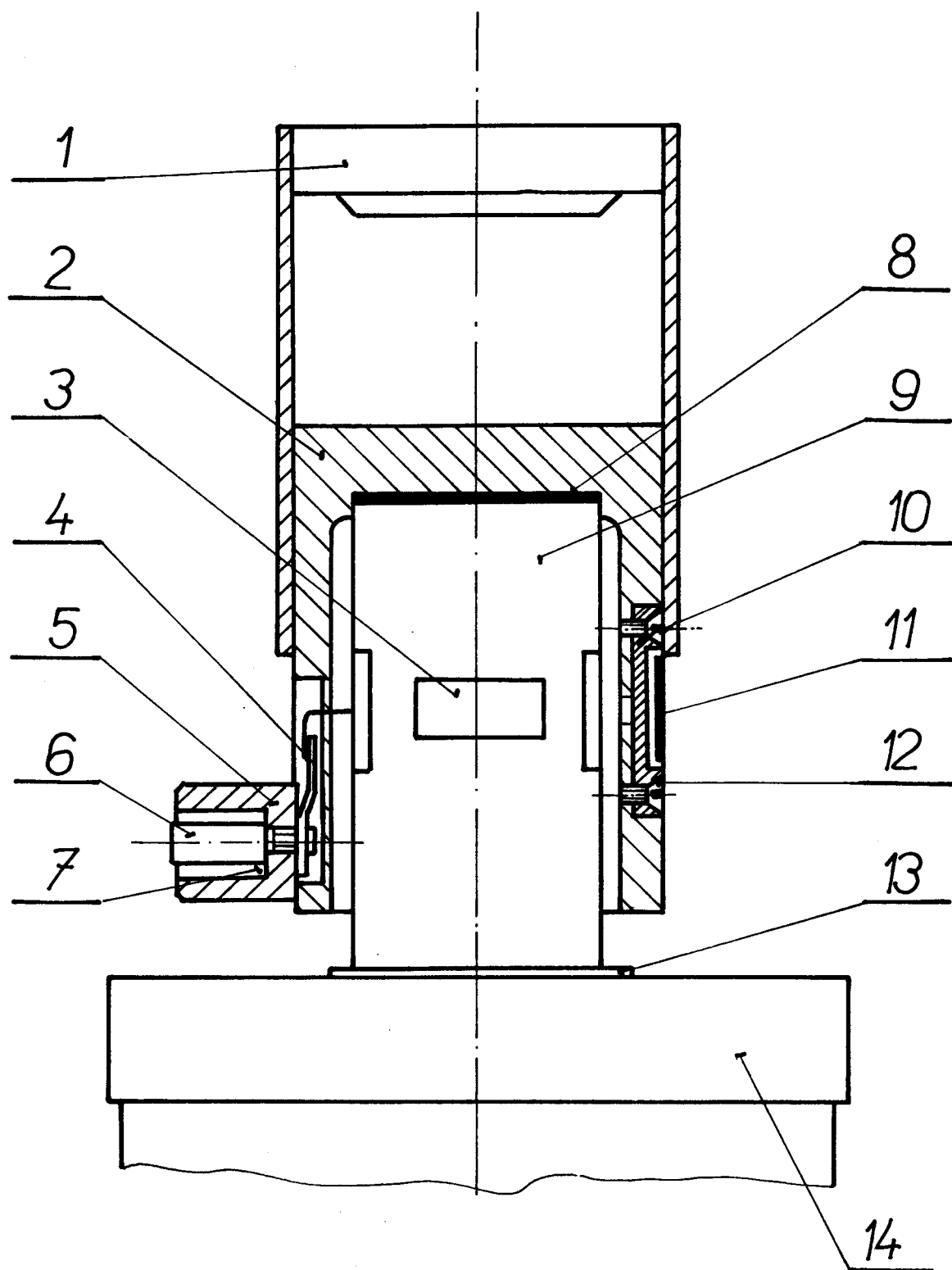
snímače je známý a používá se v mnoha obměnách. Pro náš případ volíme dvě proti sobě ležící elektrody "11" /živé/ viz obr. 17 zalité v plastické hmotě. Druhou elektrodou /zemnicí/ bude v tomto případě plášť "10", který se pohybuje po vnějším obvodu pláště víka siloměru "2" a tím mění kapacitu snímače. Rozměry živé elektrody "11" jsou dány požadavkem změny kapacity.

4.4. Uspořádání experimentálního pracoviště

Vzhledem k plánovaným experimentálním pracím navrženým v kap. 4.1. byl určen charakter a uspořádání experimentálního pracoviště vibračního tváření. Základ pracoviště tvoří hydraulický lis CDM 80, na jehož stole je umístěno přídatné vibrační zařízení. Vlastní uspořádání pracoviště, jak je zřejmé z obr. 18 a 19, nám dovoluje provádět zkoušky pěchováním a protlačováním, ale i zkoušky lisováním bez použití vibrací. Je tedy možno srovnávat výsledky zkoušek lisování statickou silou /tj. bez použití vibrací/ s hodnotami získanými při lisování s vibracemi. V obou uvedených případech je možno použít navržené měřicí aparatury a tím vyloučit nežádoucí chyby vzniklé při použití různých měřících aparatur.

Vlastní siloměr je uložen na kalené podložce a vystředěn do osy pomocí čepu. Pro vyloučení vlivu nerovnoměrnosti dosedací plochy je opět použito měkké podložky "13" mezi spodní částí siloměru a podložkou vibrátoru "14"/viz obr. 17/.

Blokové schéma navrženého měřícího zařízení je uvedeno na obr. 18. Obvod tenzometrických snímačů je připojen kabelem na vstup vyhodnocovací jednotky DISA 9. Výchylka bodu na stínítku osciloskopu je úměrná velikosti měřené síly.



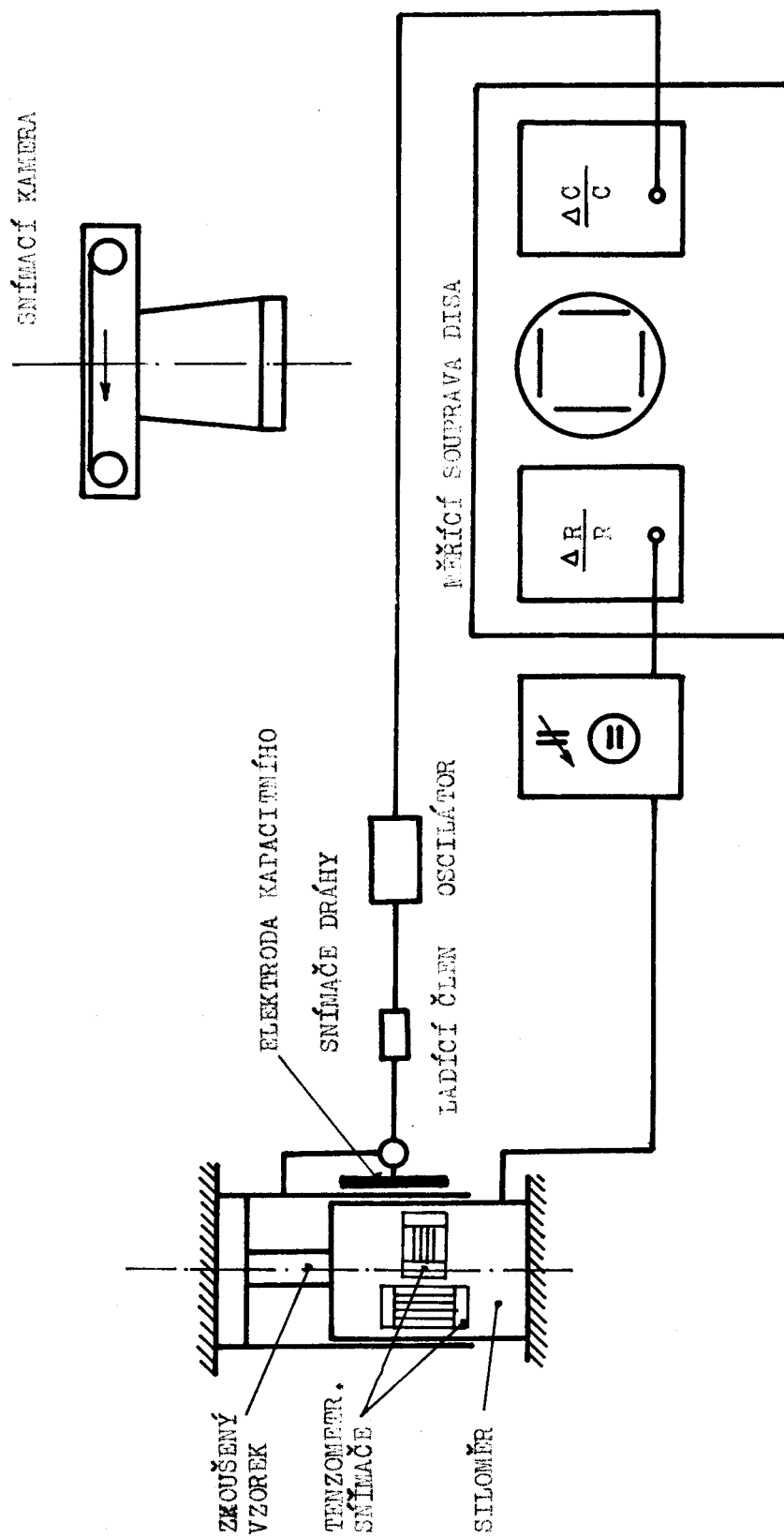
Obr. 17 - Tenzometrický siloměr se snímačem dráhy.

Změna dráhy kapacitního snímače se převádí na změnu kmitočtu oscilátoru. Tato změna je pak opět úměrná výchylce bodu na stínítku osciloskopu.

Ze stínítka osciloskopu se oba děje snímají speciální kamerou / např. Cossor /. Filmový pás se musí pohybovat konstantní rychlostí. Tímto způsobem získáme časovou základnu pro oscilogramy zobrazené na filmu. Z časového záznamu síly a dráhy se pak vyhodnotí závislost síly na dráze.

Pro další zlepšení pracoviště vzhledem k rozšíření rozsahu zkoušek /tváření za tepla, zkoušení mechanických vlastností tvářených vzorků a studia změn struktur při vibračním tváření/ je možno doplnit navržené pracoviště následujícími zařízeními:

1. Zařízení pro ohřev vzorků
2. " pro kontrolu teploty tvářených vzorků
3. " pro zkoušku mikrotvrdosti
4. " pro zkoušku houževnatosti
5. " pro sledování strukturních změn.



Obr. 19 - Blokové schéma měřicího zařízení.

5. Z Á V Ě R

Cílem diplomové práce bylo shrnutí dosavadních poznatků v oblasti vibračního tváření a používání vibrační techniky. Vzhledem k dostupné literatuře lze říci, že zájem o tváření vibracemi je veden dvěma směry. Jedná se buď o konstrukci speciálních vibračních lisů, např. v SSSR lisobuchary typu GIP, speciální vibrační síly na přesné stříhání plechů /švýcarská firma ESSA/. Druhým směrem je vývoj přídavných vibračních zařízení, která lze použít v běžné lisovací technice. Tento druhý způsob je podmíněn výhodnějšími ekonomickými ukazateli /vzhledem k pořizovacím nákladům/.

Při návrhu experimentálního pracoviště vibračního tváření jsme využili především poznatků sovětských autorů o konstrukci vibračních zdrojů. Z ekonomických důvodů jsme zvolili koncepci přídavného zařízení, určeného na hydraulický lis CDM 80, který je na KTM k dispozici. Vibrační zařízení je na principu rotačního šoupátka, které je výrobně dostupné a splňuje požadované parametry.

Uspořádání experimentálního pracoviště, navržená měřicí aparatura a regulační prvky hydraulického obvodu dávají spolu s lisem CDM 80 možnost ověření řady postupů jak oboru vibračního tváření, tak i z klasického tváření klidnou silou. Tím je dána možnost srovnání obou tvářecích technologií.

Dosud získané poznatky ukazují, že největší uplatnění má použití vibrační techniky při lisování kovových prášků. V tvářecích pochodech, jako kování, bude mít vibrační tváření přednost oproti klasickému ve snižování přetvárného odporu, zlepšování mechanických vlastností a přesnosti výrobků.

Předložená práce nevyčerpává / vzhledem ke svému omezenému obsahu / celou problematiku vibračního tváření. Návrh experimentálního pracoviště je však možno považovat za příspěvek ke snaze o rozšíření poznatků v této nově se rozvíjející technologii tváření.

Závěrem děkuji především Doc. Ing. Jaroslavu Křištofovi, Csc za cenné rady a připomínky. Dále děkuji všem pracovníkům katedry za pochopení a pomoc při řešení mého diplomového úkolu.

Zdeněk Vojtěch
posluchač 5. roč. SF
VŠST Liberec

6. L I T E R A T U R A

- [1] Baranov, V. - Zacharov, E.:
Elektrogidravličeskije i gidravličeskije vibracionnyje
mechanizmy
- [2] Matvejev, J.:
Vybor principálnoj schémy vibracionno pressa;
Kuzněčno-štampočnoje proizvodstvo č. 8, 1973,
str. 35 - 39
- [3] Konov, J. - Maslenikov, J.:
Pressy s pulzujuščej nagrurkoj
Kuzněčno-štampočnoje proizvodstvo č. 2, 1974,
str. 26 - 28
- [4] Půst, L. - Lada, M. :
Pružné ukládání strojů
SNTL Praha, 1965 str. 116
- [5] Šedivý, J.:
Výzkum tváření impulzy a vibracemi
Výzkumná zpráva VL HZZ, VÚTS Brno, 1964
- [6] Matvejev, J.:
Gidravličeskij vibropress - molot dljy poroškovej
metalurgii
Kuzněčno-štampočnoje proizvodstvo č. 3, 1976,
str. 25 - 28
- [7] Šedivý, J.:
Výzkum tváření impulsy a vibracemi
Výzkumná zpráva VL 546, VÚTS Brno, 1965
- [8] Počta, B.:
Základy teorie tváření kovů
SNTL, SVTL, Praha 1966

- [9] Drastík, F.- Elfmark, J.:
Plastometry a tvářitelnost kovů
SNTL Praha, 1978
- [10] Kolektiv:
Příručka o hliníku
SNTL Praha, 1969
- [11] Šlechta, A.:
Plynové hydraulické akumulátory
SNTL Praha, 1978
- [12] Pivoňka, J.:
Příručka hydraulických pohonů
SNTL Praha, 1969
- [13] Vinš, J.:
Kluzná ložiska
SNTL Praha, 1971
- [14] TOS n.p. Rakovník, závod Hydraulika Vrchlabí :
Hydrostatické mechanismy - přehled základních norem
a doporučení
Vrchlabí, 1976
- [15] Katalogové listy firmy Danuvia, Budapešť, 1975

7. SEZNAM PŘÍLOH

- Výkres sestavení vibračního zařízení DP-ST-1380/78-01.

Pos.	Název - Rozměr	Polotovar	Mat. konečný	Mat. výchozí	Trída odp.	Č.váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
1	DESKA 40x 330x777	ČSN 425310	11 373.0						1
1	DESKA Ø 230 - 38	ČSN 425510	11 500.0						2
1	VÁLEC Ø 170 - 140	ČSN 425510	12 060.4	12 060.1					3
1	PÍST Ø 130 - 48		42 24 60						4
1	VÍKO Ø 170 - 25	ČSN 425510	11 500.0						5
1	PÍSTNICE Ø80- 112	ČSN 425510	15 231.6	15 231.1					6
1	OPĚR.DESKA Ø85-28	ČSN 425516	19 312.4	19 312.1					7
1	TĚLESO 76x90x162	ČSN 425515	14 220.4	14 220.1					8
1	ŠOUPÁTKO Ø30-200	ČSN 425515	14 220.4	14 220.1					9
1	VÍKO Ø80 - 6	ČSN 425510	11 107.0						10
1	KROUŽEK Ø32 - 33	ČSN 425510	11 107.0						11
1	ŘEMENICE Ø120-40	ČSN 425510	11 370.0						12
1	PODLŐŽKA Ø36-4	ČSN 425510	11 500.0						13
4	PŘÍPOJKA Ø28-40	ČSN 425510	11 523.0						14
4	PŘÍRUBA 34x8x60	ČSN 425522	11 500.0						15
1	TRUBKA Ø16x3-140	ČSN 426710	11 523.1						16
1	ŘEMENICE Ø234-40	ČSN 425510	11 370.0						17
1	DRŽÁK MOTORU								18
1	STŮL LISU CDM 80								19
									20
									21
									22
4	ŠROUB M8 x 20	ČSN 021143							23
4	ŠROUB M8 x 80	ČSN 021143							24
12	ŠROUB M10 x 20	ČSN 021143							25
1	ŠROUB M10 x 30	ČSN 021143							26
4	ŠROUB M12 x 20	ČSN 021143							27
4	ŠROUB M8 x 16	ČSN 021101							28

Poznámka

Měřička	Kreslil	8.5.78	P. VOJTĚCH	Č. snímku
	Přezkoušel			
	Norm. ref.			
	Výr. proj.			
	Schválil		Č. transp.	
	Dne			

Číslová čistá váha v kg

Změna									

Starý výkres

Nový výkres

VŠST

VIBRAČNÍ
ZARÍZENÍ

DP-ST-1380/78-01

Počet listů

List

Poznámka		Celková čistá váha v kg	
Měřítko	Kreslil <i>B. S. 78</i>	<i>7. VOJTĚCH</i>	Č. snímku
	Prozkoušel		
	Norm. ref.		
	Výr. proj.	Schválil	Č. transp.
		Dne	
	Typ	Skupina	
	Starý výkres	Nový výkres	
VŠST		VIBRAČNÍ ZARÍZENÍ	
DP-ST-1380/78-01		Počet listů	List

8.5.78 V. VONTECH

VŠST VIBRAČNÍ
ZARÍZENÍ DP-ST-1380/78-01

