

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
Fakulta strojní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1970

Labuť Milan

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Milana Labutě

odbor strojírenská technologie

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

Název tématu: Prostudujte tokové vlastnosti lineárního polyetylénu při vysokých smykových rychlostech

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu, proveďte teoretický rozbor problému
2. Na vstřikovacím lise EZ IX proveďte takové úpravy, aby mohl sloužit jako vytlačovací plastoměr.
3. Stanovte tokové vlastnosti lineárního polyetylénu při vysokých smykových rychlostech.
4. Porovnejte získané výsledky s hodnotami reologických vlastností naměřených na vytlačovacím plastoměru.
5. Zhodnoťte způsob měření na vstřikovacím stroji a navrhněte další postup práce.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 15. srpna 1962/Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I, STUDENTSKÁ 3

V 75/1970

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40.- 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Kořínek, M.: Diplomní práce 1969
2. Stránský, L.: Diplomní práce 1967

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Krebs CSc

Konzultanti: Ing. J. Louthan

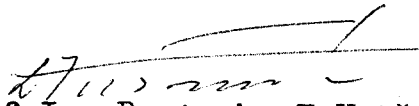
Datum zahájení diplomové práce: 20.10.1969

Datum odevzdání diplomové práce: 30.6.1970




Doc. Ing. M. Kořínek CSc

vedoucí katedry


Prof. Ing. Dr. techn. F. Kotšmíd

děkan

V Liberci dne 15. května 1970

P R O H L Á Š E N Í .

Prohlašuji místopřísežně , že jsem zadáný
diplomový úkol vypracoval samostatně s použitím
uvedené literatury .

V Liberci dne 29 . června 1970 .

Milan Labut✓
.....

VŠST Liberec		Katedra	MT - 1
Fakulta strojní		DP	ST/837/70
<u>O b s a h .</u>			
I.	Úvod	2	
	A. Teoretická část:	4	
1.	Vlastnosti tavenin polymerů	4	
1.1.	Základní pojmy	4	
1.2.	Druhy tokových křivek	6	
1.3.	Příčiny změn v režimu toku	11	
1.4.	Viskozita polymerů	12	
2.	Reometry na taveniny polymerů	15	
2.1.	Rotační viskozimetry	16	
2.1.1.	Viskozimetry se souosými válci	16	
2.1.2.	Viskozimetry s deskou a kuželem	16	
2.2.	Dynamické reometry	17	
2.3.	Kapilární výtlačné reometry	18	
2.3.1.	Průtok hmoty kapilárou	20	
2.3.2.	Vlivy na průtok kapilárou	22	
2.4.	Výtlačný plastoměr	24	
2.4.1.	Plastoměry dokonalejších konstrukcí	26	
3.	Měření tlaků a teplot roztavených termoplastů	32	
3.1.	Měření tlaků	32	
3.2.	Měření teplot	39	
	B. Experimentální část:	41	
1	Vstřikovací lis jako plastometr	42	
2.	Úprava tavného válce	42	
2.1.	Způsob měření tlaku	44	
2.2.	Způsob měření teploty	44	
2.3.	Regulace teploty	46	
2.3.1.	Popis regulátoru - činnost	46	
3.	Způsob měření objemové rychlosti	47	
4.	Vlastní měření	48	
5.	Porovnání s hodnotami vytlačovac. plastoměru	54	
6.	Zhodnocení měření	55	
7.	Závěr	57	
	Seznam použité literatury	59	
	Přílohy: Výkresy	ST/837/70-000	
		ST/837/70-001	
		ST/837/70-002	

I. Úvod :

Velké přednosti nových plastických hmot jako materialu konstrukčních, isolačních, antikoročních, opticky aktivních, atd., vytvářejí tak prudký vzestup jejich výroby a použití na celém světě, že je nezbytně třeba ve všech průmyslově vyspělých státech shrnovat nashromážděné zkušenosti a začít je co nejlépe uplatňovat přímo ve výrobě. Vyžaduje to však, vzhledem k určitým specifickým vlastnostem, změnit přístup k materialu, konstrukci a technologii strojních součástí a jiných předmětů zhotovených z plastických hmot.

Proto zkoumání plastických hmot, které jsou ve svých vlastnostech velmi rozdílné oproti klasickým materiálům, je velmi důležité pro zpracovatelský průmysl. V dnešní době je výzkum plastických hmot již na dost velké výši, ale uplatnění plastických hmot je stále ještě, na př. u nás, velmi pozadu proti státům s vyspělejším průmyslem, zejména chemickým.

Velký význam mezi plastickými hmotami mají termoplasty a proto i technologii zpracování termoplastů je věnováno mnoho pozornosti. Také jedna z nejproduktivnějších, nejekonomičtějších technologií v celém zpracovatelském průmyslu plastických hmot je technologie vstřikování.

Pro tuto technologii je velmi důležité zkoumat termoplasty a jejich tokové vlastnosti v podmínkách které se limitně blíží k podmínkám při vlastním procesu. Dříve byly zkoumány termoplasty v podmínkách zcela jiných, než které jsou při vstřikování na vstřikovacích lisecích. Výsledky různých zkoušek a měření tedy neodpovídaly skutečným hodnotám získaných většinou empirickými zkušenostmi.

VŠST Liberec		Katedra MT - 3
Fakulta strojní		DP ST/837/70

Protože se chceme co nejbližší přiblížit zpracovatelským podmínkám, musíme se věnovat zkouškám reologických vlastností plastických hmot za vyšších smykových rychlostí. K tomuto tématu je zpracován i můj diplomní úkol. V této diplomní práci chci z dosavadních poznatků o toku plastických hmot - termoplastů navrhnout zařízení, které se maximálně blíží podmínkám vyskytujících se v běžném vstřikování termoplastů a na němž si v závěru ověřím na daném materialu správnost užití metody porovnáním s měřením na vytlačovacím plastoměru, případně na jiném zařízení zkoumajícím reologické vlastnosti termoplastů.

Také bych rád touto cestou poděkoval pracovníkům katedry materialu a tváření VŠST Liberec soudruhům ing.J.Krebsovi CSc a ing.J.Louthanovi za obětavou pomoc, kterou mi během vypracovávání diplomního úkolu poskytovali.

V Liberci, dne 30 června 1970 .

Milan Labuť .

A. T e o r e t i e k á č á s t :

1/. Vlastnosti tavenin polymerů:

Jedním z hlavních problémů při zpracování termoplastů je předpovědět, jakým způsobem material poteče, když na něj bude působit soustava tlaků. Protože problém při vstřikování je doprava taveniny z izotermické komory do chlazené formy, bude prvním krokem k řešení, studium celého systému za izotermických podmínek. Tokové rovnice které získáme, mohou podat i obraz při neizotermických podmínkách při vstřikování. Není-li to možné, hledají se empirické relace mezi výsledky reologických měření s měřitelnými hodnotami tvářeního procesu.

1.1. Základní pojmy: / 1 /

Reologie je nauka o přetvoření toku hmoty. Zabývá se studiem vratné neboli pružné a nevratné plastické deformace.

Účelem reologie je porozumět fyzikálním zákonům, stanovit fyzikální zákony řídící viskozni a elastickou deformaci tavenin polymerů. Výsledky reologických měření musí vyjadřovat pouze charakter materialu a nesmí být závislé na parametrech přístrojů. Splnit tento úkol je značně obtížné. Je pouze málo případů, ve kterých se měřené hodnoty dají vyjádřit nezávisle na parametrech měřících přístrojů. Je to tím, že na příklad tok ve válcovité kapiláře se dá popsat jako funkce objemové tokové rychlosti a působícího tlaku, zatím co tok v trojuhelníkové kapiláře ještě nebyl popsán.

Je tudíž třeba speciálních přístrojů, když získané výsledky závisí nejen na materialu, ale i na používané aparatuře. Reologické vlastnosti termoplastů se obvykle zkoumají v přístrojích stejných principů, jako u reometrů pro jiné kapaliny. Speciální charakter tavenin polymerů vyžaduje zvláštní postup odlišný od techniky normálních viskozimetrů. Je na př. nutné, aby reometr měřil vysoké viskozity až 10^7 poisů v nejširším rozsahu smykových rychlostí, to je za reologických podmínek při zpracování. Pouze za těchto podmínek se dají získat výsledky, které se dají srovnat s chováním taveniny při skutečném vytlačování a vstřikováním s mnoha typickými molekulárními charakteristikami materiálů.

Kapaliny o nízké molekulové hmotnosti jsou „newtonské“, čili jejich viskozita není závislá na takových podmínkách a je závislá pouze na teplotě a složení materiálu. Postačí pouze jedna hodnota viskozity k popisu chování materiálu. Viskozita taveniny polymeru je různá dle podmínek toku a je jí nutno měřit ve větším rozsahu smykových rychlostí. Tokovou křivku udávající hodnoty viskozity jako funkce smykové rychlosti lze pro daný materiál zjistit.

Nejběžnější veličiny v reologii definují níže:

Viskozita taveniny laminárního pohybu v tak zvaném „ustáleném toku“, je definována rovnicí (1)

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

a u nenewtonských kapalin se nazývá „zdánlivou viskozitou“, „Smykové napětí“, τ je napětí, které způsobuje viskozní pohyb a je definováno jako poměr mezi silou F působící tangenciálně

na tekoucí povrch S a povrchem S :

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

Smykové napětí není tlakem jak by rozměrově odpovídalo. Sousední elementy každého viskozního toku mají odlišné rychlosti v . Smyková rychlost $\dot{\gamma}$ je definována jako gradient normální rychlosti tekoucí kapaliny v nebo také jako gradient smykové rychlosti tekoucí kapaliny kolmo na směr toku jež vyjadřuje rovnice (2) a je udávána v sec^{-1} .

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dx} \quad (2)$$

Viskozita η /udávaná v poisech nebo v $\text{din} \cdot \text{sec} / \text{cm}^2$:/ je koeficient vnitřního tření, který měří odpor daného materiálu proti pohybu. Je dána poměrem „smykové napětí /smyková rychlost,,. Vztah mezi η a $\dot{\gamma}$:

$$\eta = f(\dot{\gamma}) \quad \text{nebo} \quad \tau = f(\dot{\gamma})$$

Tyto vztahy definují různá reologická chování kapaliny. Tokové křivky, nebo lépe řečeno přímky v unčitém souřadnicovém systému jsou diagramy smykového napětí jako funkce gradientu smykové rychlosti t.j. křivky:

$$\tau = f(\dot{\gamma}) \quad (3)$$

Podrobnější rozebrání viskozity jako takové bude uvedeno v oddíle 1.4.

/11/ /9/

1.2. Druhy tokových křivek:

ad 1. Nejjednodušší typ tokové křivky je ten, kde

τ je lineární funkcí $\dot{\gamma}$. Poměr $\eta \cdot \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ je potom konstantou a pouze jedna hodnota postačí k definici reologického chování. Takovou kapalinu nazýváme „newtonskou,, ./viz obrázek čís. 2a/

U nenewtonských kapalin, na př. u olejů, plastisolů, tavenin polymerů, není viskozita konstantní a vztah $\tau = f(\dot{\gamma})$ může být rozdílných typů a dá se těžko vyjádřit matematicky. Ale i přesto se dá k definici reologických charakterů použít různých systémů. Ve skutečnosti vztah ,

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n$$

kde n a k jsou konstantní - zván také mocninový zákon - popisuje tokové křivky v dosti velkém intervalu $\dot{\gamma}$ /:do třech až čtyřech řádů velikosti:/ a může být velmi použitelný při klasifikaci kapalin.

ad 2. Kapalina, kde $n < 1$ se nazývá „pseudoplastic-kou“, /:viz obr. 8.2b:/ . Strmost tokových křivek se se stoupající $\dot{\gamma}$ zmenšuje a viskozita $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ se se stoupající smykovou rychlostí klesá.

Téměř každý polymer se chová v určitém rozmezí smykových rychlostí pseudoplasticky, zatím co mimo toto rozmezí může být jeho chování „newtonské“, .

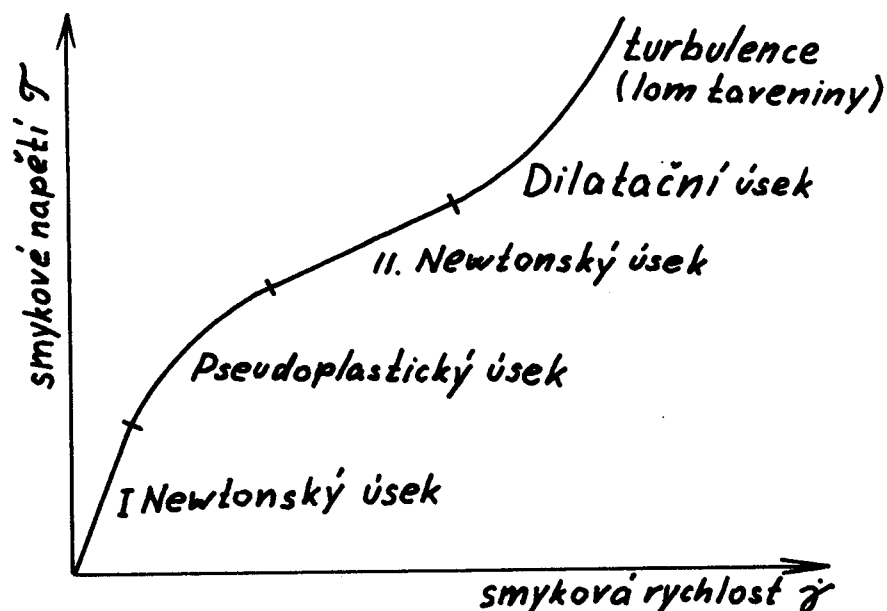
ad 3. Dilatační kapaliny jsou ty, kde $n > 1$. V těchto systémech viskozita stoupá se stoupající smykovou rychlostí $\dot{\gamma}$ nebo smykovým napětím τ . Mnoho heterogenních systémů, suspensí a plastisolů je „dilatačních“, .

Exponent n rovnice $\tau = k(\dot{\gamma})^n$ se nazývá také „indexem fluidity“, a jeho číselná hodnota je mírou newtonského chování kapaliny. Čím více se n odchyluje od jednotky, tím více je systém nenewtonský .

/2/

Dilatační typ představuje celou zobeecněnou tokovou křivku, níže je však počáteční newtonský

úsek a pseudoplastický úsek sražen na mizivě malou část křivky jako celku a nejsou experimentálně dokazatelné. /3/ U plastických hmot je tento typ kapaliny méně obvyklý, avšak je možno se s ním setkat u některých tmelovitých PVC. /obr.1.2c:/



Obr.1. zobecněná křivka toku.

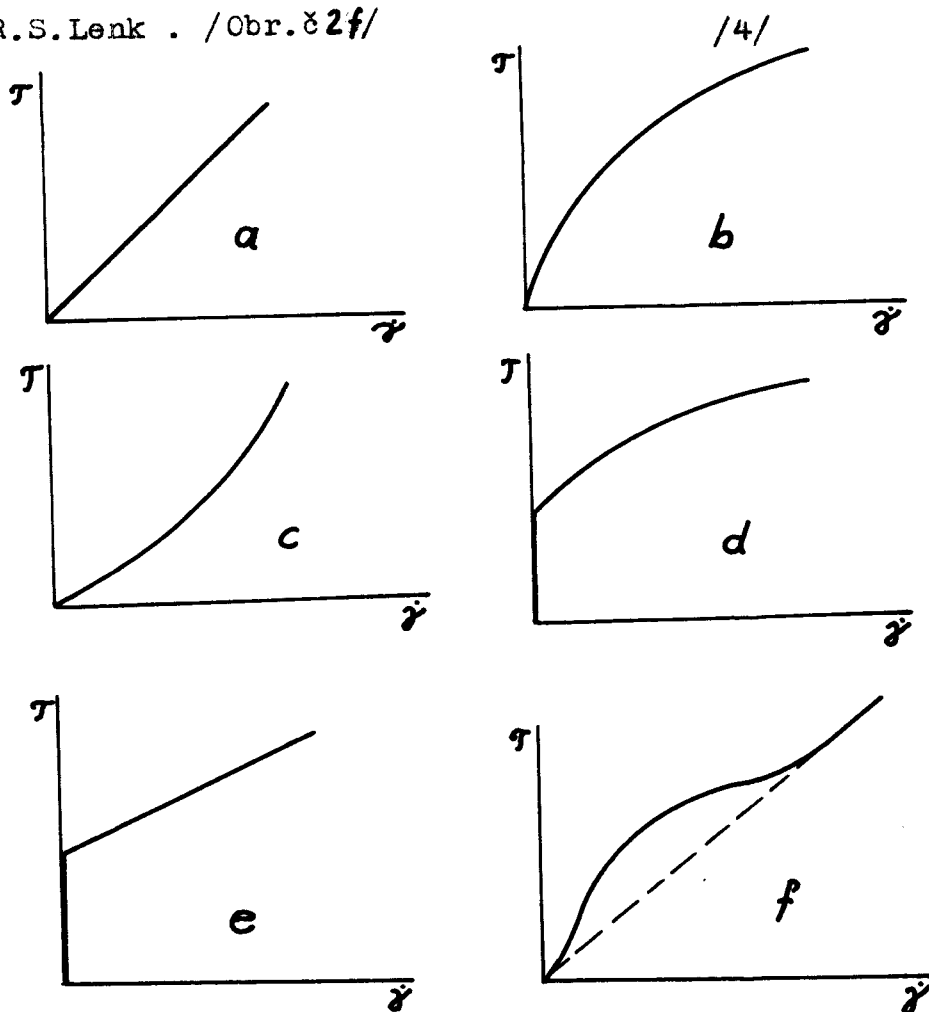
/3/

ad 4. Plastický tok : Tento typ můžeme vysvětlit všeobecná toková křivka za předpokladu, že počáteční newtonská viskozita splývá s koordinátou smykového napětí. Při určitém napětí se změny poměry natolik, že se již kapalina řídí argumenty které byly použity u pseudoplastického typu /Obr. 2d:/

ad 5. Binghamův tok: Jestliže se předpokládá, jako u předešlého typu, že počáteční newtonská viskozita je nekonečno a pseudoplastický úsek se zkrátil na mizivý bod, což můžeme vizuálně odvodit z obrázku č.1, dostaneme určité napětí, které charakterizuje přechod od počáteční newtonské

viskozity /:nekonečno:/, charakterisuje kapalinu přímo po počátečním newtonském úseku druhý newtonský úsek. /:Obr.č. 2e:/

ad 6. Ostwaldův tok: Toková křivka tohoto typu byla popsána Ostwaldem . /4/ Tuto křivku popsal Ostwald jako tok pseudoplastický a tvrdil, že newtonský úsek následuje po pseudoplastickém a že křivka je potom lineární, protože ji můžeme extrapolovat do počátku. Jelikož je tento tok málo probádaný, vyskytli se zastánci protichůdného názoru, kteří tvrdili, že Ostwaldův tok je nahodilý, na př. R.S.Lenk . /Obr.č 2f/

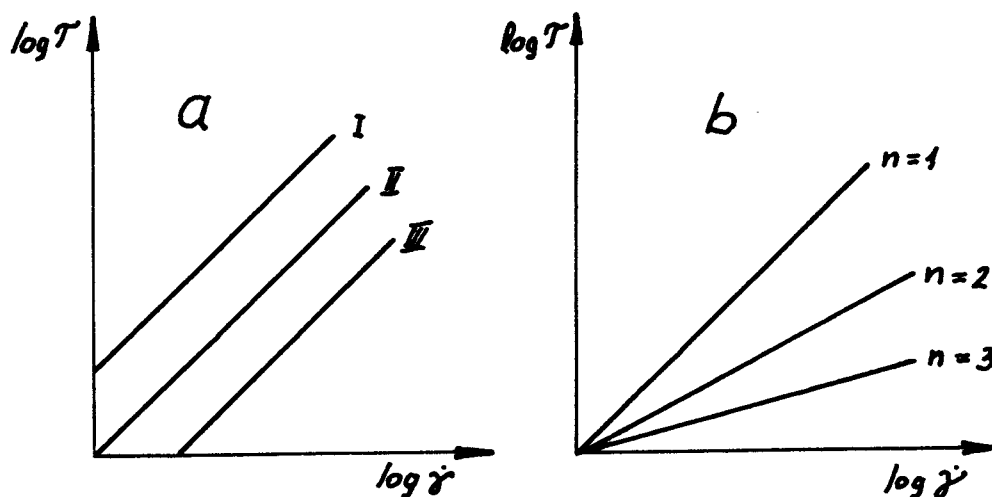


Obr. 2 Různé typy tokových křivek.

V tokových diagramech se zakreslují hodnoty τ a $\dot{\gamma}$ obvyklé na dvojlogaritmické papíry a to z důvodů velkého rozsahu hodnot. Základní typy jsou uvedeny na obrázku č.3. Newtonské chování kapaliny na obr.č.3a. Je to vlastně grafické vyjádření Newtonova zákona: $\tau = \eta \dot{\gamma}$

Viskozita přímky I > II > III

Pro pseudoplastický stav je charakteristické vyjádření zmocninového zákona s exponenty n v rozsahu 1.5 až 5 dle druhu materiálu. Přímky pak mají menší strmost než přímka newtonské kapaliny. /Obr.č.3b/



Obr.čís.3- Tokové přímky

Taveniny polymerů jsou pseudoplastické v širokém rozsahu smykových rychlostí. Blíží-li se $\dot{\gamma}$ k nule, chová se kapalina jako newtonská. Newtonského chování by se mělo též dosáhnout za velkých smykových rychlostí, ačkoliv pouze v několika málo případech bylo možno za těchto podmínek provést odpovídající měření.

Toková křivka zjednodušeně naznačeno, má tedy 3 úseky, což je vidět z obr.č.4.

1. úsek - chování newtonské kapaliny popisuje Newtonův zákon:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Popřípadě zlogaritmovaný:

$$\log \tau = \log \eta + \log \dot{\gamma}$$

2. úsek - který se běžně vyskytuje při vystřikování polymerů je úsek pseudoplastický a popisuje ho mocninový zákon:

$$\tau^n = \eta \dot{\gamma}$$

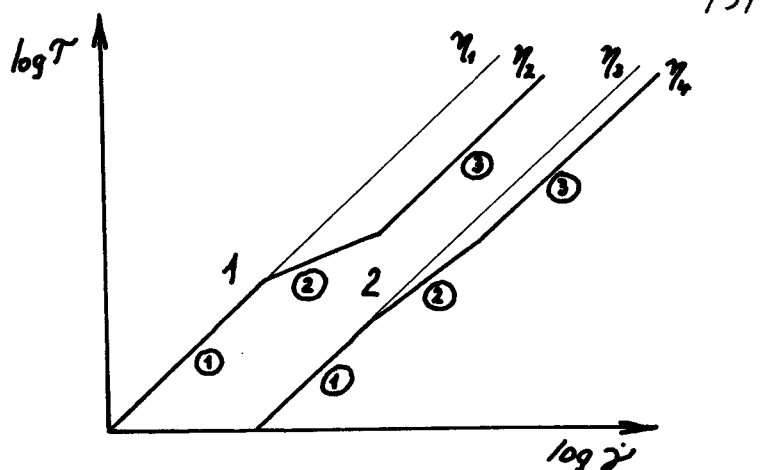
popřípadě zlogaritmovaný:

$$\log \tau = \frac{1}{n} \log \eta + \frac{1}{n} \log \dot{\gamma}$$

kde $1:n$ je tangenta sklonu přímky vynesené v dvojlogaritmickém osovém systému.

3. úsek - se nachází v oblasti velkých smykových rychlostí a chování kapaliny se má podle výzkumu zase blížit chování newtonské kapaliny.

Všechny tyto úseky jsou znázorněny na následujícím obrázku čís.4.



Obr. čís.4 - 1. vysokomolekulární
2. nízkomolekulární tatáž hmota

1.3. Příčiny změn v režimu toku:

Jestliže na taveninu v níž bylo dosaženo brownovské řetězové nahodilosti a i rozvětvení

molekulových řetězců je nahodilé a jestliže působíme malými smykovými rychlostmi, zůstane sklon přímky konstantní, pokud zvýšení smykové rychlosti není sto způsobiti změnu molekulové konfigurace hmoty, jak je vidět v úseku 2. obr. čís. 4.

Jestliže smyková rychlost dosáhne určité hodnoty, molekuly se začnou řadit tak, aby kladly co nejmenší odpor tečení. Tímto bychom se dostali k úseku 3. obr. č. 4, ale při vysokých smykových rychlostech nastává turbulence a proto nejsou, lépe řečeno ještě nebyly zvládnuty úseky druhého newtonova toku. /6/

1.4. Viskozita polymerů:

Při průtoku kapaliny určitým profilem se dvě sousední vrstvy pohybují různou smykovou rychlostí dv/dx a kladou odpor proti posuvu jednoho elementu vůči druhému - čili určité smykové napětí, vztahuje-meli výpočet na jednotku plochy.

Definice : Napětí, které vznikne, překročí-li na vzdálenost jednoho metru rychlost 1 m za vteřinu se nazývá **d y n a m i c k á v i s k o z i t a**. Rozměr v technické soustavě se udává v $/\text{kps}/\text{m}^2/$. Převrácenou hodnotou je fluidita někdy také nazývaná jako tekutost.

Na rozdíl newtonských kapalin od **n**enewtonských je fluidita rozměrem různá.

Newtonská kapalina:
$$\Phi = \frac{1}{\eta} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{kp}} \cdot \frac{1}{\text{s}} \right]$$

Nenewtonská kapalina, kde platí mocninový zákon:

$$\Phi \neq \frac{1}{\eta} \left[\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{kp}} \right)^n \cdot \frac{1}{\text{s}} \right]$$

Rozdíl je v exponentu n . Tedy pro nenewtonské kapaliny jsou charakteristické parametry Φ a n , což také v praktické části práce získávám.

Pro newtonské kapaliny je dynamická viskozita konstantní a závisí pouze na teplotě dle vztahu:

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}} \quad (4)$$

η_0 je viskozita při teplotě t_0 [P].

E - aktivační energie viskozního toku. /kcal/kg/
/množství tepla potřebného k ohřátí hmoty na teplotu T /

R - plynová konstanta /kcal/kg deg/

T - teplota ve stupních Kelvina.

Taveniny plastických hmot se od tohoto vztahu odchylují, protože η závisí na smykové rychlosti a na daném typu hmoty.

Na obr.čís.5 je znázorněn průběh závislosti viskozity na smykové rychlosti. V úseku 1. je velmi malá smyková rychlost a chování kapaliny se blíží k newtonskému chování. Vidíme, že viskozita je konstantní. Takovou viskozitu označujeme η_0 a nazýváme ji viskozitou při nulové rychlosti.

V úseku 2. se viskozita mění - klesá a okamžité hodnotě říkáme viskozita zdánlivá. Lze ji počítat dle vztahu:

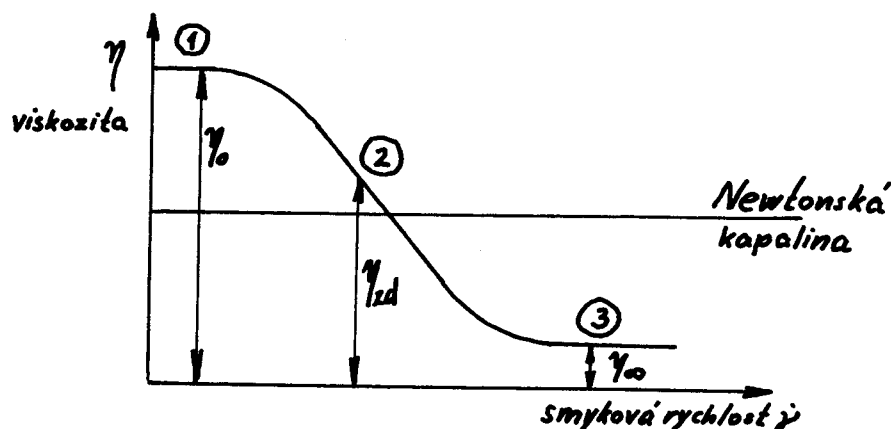
$$\eta_{zd} = \frac{\frac{\Delta P R}{2L}}{\frac{4Q}{\pi R^3}} = f(p, \dot{\gamma})$$

P - tlakový spád v kapiláře kp/cm²

R - poloměr kapiláry v cm

Q - vyteklé objemové množství v cm³/sec

L - délka kapiláry v cm.



Obr. čis. 5

Viskozita v úseku 3. je nazývána viskozitou při nekonečně velké smykové rychlosti a značí se η_{∞} .

Empirické hodnoty jako funkce viskozity v závislosti nejen na teplotě, ale i na molekulové váze a tlaku, nám dává pravidlo logaritmické aditivnosti viskozity:

$$\eta = \eta_1(T) \cdot \eta_2(P) \cdot \eta_3(M_w) \quad (5)$$

vliv teploty vliv tlaku a vliv molekulové váhy

$$\eta_1(T) = A e^{\frac{E}{RT}}$$

E - aktivační energie . A - konstanta základní viskozity . R - plynová konstanta. T - teplota .
Rozměry jsou stejné jako ve vzorci čis. 4.

$$\eta_2(P) = B e^{-\alpha P}$$

α - konstanta experimentálně zjištěná

P - působící tlak v kp/cm^2

Tato rovnice platí vždy pro určitý rozsah smykového napětí což zahrnuje konstanta B .

$$\eta_3(M_w) = M_w^B$$

β - u plastických hmot se rovná 3.5

M_w - molekulová váha.

Po zlogaritmování vztahu (5) dostaneme :

$$\log \eta = \log C + \log \eta_1(T) + \log \eta_2(P) + \log \eta_3(M_w) \quad (6)$$

Po shrnutí konstant a dosazení funkčních závislostí dostaneme vztah :

$$\eta = k M_w^\beta e^{\left(\frac{E}{RT} - \alpha P\right)}$$

což je komplexní tvar pro viskozitu polymerů v závislosti na tlaku, teplotě a typu hmoty. Rozměry jsou shodné s hodnotami předcházejících vzorců.

Klasifikace se vztahuje pouze na „viskozni“, soustavy, to je na případy, kde veškerá energie se změní na teplo. Taveniny polymerů se chovají jako viskoelastické, protože je zde absorbována energie na deformaci trvalou a elastickou. Je to však malá část energie spotřebovaná na elastickou deformaci a proto je spíše funkcí celého přístroje, teploty, rychlosti deformace.

Tyto výše uvedené vlastnosti jsou důležité pro reologická měření, protože při průtoku taveniny krátkými kapilárami může být elastický odpor toku značný a někdy i větší než odpor od viskozity. To může do značné míry zkreslovat výsledky. Podrobnějším tokem v kapiláře se zabýváme ve zvláštní kapitole.
/6,7,8,12,13/

2. Reometry na taveniny polymerů.

Přístroje na měření tokových vlastností polymerů nazýváme **r e o m e t r y**. Takový přístroj musí být schopen:

a/ měřit vysoké viskozity v širokém rozsahu smykových rychlostí, smykových napětí a teplot.

b/ měřit skutečný viskozitní projev materiálu v protikladu s elastickým projevem.

Běžné přístroje používané na měření při ustáleném tlaku, jsou rotační a výtlačné kapilární viskozimetry.

2.1. Rotační viskozimetry:

V těchto viskozimetrech je kapalina namáhána smykově mezi pevnou stěnou a stěnou která se otáčí konstantní rychlostí. Při ustáleném toku se měří krouticí moment a rychlost otáčejícího se tělesa. Hlavními představiteli jsou tyto typy:

2.1.1. Reometry se sousými válci

Material je zde namáhán mezi dvěma sousými válci, z nichž jeden se otáčí konstantní rychlostí a druhý je pevný. Smyková rychlost $\dot{\gamma}$ a smykové napětí τ se mění v každém místě nenewtonské kapaliny. Na stěnách vnitřního válce jsou tyto poměry:

$$\tau_w = \frac{M}{2\pi R_i^2 L}$$

$$\dot{\gamma}_w = \left(\frac{4\pi N}{1-K} \right) \left(1 + c'n + c''n^2 + c''' \frac{dn}{d \ln M} \right)$$

kde M je krouticí moment v kpcm

L a R_i je délka a poloměr malého válce v cm

c-c konstanty přístroje

$$n = \frac{d \ln N}{d \ln M} - 1$$

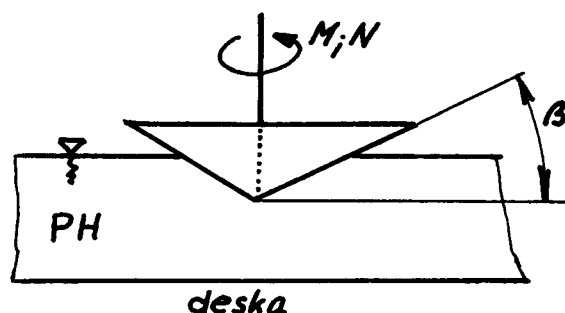
N - rychlost otáčení

$K = R_i/R_o$ poměr poloměru válců

2.1.2. Rotační reometry s deskou a kuželem:

Material je smykově namáhán mezi plochým povrchem a otáčejícím se kuželem, jehož úhel β je volen tak, aby se docílilo konstantních hodnot τ a $\dot{\gamma}$ v celém průřezu hmoty. Viz obr.č.6.

Získáme tak: $\tau = \frac{3M}{2\pi R^3}$ a $\dot{\gamma} = \frac{2\pi N}{\beta}$



Obr.čís.6 schema kuželového viskozimetru

Existují ještě jiné rotační viskozimetry s kuželi a válci, dvoukuželové jakož i kulové. Nejběžnější jsou však viskozimetry popsané výše.

/14,15/

2.2. Dynamické reometry .

Normálně se reologická měření provádějí za ustálených podmínek. Znamená to, že τ a $\dot{\gamma}$ jsou konstantními v každém místě kapaliny. U dynamických reometrů působí na taveninu polymeru napětí, které se sinusově mění v závislosti na čase. Protože tavenina je viskoelastická, je vzniklá deformace mimo fázi. Rozdělíme-li napětí na dvě složky, z nich jedna je fázi z rychlostní deformací $\dot{\gamma}$ a druhá o 90° posunutá, mohou být vlastnosti vyjádřeny modulem v komplexním tvaru:

$$G^* = G' + i G''$$

Z tohoto tvaru při dané frekvenci ω sinusové deformace získáme dvě složky - imaginární a reálnou, vyjádřené komplexní dynamickou viskozitou:

$$\eta^* = \eta' + i \eta''$$

$$\text{kde } G' = \omega \eta'' \quad \text{a } G'' = \omega \eta'$$

$$\text{z čehož vyplývá: } |G^*| = (G'^2 + G''^2)^{\frac{1}{2}} = \omega |\eta^*|$$

Dynamická měření mohou tak zjišťovat zároveň jak elastické tak i plastické chování hmoty.

/16/

2.3. Kapilární vytlačné reometry.

V tomto typu reometru je tavenina polymeru protlačována konstantním tlakem kapilárou kruhového průřezu. Měří se rychlost průtoku jakož i pokles tlaku v kapiláře. Material je protlačován kapilárou mechanicky pístem, nebo také hydraulicky a pneumaticky. Přístroj má měřit viskozitu do 10^7 poisů v širokém rozsahu smykových rychlostí, 150-300 °C a tlaku 1 - 1000 atmosfer. To lze obvykle regulovat jak konstrukcí hlavních parametrů přístroje, tak výměnnými kapilárami. Jak bylo dříve ukázáno, je možno vyřešit tokové rovnice a tím viskozitu hmoty pouze v několika případech.

Jedním z případů je stálý viskozitní tok kapilárou při konstantní teplotě. Z naměřených hodnot Q /objemová toková rychlost/, P /vytlačovací tlak/, se dá vypočítat τ a $\dot{\gamma}$. V kapiláře o poloměru R a délce L je smykové napětí lineární funkcí poloměru, pro každou kapalinu laminárního izotermického toku. Pro každou radialní polohu máme:

$$\tau = \frac{Pr}{2L}$$

r = radialní vzdálenost

Smykové napětí τ má svou maximální hodnotu na stěnách kapiláry τ_w , tedy když $r = R$ a potom :

$$\tau_w = \frac{PR}{2L}$$

Vztah mezi smykovou rychlostí $\dot{\gamma}$ a poloměrem r , je jednoduchý pouze pro newtonský polymer, kde:

$$\dot{\gamma} = \frac{4Qr}{\pi R^4}$$

V případě, kdy se nevyskytuje prokluz kapaliny na stěnách kapiláry, ani vlivy funkce viskozity na čas /thixotropie, reopexie/, vykazuje každá kapalina vztah mezi smykovým napětím τ_w na stěně kapiláry a smykovou rychlostí $\dot{\gamma}_a$ která není závislá na poloměru a je jednoznačně určena.

Rabinovič prokázal, že za těchto podmínek, kde $\dot{\gamma}_a$ značí smykový gradient na stěnách kapiláry u newtonských kapalin, pouze výraz

$$\dot{\gamma}_w = \underbrace{\left(\frac{3n'+1}{4n'} \right)}_y \dot{\gamma}_a \quad \dot{\gamma}_a = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

$$\text{kde } n' = \frac{d \log \tau_w}{d \log \dot{\gamma}_a}$$

představuje gradient kapaliny na stěnách kapiláry a to pro jakoukoliv kapalinu. Vycházejíce z experimentálních hodnot τ_a Q a n , které jsou získány z diagramů - grafickou diferenciací,

$$\tau_w / \log \dot{\gamma}_a$$

můžeme obdržet hodnoty pro smykové napětí a smykovou rychlost ve stejném místě materiálu a vypočítat η a ν zdánlivou viskozitu materiálu.

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w}$$

Konečný součinitel $y = \frac{3n'+1}{4n'}$ pomocí něhož můžeme odvodit skutečnou smykovou rychlost $\dot{\gamma}_w$ z $\dot{\gamma}_a$ - newtonská smyková rychlost na stěně. $y / \dot{\gamma}_w$ je funkcí n' u pseudoplastických materiálů a n' je v rozmezí 0 - 1 /.

Rozdíly mezi $\dot{\gamma}_a$ a $\dot{\gamma}_w$ jsou menší než 20 %. Obvykle se ale v praxi Rabinovičova korekce nepočítá a tudíž se vynáší hodnota τ_w proti $\dot{\gamma}_a = \frac{4Q}{\pi R^3}$.

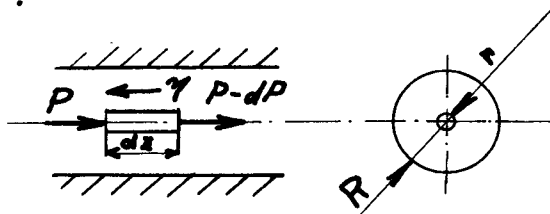
Poměr $\gamma_a = \frac{\tau_w}{\frac{\partial v}{\partial a}}$
 vou viskozitu.

udává potom střední zdánli-
 /6/

2.3.1. Průtok hmoty kapilárou:

ad 1. Rovnováha sil :

směr protlačování
 taveniny polymeru



$$P' = -\frac{\partial P}{\partial z} dz \pi r^2$$

ve směru osy Z bude tlakový úbytek

$$P' = \underbrace{2\pi r dz}_{\text{povrch válce}} \cdot \underbrace{\tau \frac{dv}{dr}}_{\text{smykové napětí}}$$

povrch válce smykové napětí

$$\frac{\partial P}{\partial z} dz \pi r^2 = 2\pi r dz \tau \frac{dv}{dr}$$

$$\tau \frac{dv}{dr} = -\frac{\partial P}{\partial z} \cdot \frac{r}{2}$$

ad 2. Aplikace mocninového zákona:

$$\tau \frac{dv}{dr} = \tau^n$$

$$\tau \frac{dv}{dr} = \left[\left(\frac{dP}{dz} \right) \frac{r}{2} \right]^n$$

n - exponent typu
 hmoty

Φ - redukována flui-
 dita.

$$\frac{dv}{dr} = -\left[\frac{\Phi}{2} \left(\frac{dP}{dz} \right) \frac{r}{2} \right]^n$$

provedeme separaci:

Okrajové podmínky: $r = R$ $v = 0$

Na poloměru r je rychlost v_r

$$\int_0^{v_r} dv = -\frac{\Phi}{2^n} \left(\frac{dP}{dz} \right)^n \int_R^r r^n dr$$

$$v_r = -\frac{\Phi}{2^n} \left(\frac{dP}{dz} \right)^n \frac{1}{n+1} [r^{n+1} - R^{n+1}]$$

$$v_r = \frac{\Phi}{2^n(n+1)} \left(\frac{dP}{dz} \right)^n [R^{n+1} - r^{n+1}]$$

Dostali jsme rovnici rozložení rychlosti napříč kapilárou kruhového průřezu.

ad 3. Průtočné množství proteklé kapilárou:

$$dQ = 2\pi r v_r dr$$

za předpokladu, že ΔP je spád tláku v délce kapiláry L je pak:

$$Q = \frac{\Phi}{2^n(n+1)} \left(\frac{\Delta P}{L} \right)^n 2\pi \int_0^R (R^{n+1} - r^{n+1}) r dr$$

$$Q = \frac{\Phi R^{n+3} \pi}{2^n(n+3)} \left(\frac{\Delta P}{L} \right)^n \cdot 4$$

$$4Q = \frac{4\Phi}{n+3} \pi R^3 \left(\frac{\Delta P R}{2L} \right)^n$$

$$\frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{4\Phi}{n+3} \left(\frac{\Delta P R}{2L} \right)^n$$

toto je aplikovaný tvar mocninového zák.

Hodnoty pro tento zákon se získají měřením na vytlačovacím plastoměru.

ad 4. Kontrola:

Platí-li tento zákon obecně, platí tedy i pro Newtonské kapaliny.

$$\frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{4\Phi}{n+3} \left(\frac{\Delta P R}{2L} \right)^n$$

jestliže $n = 1$

$$\frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{4\Phi}{3} \cdot \frac{\Delta P R}{2L} \quad ; \quad \Phi = \frac{1}{\eta}$$

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8L \eta}$$

což je známý vztah
Poisseuillův.

/9/

2.3.2. Vlivy na průtok hmoty kapilárou:

až 1. Vstupní vlivy:

Chceme-li uplatnit reologické údaje, musí kapalina být ve stavu „ustáleného toku“, a tedy i τ a $\dot{\gamma}$ jsou konstantní s časem. Ztráty energie mají být zaviněny jen viskozním tokem a nikoliv elastickými vlivy. Vstupní vlivy jsou vždy v kapilárních reometrech přítomny. Jde vlastně o to, že materiál se prakticky z nulové rychlosti v tavném válci urychlí na konstantní rychlost v kapiláře, což způsobuje určitý pokles tlaku.

Zvětšením poměru L/D kapiláry se tento vliv zmenšuje /někdy může být zanedbán/. Opravy mohou být získány porovnáním údajů o různých L/D a extrapolací k nulovému tlaku funkce $P = f(L/D)$ obdržíme korekční součinitel, takže na místo geometrické délky L použijeme nějakou vypočtenou délku L_{rea} . Tato korekce známá pod jménem Couettová a je funkcí smykové rychlosti pseudo-plastických hmot.

až 2. Absorbce elastické energie:

Viskoelastické hmoty vykazují určitou elastickou deformaci. Je to funkce materiálu a tokových podmínek. Korekce se dá vyjádřit výrazem, který pozměňuje L/D podobně jako u vstupních vlivů. Místo

$$\tau_w = \frac{\Delta P R}{2L} \quad \text{můžeme psát:} \quad \tau_w = \frac{P}{2\left(\frac{L}{R} + n^* + \frac{s}{2}\right)}$$

kde $2n^*$ je Couettova korekce a s korekce elastické energie. Obecně lze zase říci, že jeli poměr L/D velký, můžeme tuto korekci zanedbat.

VŠST Liberec	Katedra MT - 23
Fakulta strojní	DP ST/837/70

Existují ještě další korekce na opravu reologických hodnot na př.: Korekce na kinetickou energii, kterou obvykle zanedbáváme, protože z celkové energie tvoří asi 0,03 % dle fy Instron.

Korekce na zahřívání kapaliny následkem tření a expanse /jedná se vlastně o anizotermický děj/ se též vykazuje opravnými koeficienty.

Posuv kapaliny ve válci má dosti velký vliv, jen u polymerů s větší viskozitou, na tokové vlastnosti a je závislý na poměru poloměru tavného válce/poloměr kapiláry. Chyba je při zanedbání tohoto vlivu 0,5 %, což na běžná měření nemá vliv.

Všechny tyto vlivy jsou závislé na dokonalosti a dá se říci i na rozměrech reometru. Dle firmy Instron bylo dokázáno, že pětiprocentní chyba v rozměru poloměru kapiláry je 10 % chyba v měření viskozity.

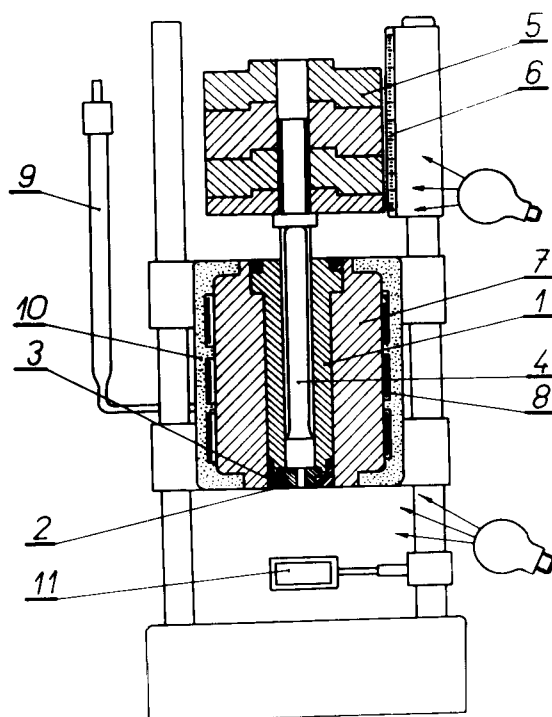
Tokové křivky jsou vždy v určitém rozmezí přesně stanovitelné dle OSTWALDA, RABINOVICĚ, PRANTLA, EIRYNGA. Celkové definice pro co největší rozmezí smykových rychlostí použil zatím jen BAGLEY, který zavedl t.zv., „komplexní korekturu“.

Dle studia Bagleyových křivek jsem se rozhodl i v mé práci použít maximální poměr L/D a materiál zkoušet v kapiláře stejných průměrů, protože tak je jediné možné, sestavit tokové křivky při velkých smykových rychlostech, kde hraje významnou úlohu smykový ohřev.

/17,18,6,9/

2.4. Výtlačný plastoměr .

Výtlačný plastoměr je laboratorní přístroj ke zjišťování tokových vlastností polymerů /n, Φ , IT/. Schema je na obr.čís.7.



ŘEZ VYTLAČOVACÍM PLASTOMĚREM

obr.čís.7.

1. ocelový válec
2. tryska
3. zajišťovací matice
4. lapovaný píst
5. výměnné závaží
6. měřítko posuvu pístu
7. hliníkový blok válce
8. topné pásy
9. teploměr regulační
10. tepelná izolace topného systému
11. zpětné zrcátko

Rozměry plastoměru včetně funkčních částí je udán normou ČSN 640864 .

Dle mocninového zákona pro průtok hmoty kapilárou/jež je odvozen ve stati 2.3.1./ v logaritmickém tvaru je rovnicí přímky :

$$\log \frac{4Q}{\pi R^3} = \log \frac{4\phi}{n+3} + n \log \left(\frac{\Delta PR}{2L} \right) \quad (10)$$

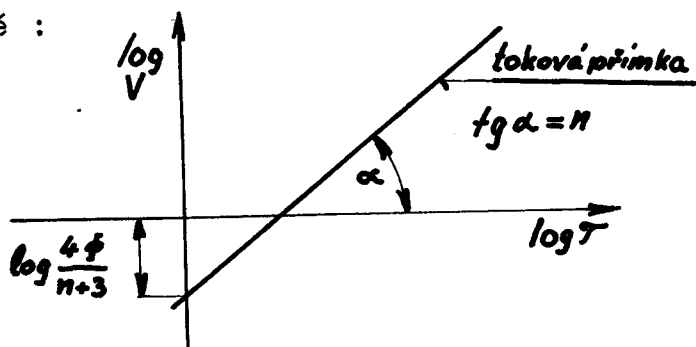
značíme:

$$V = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

$$\tau = \frac{\Delta PR}{2L}$$

$$\log V = \log \frac{4\phi}{n+3} + n \log \tau \quad (10a)$$

v souřadném systému bude vzorec 10a vypadat následovně :



Ze získaných údajů Q_i - proteklé množství v cm^3/sec a P_i - tlakový spád v kapiláře, kp/cm^2 / můžeme při konstantní teplotě t vypočíst objemovou rychlost V_i a τ_i . Dosazením do vzorce 10a dostaneme na př. pro dvě měření soustavu dvou rovnic o dvou neznámých n a ϕ .

$$\log V_1 - \log V_2 = n (\log \tau_2 - \log \tau_1)$$

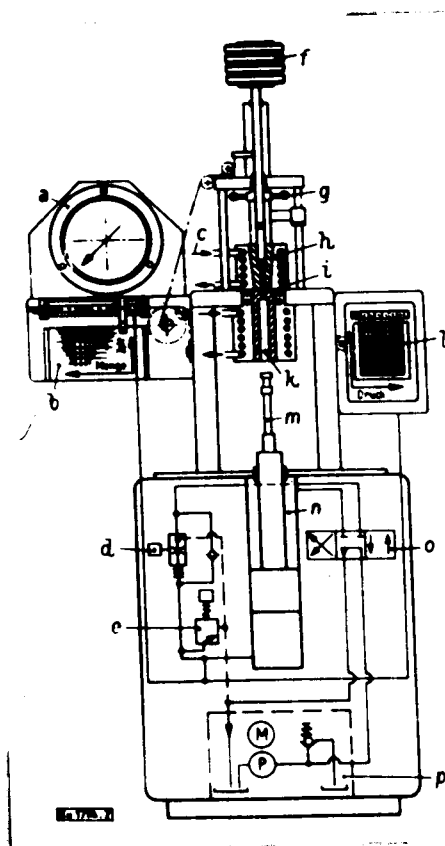
$$n = \frac{\log V_1 - \log V_2}{\log \tau_2 - \log \tau_1}$$

Když pak zjistíme n můžeme vypočítat pro jednotlivé změny tlaku fluiditu ϕ .

Výhody: Měření je dosti rychlé a zařízení není složité.

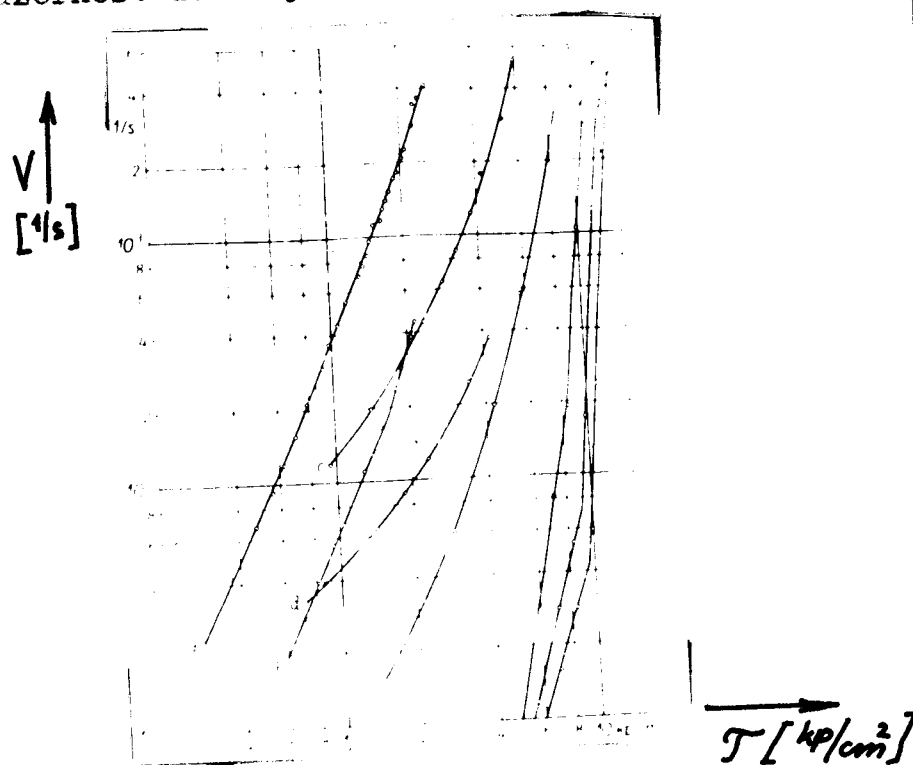
Nevýhody: Malá smyková rychlost /může se stát, že při zpracování hmoty na vstřikovacím stroji, bude mít hmota jinou směrnici n při zachování stejných podmínek/.

VŠST Liberec		Katedra MT - 26
Fakulta strojní		DP ST/837/70
2.4.1. Plastoměry dokonalejších konstrukcí: ----- V posledních několika letech byly vyvinuty přístroje, které lépe vyhovují náročnějším měřením reologických vlastností polymerů. Tyto přístroje mají možnost v širokém rozsahu regulovat tlaky a teploty taveniny, čímž je možnost se maximálně přiblížit podmínkám vyskytujících se při vstřikování termoplastů na vstřikovacích lisech. Jedním z těchto přístrojů je výrobek západoněmecké firmy Göttfert - Obering, který je na obrázku č. 8. Přístroj má hydraulický pohon, vstřikovací tlak je plynule seřiditelný v rozmezí 80-1700 atm., vstřikovací válec je vytápěn až do 300 stupňů C pomocí speciálních termostatů. Všechny měřicí přístroje, jako tlakoměr vstřikovacího tlaku taveniny, teploměr vstřikovacího válce, potenciometr posuvu pístu, jsou vyvedeny na ovládací panel a údaje je možno zachytit na zapisovači, nebo na osciloskopu se zpožděným reflexem. Údaje zachycené osciloskopem, možno fotografovat. Výměnné měrné kapiláry přístroje jsou měnitelné v rozsahu - délka/průměr: L/D/ 2,5 - 120. Vysvětlivky k obrázku č. 8. - a - manometr s jemným měřením, - b - zapisovač diagramu /množství-čas/ - c - přípojka pro speciální termostat - d - hydraulický regulátor množství - e - nastavení zkoušené síly - f - zařízení protitlaku s protizávažím - g - zařízení k napínání - h - vstřikovací forma s protizávažím - i - vstřikovací tryska - k - vstřikovací válec - l - zapisovač diagramu /tlak - čas/ - m - tlakový píst - n - hydraulický válec / s pístem/ - o - rozváděcí šoupátko - p - hydraulická jednotka síly - M - motor - P - čerpadlo		



obrázek čís. 8

Některá měření na Göttfertově reometru jsou pro názornost uvedeny v diagramu na obr.čís.9



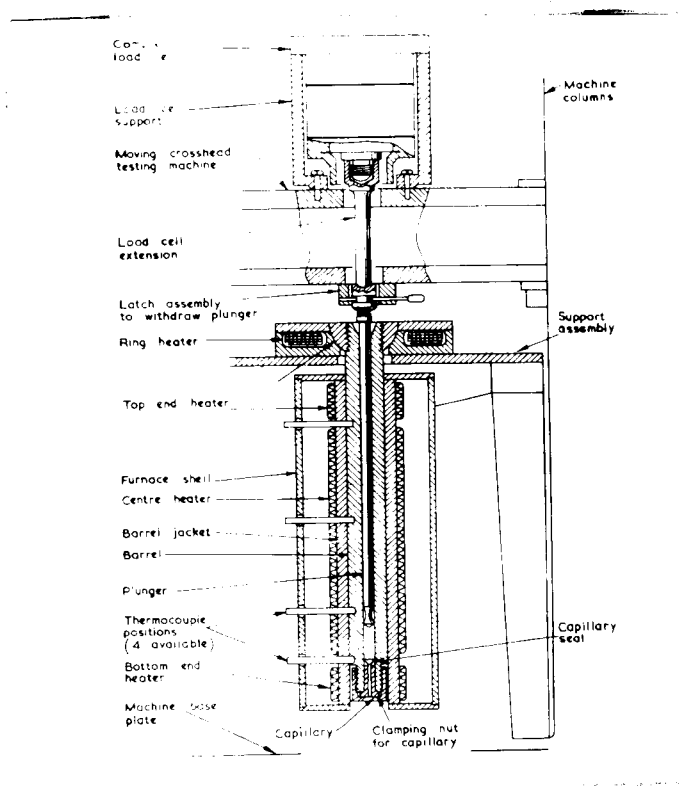
obrázek čís. 9.

Vysvětlivky k obr.čís.9.- křivky tekutosti:

- a - vysokotlaký PE ,190 ° C, L/D = 60
- b - nízkotlaký PE 190 ° C , L/D = 60
- c - polyamid 200 ° C , L/D = 3,8
- d - polyamid /:kvalita jako pod c:/ 250 ° C
L/D = 30
- e - f - ,g - čiré PVC K = 70, 185 ° C, L/D= 10,
ale různá tekutost
- h - PVC /:materiál k výrobě gramofonových desek/
150 ° C L/D = 10,

/ 20 /

Další přístroj je reometr Merz-Colwellova typu vyrobený firmou Instron , který je na obr.čís.10 . Je to reometr výtlačného typu s pístem působící konstantní rychlostí na kapalinu. Rychlost se pohybuje mezi 0,05 - 50 cm/min. a zatížení tlakem je měnitelné v rozsahu 1 - 1300 kp/cm². Tlak je měřen v tlakové komoře spojené s registračním přístrojem. Teplota taveniny se dá nastavit na hodnoty mezi 50 - 350 ° C, její stálost je udržována pomocí regulačních zařízení v daných mezích.

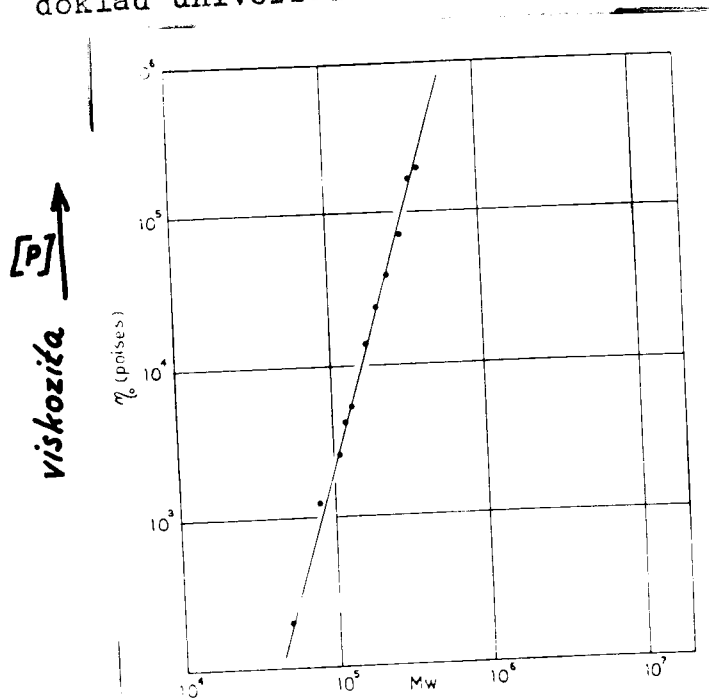


obrázek čís.10 .

Vysvětlivky k obr.čís.10:

- a - tlaková komora
- b - stěna tlakové komory
- c - pohyblivá křížová hlava zkušebního stroje
- d - nástavec tlakové komory
- e - zavírací mechanismus k vytažení pístu
- f - prstencové topné těleso
- g - horní topné těleso
- h - plášť zařízení
- i - střední topné těleso
- j - plášť válce
- k - válec
- l - píst
- m - polohy termočlánků - 4 kusy
- n - dolní topné těleso
- o - základní deska stroje
- p - vodící sloupky
- r - podpěrné zařízení
- s - těsnění kapiláry
- t - měrná kapilára
- u - vložky pro upnutí kapiláry a zajištění.

Některá měření na tomto reometru uvedu jako doklad universálnosti tohoto zařízení.



Obr.čís.11.

molekulová
váha

Na obr.čís.11 je závislost viskozity na molekulové váze polystyrenových vzorků. Na souřadnici y je vynesena logaritmus newtonské viskozity η_0 /viskozita při nulové smykové rychlosti/ a na ose x váhový průměr molekulové hmotnosti M_w při teplotě 230°C . Je to vlastně potvrzení rovnice:

$$\eta_0 = 1,7 \cdot 10^{-14} M_w^{3,4}$$

která platí pro $M_w > M_c$ /: $M_c = 38000$:/ . Této metody se používá pro kontrolu jakosti polymerů.

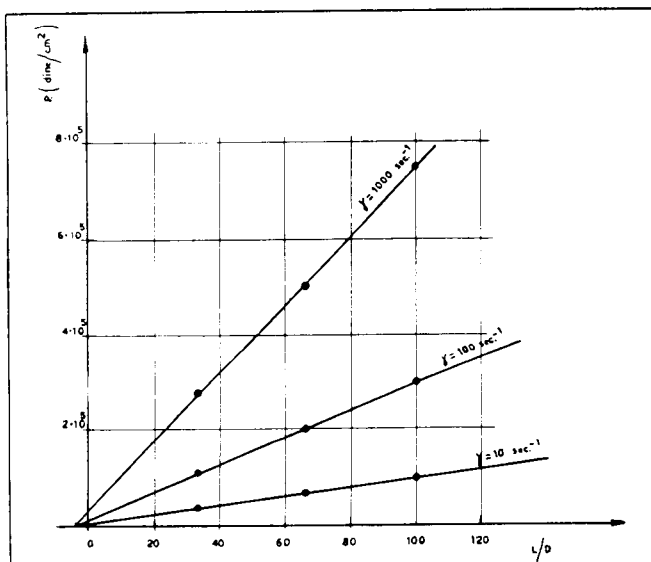
Také existují vztahy mezi elastickými a molekulárními vlastnostmi tavenin. Z formálního hlediska si můžeme představit, že elastická energie je využita hmotou k průtoku tzv. dodatečnou délkou kapiláry jejíž efektivní délka by byla:

$$L_{ef} = L + eR$$

kde L je původní délkou kapiláry a e /: zvané vstupní opravný faktor:/ pružnou deformaci. Tedy elastická energie při vstupu do kapiláry se rozptýlí při výstupu - narůstání materiálu. Vliv elastické energie v podporování toku taveniny je nepatrný a v tomto případě tokové křivky získané z různých kapilár L/R kolísá mezi 80 - 146 /superponují. Na příkladě vzorku polystyrenu při teplotě 200°C vystřikovaného čtyřmi různými kapilárami, se to stává. Z diagramu vypracovaného vynesem tlaku proti L/D získáme e extrapolací k nulovému tlaku. Tento postup zavedl Philipov a Gas k i n s a je znázorněn na obr.čís.12.

Zavedením této metody se dá často velmi uspokojivě vysvětlit viskoelastické chování tavenin polymerů. Zatím co nepružný materiál se ~~ztahuje~~, zmenšení původního průměru je až 20 %, četné polymery zvětšují svůj původní průměr až někdy o 200 %.

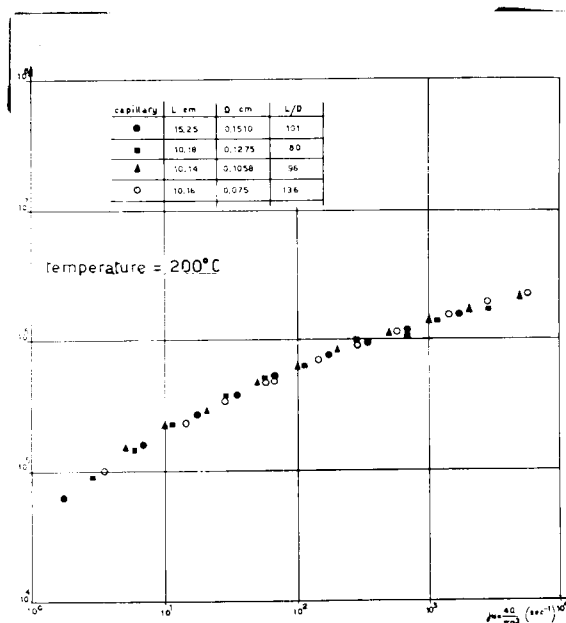
P
↑
 $\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$



Obrázek čís.12 .

Toková křivka u stejného vzorku polystyrenu vytlačovaného čtyřmi různými kapilárami/dle tabulky na obrázku/ je na obr.čís.13

τ
↑
 $\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}\right]$

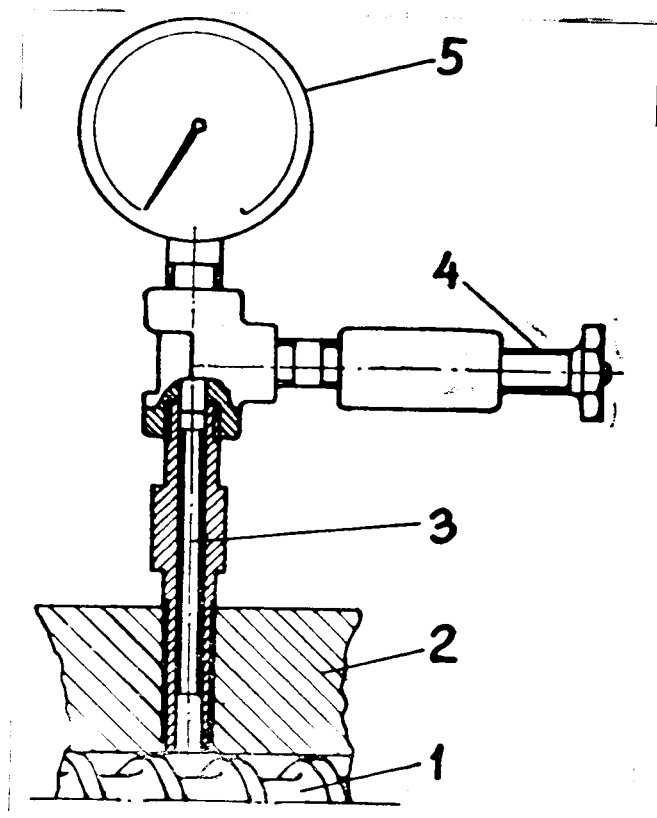


$V\left[\frac{1}{s}\right]$

Obrázek čís.13 .

Mimo těchto dvou uvedených reometrů vyráběných v západních zemích, existuje i v SSSR plastometr typu K A N A V E C na kterém se dosahuje velmi dobrých výsledků v reologii PH, přístroj však není seriově vyráběn.

Pístové manometry se v běžném provedení k měření plastických hmot nehodí pro velký posuv pístu. Carley používá pístového manometru spojeného s bourdonským perem, viz obrázek čís.14



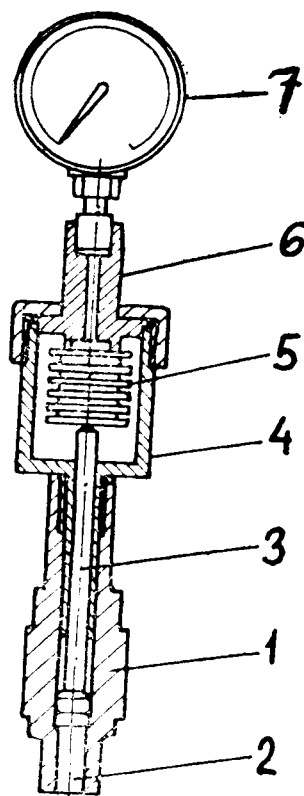
Obr.čís.14 .

1 - šnek, 2 - stěna válce vytlačovacího stroje, 3 - píst, 4 - kompensční šroub, 5 - Bourdonův manometr .

Kláz a Struminskij uvádějí provedení pístového tlakoměru doplněného vlnovcem /: sníží se posuv pístu:/. Schema tohoto provedení je na obrázku čís.15.

Citlivost pístového tlakoměru je možno dle Šanina zvýšit zařízením pro otáčení pístku.

Požadavek minimálního posuvu nebo deformace pracovní části snímače, splňují elektrické přístroje.



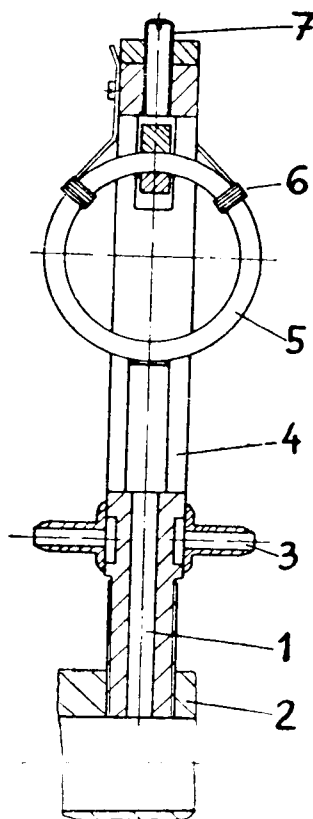
Obrázek čís.15.

1 - těleso tlakoměru, 2 - píst, 3 - převodní tyčinka, 4 - pouzdro, 5 - vlnovec, 6 - nástavec, 7 - bourdonský manometr.

Nevýhodou většiny elektrických tlakoměrů je nelineární stupnice, teplotní závislost, hystereze, přísné požadavky na izolaci. Piezoelektřiny nelze u snímačů využívat. Šanin a Levin pracovali s tenzometrickými čidly, které uvedu na obrázku čís. 16. Citlivost přístroje lze také zvýšit otáčením pístku.

Tohoto měření bylo užito i při válcování plastických hmot.

Z uvedeného je patrné, že tlaky v roztavených plastických hmotách se ve světě měří převážně pístovými, membránovými a tenzometrickými tlakoměry. U nás se začíná s vývojem těchto tlakoměrů hlavně ve výzkumném ústavu GPT Gottwaldov. Uvedu zde některé typy našich tlakoměrů na PH.

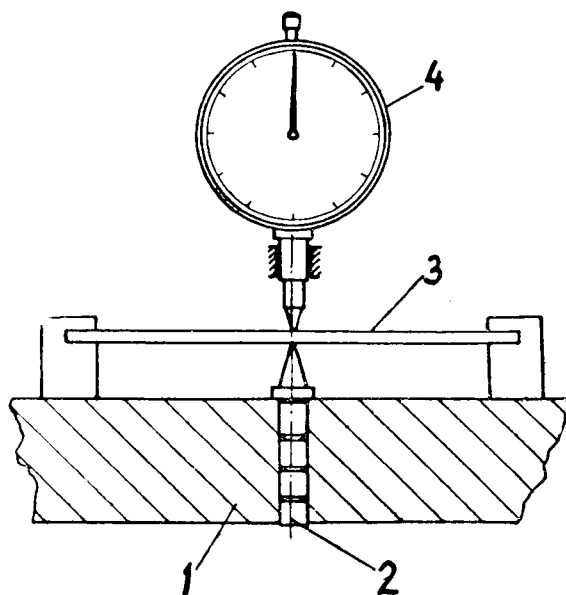


Obrázek čís.16 .

Tenzometrický tlakoměr s pístem. 1 - píst ,
 2 - stěna válce, 3 - ochladicí prstenec ,
 4 - těleso tlakoměru, 5 - kroužek, 6 - tenzo-
 metry, 7 - nastavovací šroub .

Pístový tlakoměr s hodinovým indikátorem:

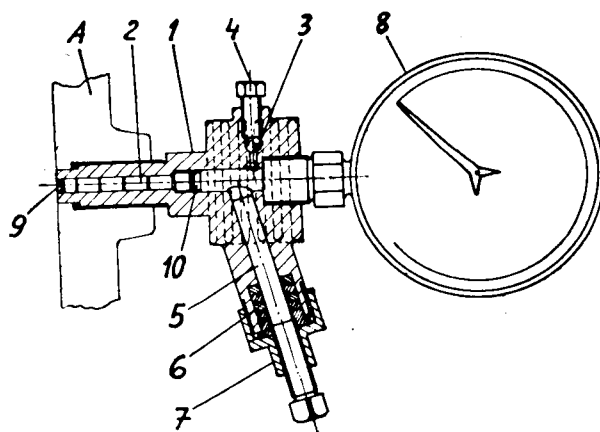
Je určen především k měření tlaku v dutině formy. V podstatě je to pístek opatřený drážkami který je přesně zalapován do otvoru ve stěně formy. Přenáší tlak taveniny na vetknutý nosník , jehož průhyb měří hodinový indikátor. Výhodou se jeví jednoduchost a velmi malý posuv pístku. Nevýhodou je nelineární stupnice a prudké změny tlaku působí nepříznivě na převodové ústrojí hodinového indikátoru. Tento tlakoměr je schematicky znázorněn na obrázku čís.17 .



Obrázek čís.17 .

- 1 - stěna vstřikovací formy , 2 - píst,
3 - pružina, 4 - hodinový indikátor .

Pístový tlakoměr s bourdonským manometrem.



Obrázek čís.18 .

- A - stěna zařízení, 1 - těleso tlakoměru,
2 - píst, 3 - kulička, 4 - šroub ,
5 - kompenzační šroub, 6 - těsnění,
7 - matice, 8 - bourdonský manometr ,
9 - 10 - teflonové těsnící manžety .

Tento tlakoměr je výhodnější než předešlé typy, protože snáší lépe prudké změny tlaku. Aby byla zachována dostatečná přesnost měření, tlak nesmí přesáhnout polovinu rozsahu stupnice Bourdonova tlakoměru, aby tlakoměr ukazoval spolehlivě i po delší době používání. Schema řešení je na obr. čis. 18. Tlak taveniny na píst se přenáší náplní silikonového oleje na bourdonské pero. Tlakoměr se vešroubuje do stěny zařízení a zahřeje se i s náplní, která se roztáhne a odpustí se kompenzačním šroubem. Rozsah přístroje, který má citlivost 2 kp/cm^2 je dán použitým typem bourdonského pera. Pístový tlakoměr byl vyzkoušen na většině používaných plastických hmot a bylo zjištěno, že při vůli mezi pístkem a stěnou 3 - 6 mikrometrů, není třeba těsnění a silikonový olej neproteče.

Byly zkoušeny i teflonové pístky dle zahraničních pramenů, ale neosvědčily se.

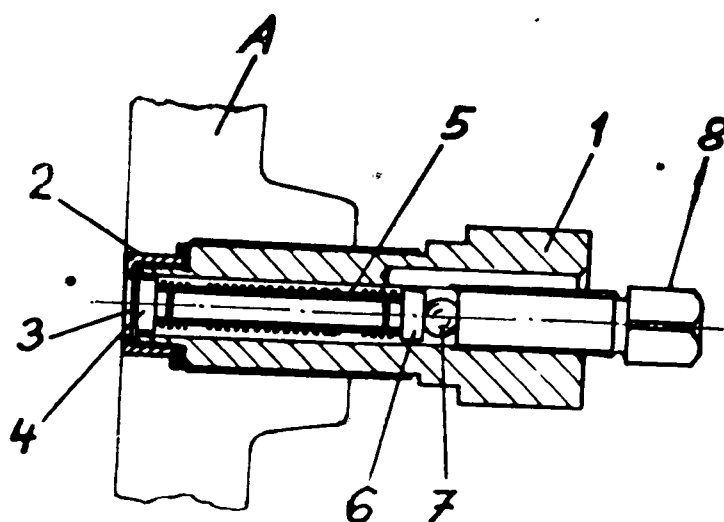
Nevýhodou tohoto tlakoměru je velký pohyb pístku /: až 15 mm:/, takže nám vzniká „mrtvý kout“, ve kterém se zdržuje plastická hmota, která ovlivňuje měření.

Tento tlakoměr se nehodí pro měření hmot, které se „pálí“, nebo pro PVC, které uvolňuje HCl, působící na lapované plošky.

Tenzometrický tlakoměr T 4 .

Tento přístroj byl vyvinut VÚGTP pro vstříkovací stroje. Má lineární stupnici, což je jeho velkou výhodou. Tlak taveniny působí na membránu 0,1 mm a přenáší se přes opěru na trubičku, s nalepenými tenzometry M 120, která je na druhém konci vetknuta. Teplota ale nesmí přesáhnout 200°C , což je určitá nevýhoda při měření. Výhodou přístroje je malý posuv

snímače /: 200 x menší než u pístového tlakoměru s bourdonským manometrem:/. Lze měřit pomalé i rychlé změny tlaku. Nevýhoda je ve složitosti a vysoké ceně tenzometrické aparatury a smyčkového oscilografu. Toto nám ukazuje, že přístroj se hodí jen k laboratorním účelům. Snímač tlakoměru je znázorněn na obrázku čís. 19.



Obrázek čís. 19.

- A - těleso stroje, 1 - těleso snímače,
 2 - lůžko membrány, 3 - membrána
 4 - 5 - 6 - trubička s nalepenými tenzometry a
 válcovými opěrkami, 7 - kulička,
 8 - stavěcí šroub.

V některých případech není možno tlakoměry pro jejich velké rozměry vmontovat přímo na těžko přístupná místa. Tento problém, hlavně u pístových tlakoměrů s bourdonským manometrem, byl řešen oddělením pracovní části snímače /: pístku: / od měřicího zařízení. Pístek je zabudován ve vodící trubce na těžko přístupném místě a vodící trubka je spojena s měděnou kapilární trubicí na jejímž opačném konci je vlastní měřič tlaku.

3.2. Měření teplot.

Obecně existuje velké množství způsobů měření teplot. Ale stanovení teplot plastických hmot při vstřikování je dosti omezené. Vyskytují se zde teploty 100 - 350 °C při značných tlacích, dále je zde určitý pohyb kapaliny při vytlačování či vstřikování.

Mezi základní druhy měření teplot roztavených plastických hmot, patří teploměry odporové a termoelektrické. Teploměry jiného principu jako dilatační a pyroelektrické se z provozních důvodů nemohou používat.

Odporové teploměry.

Kovy jak známo mění svůj elektrický odpor s teplotou a to v určitém rozsahu zcela lineárně. Tohoto principu se užívá v elektrických odporových teploměrech. Jejich velkou výhodou je značná přesnost, velmi dobrá časová stabilita údaje, možnost dálkového přenosu údaje a tím i zpracování. Nevýhodou je, zejména u laboratorních provedení, poměrně značné rozměry čidla, malá mechanická odolnost a složité indikační zařízení.

U nás tyto teploměry se nehodí pro náročnější měření teplot jako takových a jejich uplatnění nacházíme v provozních měřeních a v regulaci, kde je možno nejlépe využít jejich předností. Také v mé práci má regulační zařízení odporový teploměr o němž blíže pojednám v experimentální části. U nás jsou tyto teploměry normalisovány ČSN 258331.

Termoelektrické teploměry.

Termoelektrické teploměry jsou založeny na tak zvaném Peltierově jevu. V místě spoje dvou kovů nebo lépe řečeno dvojice, z nichž jedna dvojice, tzv. srovnávací konec, se udržuje na známé teplotě to - a druhá dvojice, tzv. měrný konec je umístěn

v měřeném prostředí. V důsledku tohoto jevu vznikne mezi oběma konci elektromotorická síla, která je úměrná teplotnímu rozdílu. Byly vytvořeny dvojice kovů, které mají maximální elektromotorickou sílu a z těchto dvojic nejpoužívanější jsou:

měď - konstantan /:Cu-Ko:/

železo - konstantan /:Fe-Ko:/

niklchrom - nikl /:Cr-Ni:/

chromel - alumel /:Ch-A :/

platinrhodium - platina /:PtRh-Pt:/

těmito dvojicemi se dají měřit teploty -250 do 3000 °C. Jsou normalisovány ČSN 258310.

Výhodou termočlánků je dobrá mechanická odolnost, malé rozměry, široký rozsah teplot, jednoduché indikační zařízení, možnost snadného měření teplotních rozdílů. Nevýhodou je nižší přesnost a časová stálost údaje.

Jejich předností pro měření roztavených plastických hmot jsou více než evidentní, proto se ve velké míře používají. Umísťují se do proudu taveniny různě a to do boku tavného válce co nejblíže roztavené hmotě, přímo do roztavené hmoty, nebo do speciálních jímek. Umístění do jímek je výhodné z důvodu poruchovosti a naopak nevýhodné je zkreslování údaje o tepelnou setrvačnost válce. O způsobu měření teploty v mé práci, pojednám v experimentální části.

B , E x p e r i m e n t á l n í č á s t .

Bylo ukázáno, že reologické chování polymerů je závislé na molekulárních, strukturálních a elastických vlastnostech. Nejdůležitějším praktickým úkolem je definovat, jak se bude polymer chovat při konkrétním zpracování.

Tokové vlastnosti polymerů se do nedávna měřily na vytlačovacích plastometrech /viz čl.2.4./ a tedy hodnoty naměřené zde a v podmínkách běžného vstřikování se často různily. Je tedy nezbytné provést reologická měření za velmi podobných reologických podmínek, se kterými se setkáváme při vlastním vstřikování. Tvar tokových křivek a křivek viskozita/teplota jsou ovlivněny molekulárními vlastnostmi polymerů.

Měření tokových křivek v různých rozmezích smykové rychlosti, obvyklé při tvářecím procesu, umožňuje předvídat reologické chování. Pro názornost uvedu řád smykové rychlosti při různém způsobu zpracování : lisování - 10/sec,

kalandrování - 100/sec,

vytlačování - 1000/sec,

vstřikování - 10000/sec .

Přesné vysvětlení vztahů mezi reologickými údaji a tvářecími podmínkami je obtížné, protože vstřikování je neizotermický proces, který probíhá za neustálých tokových podmínek. Jak jsem již uvedl, snažíme se podmínkám při vstřikování maximálně přiblížit. Je to podmíněno použitým přístrojem, protože vyšších hodnot smykových rychlostí je možno dosáhnout jen na reometrech /Göttfert , Instron/ nebo na speciálně upravených vstřikovacích lisech.

Mým úkolem bylo, sestavit plastoměr, kterým by bylo možno provést měření v oblastech vysokých smykových rychlostí, které se vyskytují při zpracování na vsřikovacích lisech. Podařilo se mi získat smykové rychlosti od 1703 - 21467/sec, čímž jsem obsáhl smykové rychlosti při běžném vstřikování do forem.

Jako základního zařízení jsem použil lis, na kterém jsem provedl několik úprav. Tento lis se používá při vstřikování do forem. Lis je umístěn v laboratoři plastických hmot VŠST Liberec.

1. Vstřikovací lis jako plastometr. /obr.čís.20/

Lis EZ IX je pístového typu / ϕ pístu 57 mm / s pracovním tlakem max 110 atm., čímž je možno dosáhnout v tavenině hmoty tlaku 310 kp/cm². Lis má samostatnou elektrickou napájecí jednotku /trafo/, kterou při měření nepoužívám vzhledem k malému výkonu. Jako zdroj tlaku slouží kompresor, který dodává tlak 150 atm. do vyrovnávací nádrže stroje /na obr.čís.20 za strojem/. Na obrázku vlevo nahoře je umístěno regulační zařízení, které slouží jako zdroj proudu pro topné pásy. Na obrázku vpravo je umístěn stolek s měřicími přístroji, to jest: setinné stopky, milivoltmetr termočlánek a zapisovač tlaku VAREG s akumulátorovým zdrojem. O každém přístroji jednotlivě se zmíním v přísl. kapitolách.

Úpravy, které jsem na lise provedl, se týkají vlastně jen tavného válce.

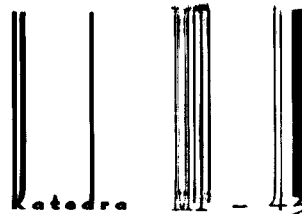
2. Úprava tavného válce:

Jelikož tavný válec má sloužit k běžnému vstřikování do forem, provedl jsem takovou úpravu, že lis po menší úpravě může sloužit jako měřicí zařízení.



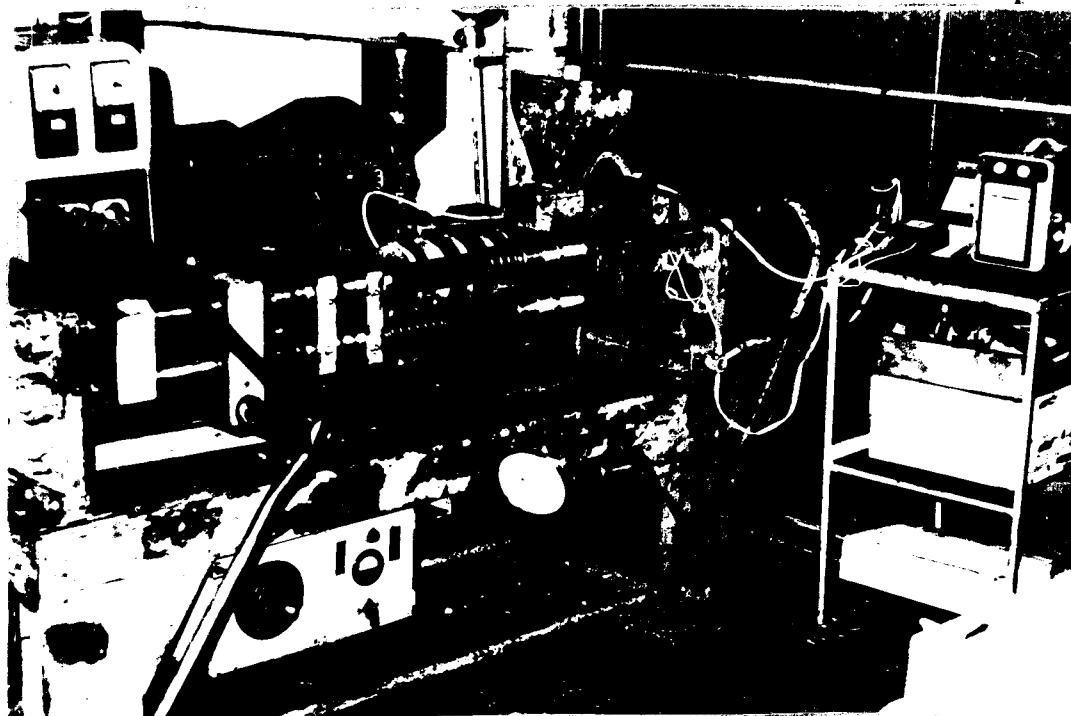
USST Liberec

Fakulta strojní



Katedra - 43

DP ST/837/70



Obrázek čís.20 .

Vzorem pro úpravu tavného válce byl v podstatě vytlačovací plastometr, tedy zařízení se skládá z pístu, tavné komory a měrné kapiláry. Výkres měřicího zařízení - viz příloha ST/837/70 000 . Úprava spočívá v tom, že na torpédo našroubované v tavné komoře /pos.2/ a /pos.5/ je našroubován nástavec /pos.6/, z kterého je vyvedeno měřicí zařízení tlaku - pístový snímač, a teploty - termočlánekové čidlo. Dále je zde možnost použití výměnných měrných kapilár /pos.7/. Na tavné komoře je umístěn hliníkový obal s třemi topnými pásy /pos.9,12,13,14/. Příkon na tavnou komoru je 1550 W. Na nástavci je hliníkový obal /pos.8/ s dvěma topnými pásy o příkonu 900W. Hliníkovými prstenci chci docílit co nejrovnoměrnější rozvod tepla . V každém hliníkovém obalu je umístěn regulační odpor pro regulaci konstantní teploty. Praktickým odzkoušením pomocí regulátoru teploty a z údajů termočlánu jsem zařízení synchronisoval tak, že teplota byla během vstřikovacího cyklu konstantní.

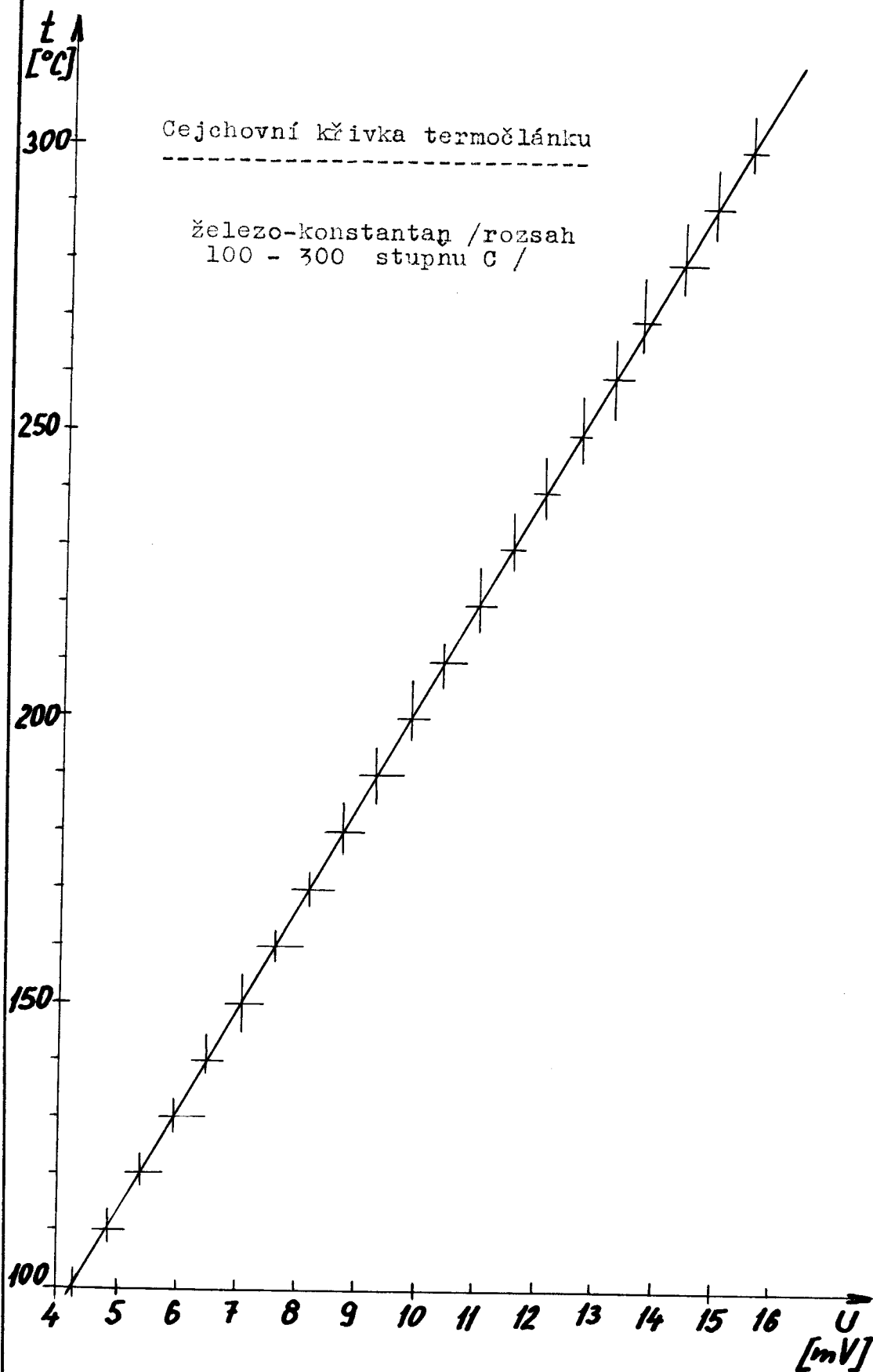
2.1. Způsob měření tlaku :

V mém měření jsem použil p í s t o v é h o t l a k o m ě r u s B o u r d o n s k ý m m a n o m e t r e m stejné konstrukce, jak je na obr.čís.18 str.36 s malou úpravou. Tento tlakoměr je výhodný, protože snáší dobře prudké změny tlaku . Citlivost přístroje je 2 kg/cm^2 , třída přesnosti 1,5 nebo 2,5 , podle přesnosti Bourdonova manometru. Tento tlakoměr lze použít se zaručenou přesností u těchto tavenin plastických hmot: teflex, polyethylen polystyren, tvrdý i měkčený PVC, polypropylen, polyamid, polyformaldehyd.

Jeho rozdílnost oproti tlakoměru na obr.čís.18 je v tom, že je odělena snímací část od vlastního měřicího přístroje měděnou kapilárou v délce cca 30 cm. Je to proto, že tlakoměr může pracovat s požadovanou přesností jen do 50°C , dále také z důvodů odečtu na stupnici manometru. Celý systém tlakoměru je vyplněn silikonovým olejem a dutina snímače je zvlášť vyplněna silikonovým tukem . Výhodou tohoto tlakoměru je, že je možno tlak odečítat buď vizuálně, nebo na zapisovači typu VAREG . Je to proto, že bourdonské pero je napojeno na kruhový potenciometr, jehož napětí - změna, je vedena na zapisovač.

2.2. Způsob měření teploty:

Jak jsem se již zmínil v kapitole 3.2. v úvodní části str.39, je nejvýhodnější pro měření teplot tavenin polymerů použít termočlánků. Použil jsem termočlánek typu železo - konstantan /Fe-Ko/ a to z těchto důvodů: Tato dvojice má velkou elektromotorickou sílu, a vztah mezi teplotou a ~~EMC~~ silou je lineární. Tento článek jsem cejchoval v silikonovém oleji pomocí měrného kapilárního skleněného



teploměru a hodnoty jsem vynesl do cejchovní křivky termočlánku /viz graf na str.45/. Tento termočlánek je vhodný pro měření teplot v rozsahu $0 - 600^{\circ}\text{C}$. Termočlánek je bez srovnávacího konce a proto údaj je veden k měřicímu přístroji pomocí tzv.kompensačního vedení. Údaj měří milivoltmetr zapojený na rozsah $0 - 20\text{ mV}$ a tento údaj převádím na teplotu pomocí předcházející cejchovní křivky.

2.3. Regulace teploty tavného válce a nástavce.

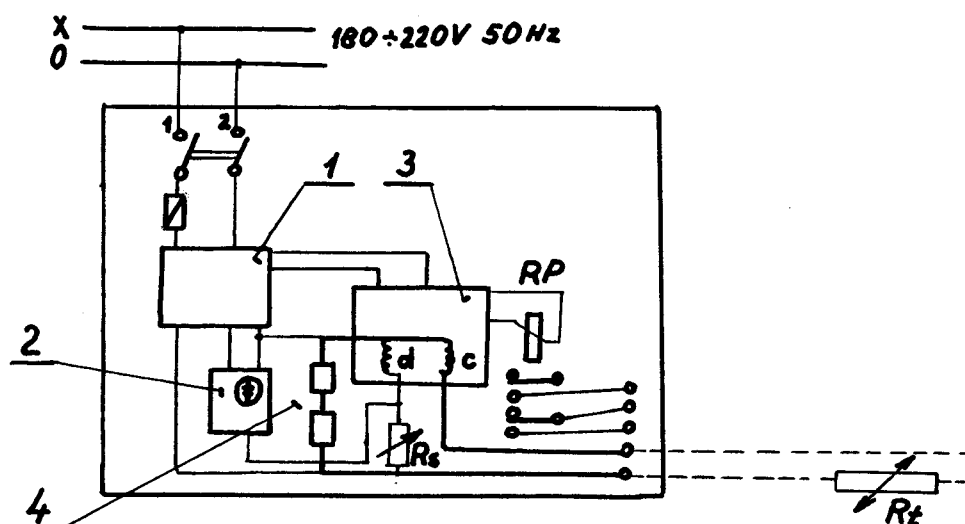
Na udržení rovnoměrné teploty během měření nestačí trafo a regulátor vestavený ve stroji, protože nemá potřebný výkon a nelze je přesně nastavit na danou teplotu. Volil jsem tedy speciální regulátory zvlášť pro tavnou komoru a zvlášť pro nástavec. Jejich odporová čidla jsou umístěna v příslušných hliníkových prstencích /bezprostřední regulovatelnost v důsledku tepelné vodivosti hliníku/.

Jedinou nevýhodou je, že údaj na teplotní stupnici regulátoru neodpovídá teplotě taveniny. Je zde určitá diference vzhledem k prostupu tepla: Al obal - tavný válec - tavenina plast.hmoty.

2.3.1. Popis regulátoru a jeho činnost.

Magnetický regulátor typ 91642 reguluje teplotu v mezích závislých na pásmu impulsování, které je nastavitelné v rozmezí $2 - 6\%$ rozsahu přístroje. Doba trvání impulsu je výrobcem stanovena na $20 - 40/\text{sec}$. Vlastní práce přístroje, jehož funkční schema je na obr.čís.21, je popsána následovně:

Sít.transformátor 1. napájí magnetický zesilovač 3., měřicí a regulační můstek 4., a impulsní obvod 2. Regulační můstek se skládá s vinutí c a d s příslušným odporovým čidlem R_t /odporový teploměr Pt 100 ohmů/ a s odporem R_s pro seřízení žádané teploty.



Obrázek čís.21 .

- 1- síťový transformátor, 2 - impulsní obvod,
3 - magnetický zesilovač, 4 - měřicí a regulační můstek .

Magnetický zesilovač je řízen vinutím c d v diferenčním zapojení. Zesilovač napájí relé RP s jedním klidovým a činným kontaktem. Regulátor je doplněn impulsním obvodem ovládajícím impulsy topení i signalisací. Při nastavené proporcionalitě regulátoru udržuje se teplota v rozmezí $\pm 1^\circ C$. Toto regulační rozmezí je postačující pro přesné reologické měření tavenin plastických hmot.

3. Způsob měření objemové rychlosti.

Abych vyloučil vliv subjektu pracovníka, vycházel jsem při určování objemové rychlosti z rovnice kontinuity. Měřím tedy čas potřebný k vytlačení určitého objemu taveniny a z toho počítám objemovou rychlost $Q/cm^3/sec./$. Zařízení, jenž je uvedeno na výkrese sestavy ST/837/70-000, se skládá v podstatě z objímky, umístěné na pístu stroje, na které je pevně připevněn pojízdný dotyk /pos.18/. Tento dotyk pojíždí po novodurové trubce, opatřené pevným dotykem ve tvaru měděné objímky. Doba spojení obou dotyků při pohybu pístu nám vymezí pro každé měření přísně stejný objem.

Dobu sepnutí měřím elektrickými setinnými stopkami a tedy při měření se mění, v důsledku změn v tavenině, jen čas vystřikování.

4. Vlastní měření.

Před vlastním měřením jsem vyzkoušel několik druhů trysek a to průměrů: 0,5 mm, 0,75 mm a 1 mm různých poměrů L/D. Dále jsem zkoušel různé délky pevných dotyků, čímž jsem ovlivňoval vytlačené množství taveniny. Jako nejvhodnější pro dané zařízení jsem zvolil trysku o ϕ 0.75 mm a to ve dvou variantách: L/D = 19, tryska čís.1 /ST 837/70-001/

L/D = 9, tryska čís.2 / ST 837/70-002/.

Jako míru pevného dotyku jsem volil měděný pásek délky 6,787 mm /měřeno na ABBÉ komparátoru/

průměr pístu stroje je 56,85 mm

$$\text{plocha pístu } F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14/56,85/2^2}{4} = \frac{10148,237}{4} =$$

$$F = 2537,06 \text{ mm}^2$$

vytlačený objem taveniny = F x délka pevného dotyku

$$Q_1 = 2537,06 \times 6,787$$

$$Q_1 = 17226,64 \text{ mm}^3$$

$$Q_1 \doteq 17,227 \text{ cm}^3$$

Výpočet vteřinového průtočného množství Q :

Měření bylo prováděno pro tlaky nastavené na strojním zařízení 80,90,100,110 atm. a pro teploty 184,204,222,241 ° C. Pro každou teplotu byly nastaveny všechny tlaky výše uvedené a pro každý tlak jsem měřil 5 časových hodnot, z nichž jsem pak vypočítal průměrné hodnoty. Jelikož se tekutost hmoty mění teplotou a tlakem, mění se i odpor proti tečení v trysce, tedy mění se i čas k vytlačení objemu Q_1 .

Průměrné hodnoty z pěti měřených časů, jimiž byl dělen vytlačený objem Q_1 , nám dávají vteřinové průtočné množství Q v cm^3/sec , nebo-li objemovou rychlost.

Ještě je nezbytné uvést, že pro každou změnu teploty jsem nechal tavný válec temperovat 20 min. a také při jednotlivých měřeních jsem nechával určitou pauzu. Je to z důvodů prohřátí celého průřezu taveniny na danou teplotu.

Proměření trysky 1.

Průměr trysky měřený na komparátoru = 0,826 mm
 $R = 0,413 \text{ mm}$ délka $L = 15,70 \text{ mm}$.

Výpočet smykové rychlosti V :

$$V = k \times Q \quad /1/\text{sec}/$$

$$k = \frac{4}{\pi R^3} = \frac{4}{0,0002198} = \underline{18198,4}$$

Výpočet smykového napětí τ :

$$\tau = k \times P \quad /kp/cm^2/$$

$$k = \frac{R}{2L} = \frac{0,413}{2 \cdot 15,70} = 0,013153$$

Proměření trysky 2.

Průměr trysky měřený na komparátoru = 0,784 mm

$R = 0,392 \text{ mm}$ délka $L = 7 \text{ mm}$

Výpočet smykové rychlosti V :

$$V = k \times Q \quad /1/\text{sec}/$$

$$k = \frac{4}{\pi R^3} = \frac{4}{3,14 \times 0,0000602} = 21147,2$$

Výpočet smykového napětí τ :

$$\tau = k \times P \quad /kp/cm^2/$$

$$k = \frac{R}{2L} = \frac{0,392}{2 \times 7} = 0,027$$

Všechny naměřené i vypočtené hodnoty - pro obě trysky - jsou zaneseny do příslušných tabulek / též logaritmy V a τ /. Na stranách 50 a 51.

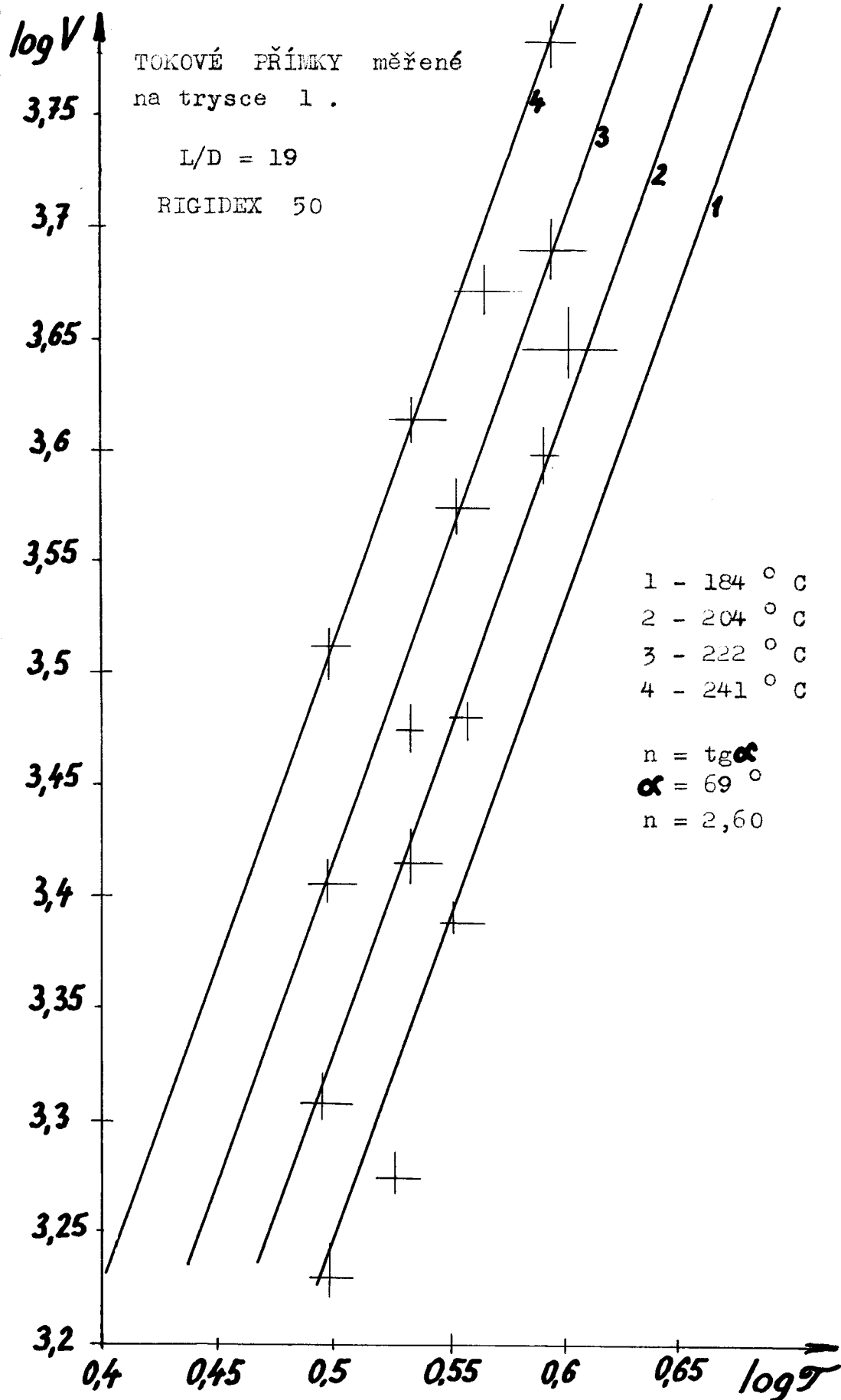
Hodnoty $\log V$ a $\log \tau$ jsou vyneseny v souřadném systému a změřena směrnice přímky n .

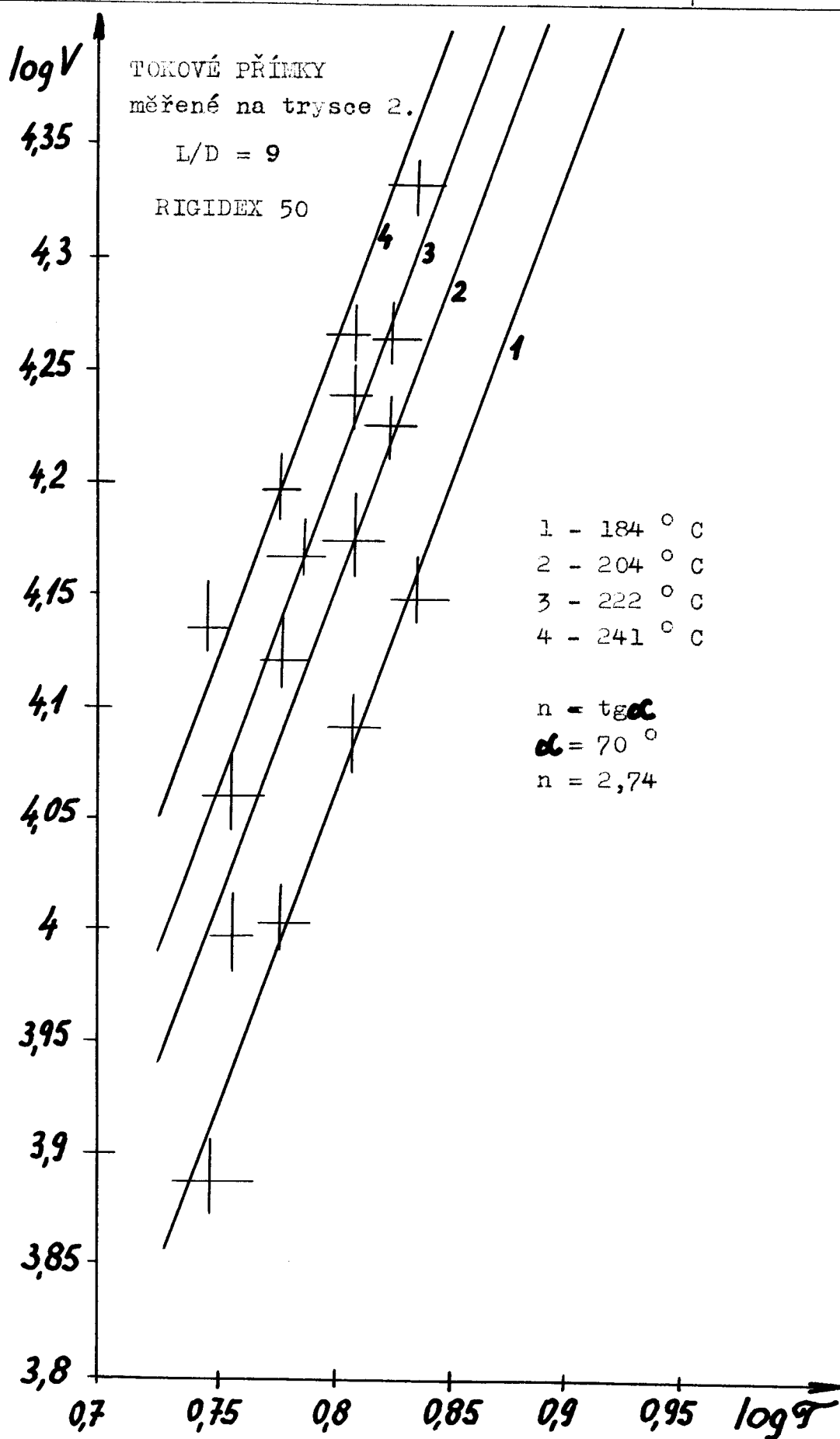
Měření tlaksy 1 / ST-837-70-001 / $\frac{1}{D} = 19$

Teplota, měření [°C]	čas [sec]					Tlak tlaviny [kp/cm ²]	Objemová rychlost [cm ³ /sec]	Smyková rychlost [1/sec]	Smyk. napětí [kp/cm ²]	log V sm. rychlosti	log T sm. napětí
	1	2	3	4	5						
184	194,05	193,91	176,22	177,30	179,93	184,06	0,0936	1703,4	3,157	3,23121	0,49927
	157,50	161,77	172,5	171,69	166,33	165,96	0,1038	1889,9	3,354	3,27646	0,52556
	122,10	132,96	137,70	118,30	128,17	128,25	0,1343	2444	3,551	3,38739	0,55035
	75,44	83,09	77,70	74,36	82,37	78,59	0,2192	3989,1	3,880	3,59999	0,58883
204	154,84	156,2	153,41	149,82	155,23	153,9	0,1119	2036,4	3,130	3,30878	0,49554
	117,54	120,9	117,07	121,82	124,88	120,44	0,1430	2602,4	3,407	3,41531	0,53237
	104,65	103,9	100,78	103,81	105,50	103,73	0,1661	3022,8	3,604	3,48044	0,55678
	71,5	69,7	72,36	73,93	66,67	70,83	0,2432	4425,9	4,025	3,64601	0,60473
222	123,25	124,1	126,7	122,47	120,1	123,32	0,1397	2544,2	3,157	3,40522	0,49927
	103,0	106,26	103,69	105,92	106,88	105,15	0,1638	2980,9	3,407	3,47436	0,53237
	80,25	84,64	88,6	81,2	84,15	83,89	0,2054	3738,0	3,551	3,57264	0,55035
	62,45	67,78	64,49	62,28	61,25	63,65	0,2707	4926,3	3,920	3,69249	0,59320
241	93,38	96,01	96,07	97,92	95,85	95,85	0,1797	3270,3	3,158	3,51455	0,49927
	74,48	79,86	77,36	71,81	77,52	76,2	0,2261	4114,7	3,407	3,61437	0,53237
	65,82	69,57	65,13	65,04	67,32	66,56	0,2588	4709,7	3,657	3,67302	0,56312
	49,72	51,42	53,36	48,81	52,85	51,23	0,3363	6120,1	3,933	3,78675	0,59470

Měření trysky 2 / ST-837-70-002 / $\frac{L}{D} = 9$

Teplota měření [°C]	čas [sec]						Tlak taveniny [MPa]	Objemová rychlost Q [cm³/sec]	Smýkavá rychlost V [1/sec]	Smýk. napětí τ [MPa]	log V sm. rychlosti	log τ sm. napětí
	1	2	3	4	5	φ						
184	49,94	46,15	45,19	48,48	46,91	47,33	200	0,3640	7697,6	5,6	3,88632	0,74819
	33,60	33,0	36,05	35,37	36,7	34,94	215	0,4930	10426	6,02	4,01828	0,77960
	28,98	27,15	29,52	31,08	30,34	29,53	230	0,5834	12337	6,44	4,09026	0,80889
	24,77	24,65	27,57	25,15	27,16	25,96	245	0,6636	14033	6,86	4,14714	0,83632
	35,55	37,73	36,77	36,46	36,92	36,69	203	0,4695	9929	5,68	3,99691	0,75465
204	27,74	27,50	27,20	27,38	28,15	27,59	215	0,6244	13204	6,02	4,12060	0,77960
	24,27	25,12	22,78	25,75	24,17	24,48	230	0,7037	14891	6,44	4,17262	0,80889
	21,7	22,82	21,45	21,84	21,27	21,82	240	0,7895	16696	6,72	4,22260	0,82737
	31,03	32,02	32,46	31,77	31,53	31,76	205	0,5424	11470	5,74	4,05956	0,75891
222	24,38	24,60	25,99	25,66	23,69	24,86	220	0,6930	14655	6,16	4,16595	0,78958
	21,20	20,15	20,58	21,60	21,55	21,02	230	0,8196	17332	6,44	4,23890	0,80889
	20,09	19,85	20,09	19,90	19,63	19,91	240	0,8652	18297	6,72	4,26240	0,82737
241	26,65	27,64	27,28	25,97	26,30	26,77	200	0,6435	13608	5,6	4,13370	0,74819
	22,94	22,93	23,78	22,86	23,52	23,21	215	0,7422	15695	6,02	4,19575	0,77960
	18,18	20,63	20,00	20,62	19,93	19,97	230	0,8683	18362	6,44	4,26392	0,80889
	17,22	17,83	17,69	15,33	16,76	16,97	245	1,0151	21467	6,86	4,33177	0,83632





Na zkušebním zařízení byl použit jako zkoušený materiál lineární polyetylen RIGIDEX -50 .

Výpočet fluidity Φ :

Fluiditu počítám dle vzorce:

$$\log \frac{4\Phi}{n+3} = \log V_i - n \log T_i$$

kde n je směrnice tokové přímky zjištěné z diagramu odměřením úhломěrem .

$\log V_i$ je průměrná hodnota logaritmu smykových rychlostí pro jednotlivé teploty .

$\log T_i$ je průměrná hodnota logaritmu smykových napětí pro jednotlivé teploty .

Hodnoty Φ pro trysku 1 . $L/D = 19$, $n = 2,60$

Teplota	184 ° C	$\Phi_1 = 129,458$
	204 ° C	$\Phi_2 = 153,65$
	222 ° C	$\Phi_3 = 185,57$
	241 ° C	$\Phi_4 = 234,5$

Hodnoty Φ pro trysku 2 . $L/D = 9$, $n = 2,74$

Teplota	184 ° C	$\Phi_1 = 104,45$
	204 ° C	$\Phi_2 = 129,80$
	222 ° C	$\Phi_3 = 143,57$
	241 ° C	$\Phi_4 = 163,95$

5 . Porovnání mého měření s hodnotami získanými na vytlačovacím plastoměru.

Jak známo, mohou mít polymery za nízkých smykových rychlostí zcela jiné vlastnosti, než za vysokých smykových rychlostí. Proto bych chtěl pro porovnání uvést hodnoty Φ a n měřených pro tentýž materiál RIGIDEX 50 na vytlačovacím plastoměru. Měření bylo provedeno v naší laboratoři v roce 1967 L. Stránským.

Na vytlačovacím plastoměru byla použita kapilára $R = 0,102$ cm , $L = 0,8$ cm , $L/D = 40$.

Hodnoty smykové rychlosti se pohybovaly $V = 3,75 - 136,5$ l/sec. a hodnoty smykových napětí $\tau = 0,49 - 2,187$ kp/cm². Hodnoty Φ a n jsou následující:

Teplota 180 °C,	$\Phi_1 = 17,62$, $n = 1,89$
200 °C,	$\Phi_2 = 24,96$, $n = 1,86$
220 °C,	$\Phi_3 = 31,14$, $n = 1,84$
240 °C,	$\Phi_4 = 38,84$, $n = 1,839$

Hodnoty fluidity v mém měření jsou vyšší, než hodnoty získané na vytlačovacím plastoměru. Jestliže vliv teplot na obě měření nemá velký vliv /teploty jsou v přibližně stejných mezích/, má hlavní vliv na soustavu, vyšší hodnoty smykových rychlostí /o tři řády vyšší/ a smykových napětí/až 8,3 kp/cm². Je to tedy v podstatě dáno použitím vyšších pracovních tlaků vstřikovacího lisu a na rozměrech použité měrné kapiláry. Nižší hodnotu n u měření na vytlačovacím plastoměru vysvětlují tím, že materiál má při nižších smykových rychlostech více newtonského chování a tedy tokové přímka může mít, v oblasti smykových rychlostí 136 - 1700 l/sec, zlom.

6. Zhodnocení měření.

Na zařízení, navržené v této práci, lze zkoumat taveniny polymerů za vysokých smykových rychlostí. Maximální hodnota smykové rychlosti, kterou jsem na tomto zařízení dosáhl je 38150 l/sec a hodnota max. smykového napětí byla 8,12 kp/cm². Při těchto podmínkách, které byly dosaženy při maximálním tlaku stroje /tlak v tavenině 300 atm./ a teplotě 240 °C jsem docílil tak zvaného „lomu taveniny“. Je to ukázáno na obrázku čís.22 nahoře. Na rozdíl od výstřiků, jenž jsem získával při měření na obou tryskách /viz tabulky str.50,51/, které byly dokonale hladké, což je zřejmé z obr.č.22 dole.



Obrázek čís.22 .

„Lámání taveniny“ je způsobeno zorientováním krystalitů, vyskytujících se v tavenině, které způsobují nejprve periodické zdouvání a při kritickém smykovém namáhání hrubou distorsi výstřiku bez jakékoliv periodicity. O tomto jevu jsem pojednal proto, že při vstřikování ve výrobě, za použití stejného materiálu, mohou mít výrobky velmi špatné mechanické vlastnosti.

Hodnoty n , tangenty sklonu tokových přímk u mého měření, jsou vyšší než u plastoměru. Jelikož jsem pro každý tlak prováděl pět měření, těžko se v systému vyskytla chyba. Tímto chci upozornit na to, že je velmi nutné proměřit smykové rychlosti, u měřeného materiálu RIGIDEX 50, v rozmezí 136 - 1700 1/sec., a zjistit tokové chování materiálu v celém rozsahu smykových rychlostí, to je od 3,75 - 21167 1/sec.

Jelikož má měřicí zařízení některé nedostatky, chci pro zlepšení práce přístroje, uvést některé návrhy pro docílení dokonalejších údajů:

1. Nechat vyrobit řadu trysek od poměru $L/D=5$ až $L/D = 40$, o průměru kapiláry 0,75 mm s úhlem náběhu 60° /po případě úhel ještě odzkoušet/ .
2. Postup měření ponechat stejný jako v mé práci, ale rozsah proměřovaných tlaků zvýšit : tedy nastavit tlaky stroje 60,70,80,90,100,110 atm. Tím by se obsáhl větší obor smykových rychlostí a napětí.

3. Zapisovat údaje o tlaku, teplotě a pohybu pístu na zapisovací přístroje, nebo lépe, všechny údaje vést na osciloskop se zpožděným reflexem a fotografovat. Tímto bychom dokonale zjistili nej - optimálnější výchozí polohu čela vstřikovacího pístu v závislosti na změně tlaku a teploty během vstřik. procesu.

4. Termočlánkem měřit , těsně u kapiláry trysky při výstupu extrudátu, oteplení taveniny, protože, dle nových výzkumů, s délkou kapiláry roste přeměna mechanické energie v tepelnou a tím se zvyšuje teplota taveniny při průchodu kapilárou. Na tento efekt provést opravu teploty. /Lit.24 /

5. Přesně stanovit dobu prohřátí tavné komory a tuto přesně dodržovat při změně měřených teplot . Také intervaly mezi jednotlivými měřeními zvýšit tak, aby se nevyskytla chyba v teplotě jednotlivých proudnic.

Jsem toho názoru, že při provedení těchto výše uvedených zlepšení, bude ^{na} vzařízení možno s velkou přesností stanovit tokové vlastnosti polymerů za podmínek, vyskytujících se při běžném vstřikování , stejně přesně, jako u dokonalých reometrů Göttfert-Instron.

7. Závěr.

Není zvláštností, že při aplikaci laboratorního měření na podmínky v praxi, se vyskytnou některé nesrovnalosti. Přesto ale zkoušky mají býtí vodítkem, jak na př. upravit trysku vstřikovacího stroje, tokové kanálky a vyústění forem, tlaky a teploty taveniny tak, abychom dostali vystříknutou součást s co nejlepšími vlastnostmi.

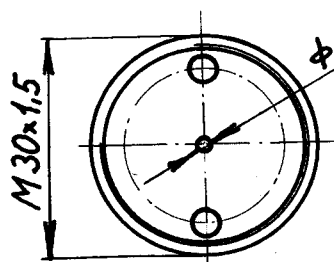
V této souvislosti je nezbytné uvést, že geometrie trysky má na celou soustavu značný vliv. Zařízení může posloužit i k tomuto vysvětlení vlivu geometrie trysky, který je pro praxi velmi nezbytný.

Je hodně reologických údajů, které se ještě v praxi neaplikovaly. Proto doufám, že zařízení na zkoušení reologických vlastností plastických hmot, bude nedílnou součástí při aplikaci měření plastických hmot na podmínky, vyskytující se v praxi běžného vstřikování do forem.

Milan Labut
.....

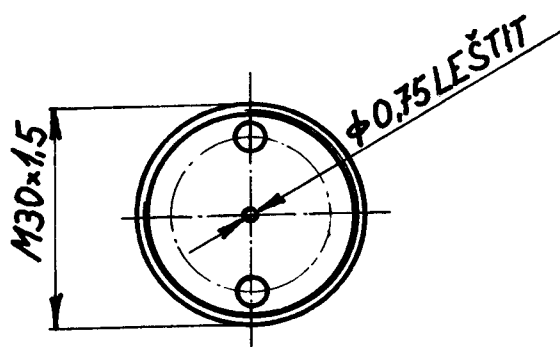
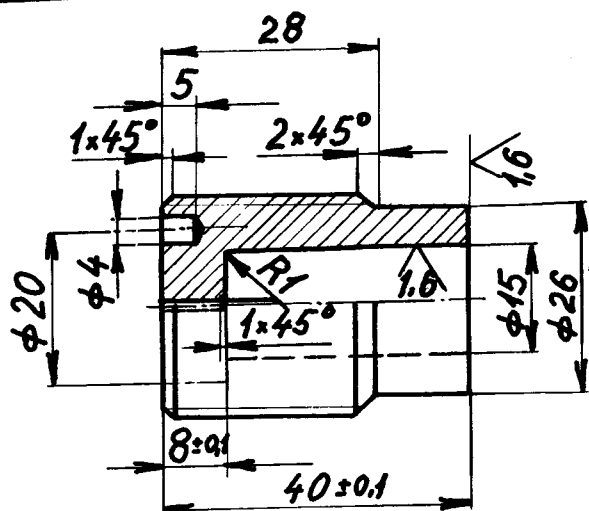
VŠST Liberec		Katedra MT - 59
Fakulta strojní		DP ST/837/70
Seznam použité literatury: 1. S.J.Skinner,W.Tailor Trans.Plastics Inst./London/,28,No. 78/December 1960/. 2. D.W.Dodge,Ind.Eng.Chem.,51, 839/1959/. 3. R.S.Lenk A Generalized Flow Theory, 1967, Journal of Applied Polymer Science, str.1033-1042,11. 4. M.Reiner Deformation,Strain and Flow H.K.Lewis,1960 p.223. 5. K.Edelmann, Simposio Internazionale di Chimica Macromolekulare -Torino 1954 . 6. Pezzin G. Reology of molten Polymere .Materie plastische ed elastomeri,8,1964. 7. M.Kořínek Diplomní práce 1969 8. Prof.Dr.ing.G.Schenkel Zur rheologischen Klas- sifikation von Hochpolymeren. Kunststoff-Rundschau,čís.9,str.473 - 481 z r.1966. 9. Krebs J. Přednášky „Plastické hmoty,, 1969 10. Krebs J. Přednášky „Polymery,, 1969 . 11. J.R.van Wazer ,Encyklopedia of Chemical Techn., Vol 11,page 730 /1953/, 12. T.Kotaka,M.Kurata,N.Tamura Applied Physic 30,1705 /1959/. 13. B.Marwell, S.Masudza SPE Journal 27,13 /1957/ . 14. R.Mc Kenelt, Anal. Chem.,32,1458 /1960/. 15. M.Kepes, J.Polymer Sci.,22,409 /1956/. 16. W.P.Cox,E.H.Merz, ASTM Special Technical Publication No.247 /1958/. 17. A.B.Metzner,E.L.Carley,I.G.Park, Modern Plastics,37,133 /Juli 1960/. 18. J.M.McKelwey,Ji Gavis,T.G.Smith, SPE Journal,page 29/September 1957/ 19. ČSN 640864 20. Von Obering,Otto Göttfert Leonberg b.Stuttgart Prüfmaschine zur Ermittlung der Fliess-und Spritzfähigkeit von Kunst- stoffen, 7/1962, str.454-457.		

VŠST Liberec		Katedra MT - 60
Fakulta strojní		DP ST/837/70
21. G.Pezzin Application of rheological plastic materials. Reprint a překlad fy Instron Limited, Halifax Road High Wycombe Bucks z Plastiche ed Elastomeri 30,700 /1964/. 22. J.Švéda, O.Hrabovský, O měření tlaku v roztažených plastických hmotách. Kaučuk a plastické hmoty 3,1963, str.83 . 23. Příručka měřicí techniky SNTL 1965 . 24. V.V.Abramov, Izmerenie temperatury rasplava pri vychodě iz mundštuka litjevoj mašiny . Plastičeskiye massy, č.4, str.43-44 /1968/.		


$$\begin{array}{c} 3,2 \\ \sqrt{} \end{array} / \begin{array}{c} 1,6 \\ \sqrt{} \end{array} \quad \begin{array}{c} 0,4 \\ \sqrt{} \end{array} /$$

Ø 0,75 LEŠTIT

Model	11600.0	7	ST/837/70-000
Posled		Posled	C. výměna cast.
30x42 ČSN 426510.12	1	0,25	
9.6.1970	Labut. M.		
1:1			
VŠST			
LIBEREC	TRYSKA 1		ST/837/70-001



3,2 / 1,6, 0,4 /

Material 11600.0 7 ST/837/70-000

Polotovka 30x42 ČSN 426510.12 1 0,25

Měřítko 9.6.1970 Labut M.

1:1

VŠST

LIBEREC

TRYSKA 2

ST/837 / 70-002