

Vysoká škola strojní a textilní
v Liberci, Fakulta strojní - Katedra sklářství a keramiky

VLIV DRUHU KOVOVÉHO MATERIÁLU PRO SKLÁŘSKÉ FORMY
NA KVALITU POVRCHU MALÝCH VÝLISKŮ Z KŘIŠTÁLOVÉHO SKLA

KANDIDÁTSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ved. školitel: Prof. Dr. Ing. Fr. Kotěšmíd

Pom. školitel: Prof. Ing. J. Dítl, CSc.

Ing. Roland Kirsch

O b s a h :

Str.

1.	<u>Úvod</u>	2
2.	<u>Teoretické předpoklady řešeného problému, doazvad, stav v dané oblasti</u>	5
2.1.	Některé základní poznatky a zákonitosti pohybu skloviny při tvarování - lisování	5
2.2.	Sdílení tepla mezi sklovinou a formou	11
2.3.	Vliv drsnosti kovu (povrchu formy)	17
2.4.	Podstatné výtahy z prací autorů zabývajících se danou problematikou	21
2.5.	Návrh řešení experimentální části	29
3.	<u>Experimentální část práce - vlastní měření</u>	32
3.1.	Podmínky pokusů a jejich podstata	32
3.2.	Zkušební zařízení, sklo	33
3.2.1.	Tavící agregát	33
3.2.2.	Lisovací automat	33
3.2.3.	Chemické složení skla a kontrolované fyz. a optické vlastnosti	34
3.3.	Metodika pokusů, odebírání vzorků	35
3.4.	Výběr materiálů pro experiment.měření, jejich chemické složení a fyz. vlastnosti	36
3.5.	Formy pro lisování	44
3.5.1.	Tvar a velikost	44
3.5.2.	Kvalita povrchu forem	45
3.6.	Měření kontrolovaných veličin	47
3.6.1.	Měření teploty skloviny	47
3.6.2.	Měření lisovacího tlaku	51
3.6.3.	Kontrola ostatních podmínek tvarování	54
3.7.	Měření podpovrchové teploty forem	54
3.8.	Zařízení pro hodnocení povrchu výlisků	56
4.	<u>Zpracování výsledků měření</u>	57
4.1.	Metodika hodnocení	57
4.2.	Výsledky hodnocení	60
4.3.	Diskuse výsledků hodnocení	67
5.	<u>Závěr</u>	73

1. Úvod

Při tvarování skloviny ve formách z kovových materiálů vzniká řada vad, jejichž příčina vzniku je v některých případech uspokojivě vyřešena, ale z velké části zůstává řešení příčin zcela otevřeno, nebo jsou vyjádřeny dosti často protichůdnými názory jednotlivých výzkumníků.

Tvarování horké skloviny je ve své podstatě složitý a spojitý fyzikálně-mechanický proces, který se skládá z proudění kapaliny - skloviny, sdílení tepla, tváření viskozní látky, koroze a eroze forem horkou sklovinou a pod. Je proto velmi obtížné, zvláště u nespecifických tvarů výrobků a druhů sklovin, t.j. u velmi složitých tvarů, neobyčejně velkých či malých výrobků a výrobků s viskozně a barevně značně odlišnými vlastnostmi, splnění všech dosud známých zásad tvarování.

Jednou z nejznámějších vad, vzniklou převážně procesem tvarování, je nevyhovující povrchová kvalita výrobků. Jde o různá zvrásnění - zvlnění, překládání vrstev skloviny se změněnou viskozitou, důsledky lepení, opisování nerovnosti povrchu forem, povrchové záprasky a pod.

V této práci půjde především o tvorbu zvrásněného, resp. zvlněného povrchu, což je velmi častá a charakteristická povrchová vada. Protože charakter této vady se subjektivním pozorováním podobá spíše malým vlnkám (Flieswellen, Kaltwellen /G/), budeme nadále hlavně z metodických důvodů používat termínu **z v l n ě n í**, nebo **t v o r b a z v l n ě n ě h o p o v r c h u**.

Jak už bylo řečeno, jde při tvarování skloviny o několik fyzikálně-mechanických procesů působících současně. Pro objasnění mechanismu závislosti tvorby zvlněného povrchu je proto nutné postupovat dílčím způsobem a to tak, že shrnutím všech známých vlivů se stanoví u každé řady pokusů sledovaná veličina a její vliv na vlnitost povrchu výlisků při konstantním působení ostatních vlivů.

Tím by bylo možné obdržet řadu závislostí na dosud známých hlavních vlivech, které tvarovací proces ovlivňují a jejich

shrnutím by byly stanoveny hlavní zákonitosti procesu tvorby zvlnění resp. nerovností povrchu. Takovýto rozsah měření a zkoušek by však byl volice nákladný a dlouhodobý a svým charakterem by byl spíše pro tým pracovníků. Proto jsem se v této práci zaměřil na jeden faktor a to na m a t e r i á l f o r e m - jeho vybrané fyzikální vlastnosti, které dle mínění většiny výzkumníků ovlivňují rozhodujícím způsobem tvarovací proces. To bude snahou dokázat jak v následujícím rozboru teoretických poznatků, tak ve výsledcích experimentální části vlastní práce.

Značný vliv materiálu byl mimo jiné případy z praxe pozorován na konkrétním výrobku - b r ý l o v é m v ý l i s k u při dosud hrubém hodnocení kvalit povrchů v závislosti na zcela náhodně vybraných materiálech a při zachování ostatních podmínek tvarování. Charakter této vady je patrný z obr.15.

Běžné brýlové výlisky o průměrné váze 20 gr. z křišťálového skla můžeme vzhledem k jeho tvaru a náročným požadavkům na celkovou kvalitu nejen povrchovou, považovat za představitele malých typů výlisků tvarovaných z dávek - kapek. Proto se lze domnívat, že získané závěry bude možné v dané úzké oblasti sledování považovat za obecně platné.

Těžiště práce tedy bude ve sledování vlivů kovového materiálu (vybraných fyzikálních vlastností), z něhož jsou formy pro lisování brýlových skel vyrobeny, na stupeň tvorby zvlnění této části povrchu, která přijde do styku se spodní formou, při zachování všech ostatních hlavních podmínek tvarování, t.j. teploty resp. viskozity skloviny, výšky dopadu kapky do formy, lisovacího tlaku, mazání forem i všech ostatních součástí, chlazení razníku a ohřev forem a takt stroje.

Tato vada, která doprovází a zřejmě i ovlivňuje celkovou deformaci výlisku, zvyšuje značně nároky na jeho další opracování (broušení - frézování) a v krajním případě pak bývá výlisek zcela nevyhovující.

2. Teoretické předpoklady řešeného problému, dosavadní stav výzkumu v dané oblasti.

2.1. Některé základní poznatky a zákonitosti pohybu skloviny při tvarování - lisování.

Podle řady známých výzkumníků v oboru tvarování skla /1/ /2/ resp. /21/ /22/ je možno považovat sklovinu nad transformačním intervalem (viz. obr.1) jako Newtonovu reálnou kapalinu, za předpokladu, že se ve sklovině nevytvoří žádné produkty odskelnění. Znamená to, že platí Newtonův vztah, t.j. že tečné napětí sousedních vrstev skloviny je úměrné rychlostnímu gradientu /3/

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy}$$

η - součinitel viskozity (dynamická viskozita) v poisech
 η - g.cm⁻¹.s⁻¹

T r i e r /1/ sledoval proudění tvarované skloviny na modelovém zařízení (válnová dutina s pohyblivým pístem) a aplikoval tento vztah z hlediska poměrů v jednotlivých bodech sledované hmoty tvarované skloviny.

Je - li změna stupně tečení v radiálním směru vyjádřena $\frac{dv}{dr}$, dynamická viskozita η , poloměr v bodě pozorování r , dosud ne-
 definovanou konstantu označíme k , bude laminární tok probíhat podle následujícího vztahu:

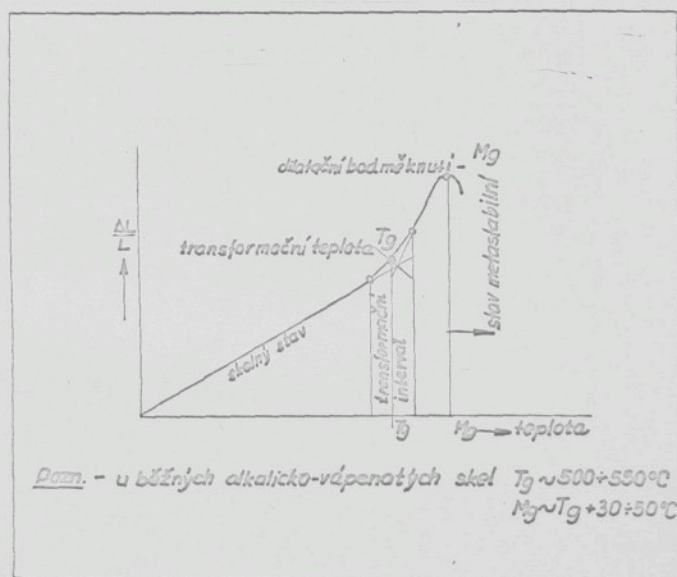
$$\frac{dv}{dr} \cdot \frac{1}{r} = -k \cdot \frac{1}{\eta}$$

Pro dva různé body 1 a 2 potom odvodil, že pro poměr viskozit platí

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{\left(\frac{ds}{dr}\right)_2}{\left(\frac{ds}{dr}\right)_1}$$

což prakticky vyjadřuje, že viskozity ve dvou různých bodech 1 a 2 se chovají jako odpovídající poloměry znásobené recipročním poměrem gradientů křivky tečení.

(s - čelo proudu bublin, nebo částic sledované hmoty skloviny)



Obr. 1

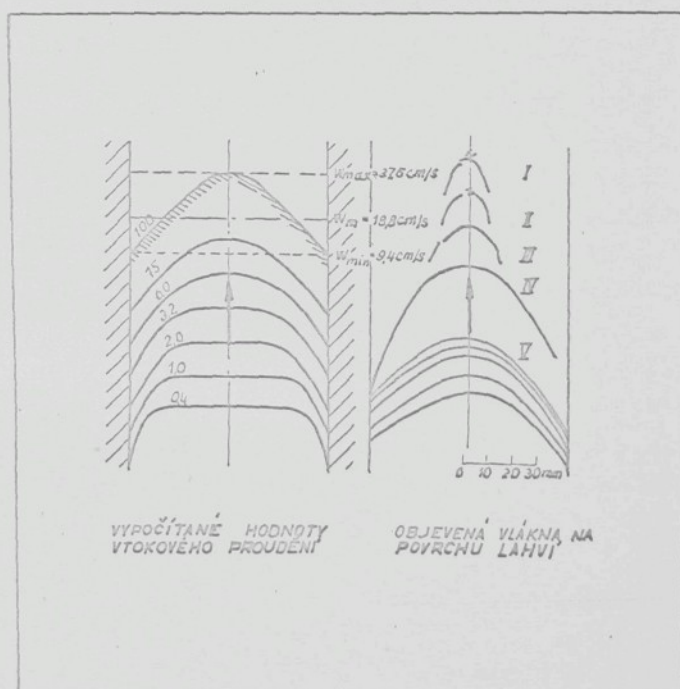
G i e g e r i c h /21/ prakticky dokazuje vznik poruch při proudění vlivem šlír ve sklovině, t.j. vlivem rozdílných

viskozních poměrů v této pohybující se hmotě. Laminární tok je potom porušen v těch částech, kde jsou rozdílné viskozity sledovaných vrstev skloviny a zde pak dochází k místní turbulenci.

Nejčastěji jde o mezní vrstvy, kde může přistoupit též vliv drsnosti povrchu formy.

Pokusy byly prováděny experimentálně u vtoku válcové formy pro výrobu lahví (dávky skloviny 560 gr.) a fotograficky dokumentovány na tvaru a pohybu šlír.

Na obr.2 jsou schematicky znázorněny vypočtené hodnoty rychlostí jednotlivých proudových vláken a skutečně objevené tvary těchto vláken na povrchu lahví.



Obr. 2

Jaké budou poměry v relativně tenké povrchové vrstvě skloviny?

Proudění povrchové vrstvy skloviny po stěnách formy ^{zřejmě} tedy ovlivní hlavně rychlost odvodu tepla do formy resp. její drsnost korigovaná příslušnými mazadly.

Je známo, že tato rychle ochlazená povrchová vrstva vytváří kolem dávky skloviny jakýsi "škrálop" o značně vyšší viskozitě, což negativně ovlivňuje jednak pohyb celé dávky v dutině formy (u složitějších tvarů zůstávají nevyplněné části formy) a především zanechává nežádoucí stopy na kvalitě povrchu výrobků.

O existenci vzniku této tuhé "kůže" /4/, "vazké blány" /5/, "povrchové vrstvy s menší pohyblivostí" /2/ resp. /6/, "rybích šupin" /9/ apod. hovoří v různých souvislostech v posledních letech více autorů. Někdy se snaží problém objasnit na konkrétním případě, jindy se omezí jen na konstatování existence takovéto vrstvy /13/ /14/.

Je známo, že zpětným sdílením tepla ze středu dávky skloviny se může "pohyblivost" této vnější tuhé vrstvy zlepšit, což prokázali např. Babcock a Mc Graw /12/ následujícím zajímavým pokusem. Pokus v podstatě koresponduje s teor.výsledky Triera /1/ i praktickými poznatky Giegericha /21/.

Na pokusném zařízení s možností regulace poměru taktů feedrového dělicího zařízení a pracovních cyklů tvarovacího zařízení, prováděl autor současně kalorimetrická měření tepelného obsahu dávek, měření teplot forem (z pochromované litiny) a razníku chromel-alumelovými termočládky v různých hloubkách pod povrchem formy (0,77 - 7,9 mm) a razníku (0,77 - 4,75 mm) a měření teploty - viskozity ve výlisku z běžného čirého sodnovápenatého skla.

Vedle zajímavého vyjádření úbytku amplitudy teplot v grafu teplota - čas

$$A = e^{m \cdot d} - k$$

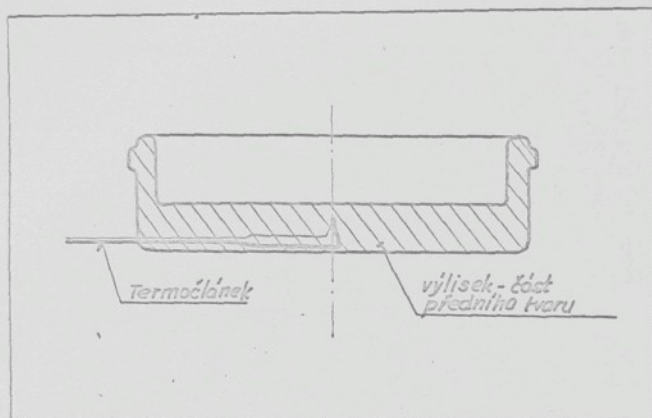
A - amplituda

e - zákl.přir.logaritma

d - vzdálenost od rozhraní
(~ povrchu)

m, k - konstanty

jsou pozoruhodné především výsledky měření viskozit skloviny v krajních a středových vrstvách výlisků v časových posloupnostech pracovního cyklu. Na obr. 3 je patrné umístění termočlánku a tvar měřeného výlisku.



Obr. 3

Výsledkem pokusů jmenovaných autorů je grafické vyjádření na obr. 4.

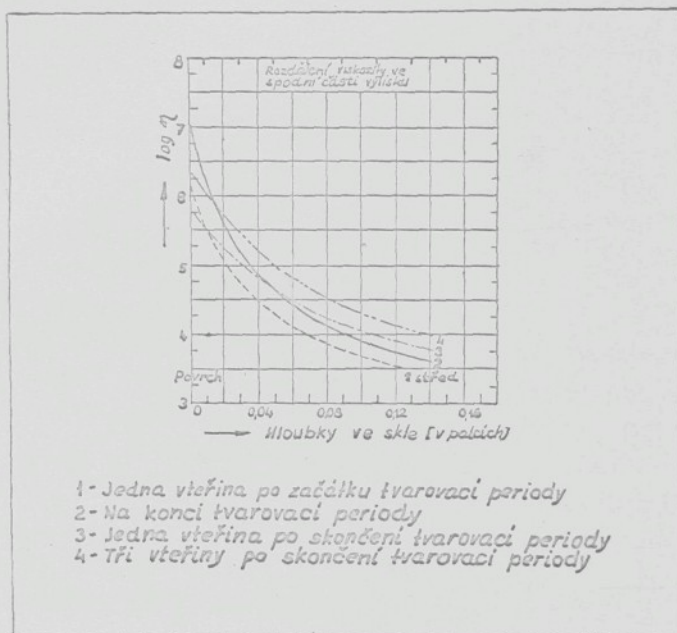
Z tohoto vyjádření je zřejmé, že pohyblivost předního tvaru výlisku je téměř výhradně určena viskozitou povrchové vrstvy. Na konci tvarování (křivka 2) je povrchová viskozita log 7,15, zatímco hodnota ve středu skla je jen log 3,6. V tomto okamžiku je povrch 3500 x méně pohyblivý než střed. Po jedné sec. prohřívání se zvětšila teplota povrchu natolik, že viskozita klesla na log 5,8. V této chvíli je povrch zhruba 20 x pohyblivější, než na konci tvarovacího času.

Kromě toho se střed nepatrně ochladil a stal se přirozeně po jedné vteřině prohřívání směrem k povrchu viskoznější.

3 vteřiny po konci tvarování se zvětšila viskozita povrchu

i středu. Povrch je stále však cca 5 x pohyblivější než na konci tvarování. Poměr viskozity povrchu ku středu se zvětšil asi na 200.

Potud výsledek pokusu Babcocka a Mc Grawa /12/.



Obr. 4

Otázkou je nyní, zda u malých dávek bude jejich vnitřní tepelný obsah po dopadnutí do formy stačit zpětným ohřevem v dalším krátkém čase (u brýlových výlisků v průměru 1 sec.) než nastane lisování prohrát rychle zchlazený povrch dávky - kapky tak, aby mělo význam tento děj brát v úvahu; zda o kvalitě povrchu i tvaru malého výlisku nerozhodně již první fáze ochlazení, t.j. doba dopadu dávky do formy a hlavně první okamžiky po dotyku dávky s povrchem formy.

Z rozboru sdílení tepla mezi sklovinou a formou z hlediska dynamičnosti procesu (což předpokládáme, že je zvláště důležité u malých objemů tvarovaných sklovin) doplněný o přímý vliv kvality povrchu formy na kvalitu povrchu výlisku, bude zřejmě funkce fyzikálních vlastností materiálu formy, které více či méně ovlivní přirozené chování dávky skla před tvarováním a to hlavně těch vrstev, které přijdou nejdříve do styku s povrchem kovu a které tedy může materiál formy nejvíce ovlivnit svými vlastnostmi.

2. Sdílení tepla mezi sklovinou a formou

Po odštížení dávky skloviny z nepřetržitě vytékajícího praménku a vytvoření kapky, padá tato hmota skloviny do formy buď přímo, nebo prostřednictvím žlabu, po kterém sjíždí a který ji do ní usměrňuje. Tato fáze ochlazování povrchu dávky by měla být vzata v úvahu především u malých výlisků vzhledem k poměru povrchu dávky, který přichází do styku se stěnou kovového žlabu a její celkové váze.

Tato část procesu tvarování není zatím dostatečně zpracována a publikována a to patrně ze dvou hlavních důvodů - většina prací je orientována na větší objemy zpracovávaných dávek (obalové sklo, televizní baňky apod.) a hlavně proto, že problém je sám o sobě velmi těžko sledovatelný a spolehlivě měřitelný.

V této kapitole tedy půjde o tepelné procesy mezi sklovinou a kovem ve vlastní dutině formy resp. povrchem kovové formy, případně výsledky získané na modelových zařízeních napodobujících tyto stavy.

Přestup tepla ze skloviny do formy může být buď a/ sáláním
b/ vedením

Vliv sdílení tepla sáláním je možno podle dosavadních po-

znatků většiny autorů zanedbat a to především tam, kde se jedná o malé hmoty, nebo lépe slabé vrstvy skloviny /4/ /15/ /16/ /17/. Smrček /4/ uvádí s odvoláním na teoretické práce Mc Grawa a Běloborodové, že podíl tepla sdíleného sáláním není větší jak 5 %.

Hlavní podíl sdílení se přesouvá k vedení i když L. Genzel a I. Nuhmann /15/ vyjádřili vztah tzv. efektivní tepelné vodivosti skla zahrnující sdílení tepla vedením i zářením:

$$H_s = \frac{16 \cdot \sigma \cdot n^2 \cdot T^3}{3} \cdot F$$

σ - konstanta sálání dokonale černého tělesa

n - index lomu skloviny

T - absolutní teplota ($^{\circ}K$)

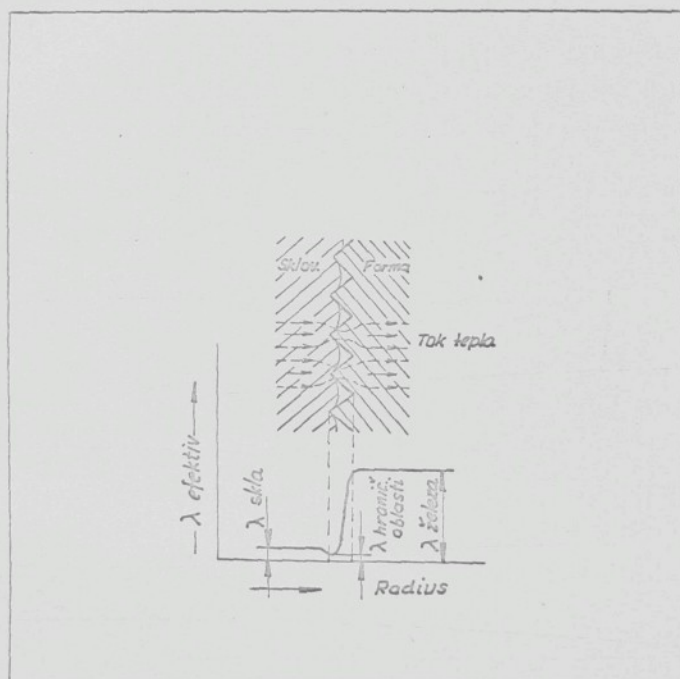
F - střední volná dráha sálavých kvant (cm)

W. T r i e r /15/ vyslovuje na základě svých pokusů názor, že sklovina po dopadu do formy předá v prvních okamžicích nejvíce tepla, v následujících okamžicích se toto předávání snižuje a zůstává téměř konstantní do dalšího cyklu. Pro srovnání výsledky dosažené s čirou sklovinou

Doba styku /sec/	Výrobní čas na 1 ks /sec/	Intenzita tepelného toku /10 ³ kcal/m ² . hod/
1,3	5,0	1230
5,0	12,0	580

Autor doplnil vlastní praktická měření a výsledky ostatních autorů s teplou sklovinou pokusy s modelovou kapalinou. Měre-

ním přilnavosti sklo - povrch formy zjistil, že po prvním styku je kontakt lepší, než v další době styku. Tento jev vysvětluje postupným smršťováním skla (zejména na povrchu), čímž se přestup tepla zhorší. Tato oblast "dotyku" je řádově 10^{-1} mm. Současně však upozorňuje na rozdílnost názorů na prvotní kontakt skloviny s formou, kde mohou současně působit drsnost povrchu formy - viz obr. 5, uzavřené vzduchové bubliny, povrchové napětí skla.



Obr. 5

Z obrázku je patrná mezioblast mezi sklovinou a kovem, která může být různé povahy - vzduchové bubliny (plyny), materiálové povahy (oxidy), zplodiny mazadel apod. Rozdíl mezi naměřenou teplotou skla a teplotou povrchu formy je 200 - 300 °C.

Tuto isolační mezivrstvu mezi sklovinou a stěnou formy zjištil též Coenen /16/.

Dotyk skla na hrotech vyjadřujících drsnost formy může ovlivnit jednak intenzitu koncentrace tepelných toků v bodech dotyku a tím rozdílné viskozní poměry v povrchové vrstvě skla (zjišťuje též Giegerich /21/) a jednak přímo dle charakteru drsnosti forem, takže v extrémních případech drsností povrchů to může být jeden z dalších faktorů ovlivňujících kvalitu povrchu skla.

S m r ě k A. /4/ shrnul výsledky několika autorů (Trierer, Strauba, Naughtona a Mc Grawa) a vyjádřil dynamiku sdílení tepla po dopadu skloviny do formy grafem na obr. 6.

Shrnuto a vyjádřeno rovnicí je množství tepla předané ze skloviny do formy plochou F za čas T

$$Q = B \cdot F \cdot (t_s - t_f) \cdot \sqrt{T}$$

t_s - teplota skloviny před stykem s formou - kovem

t_f - teplota formy před stykem se sklovinou

B - materiálová konstanta

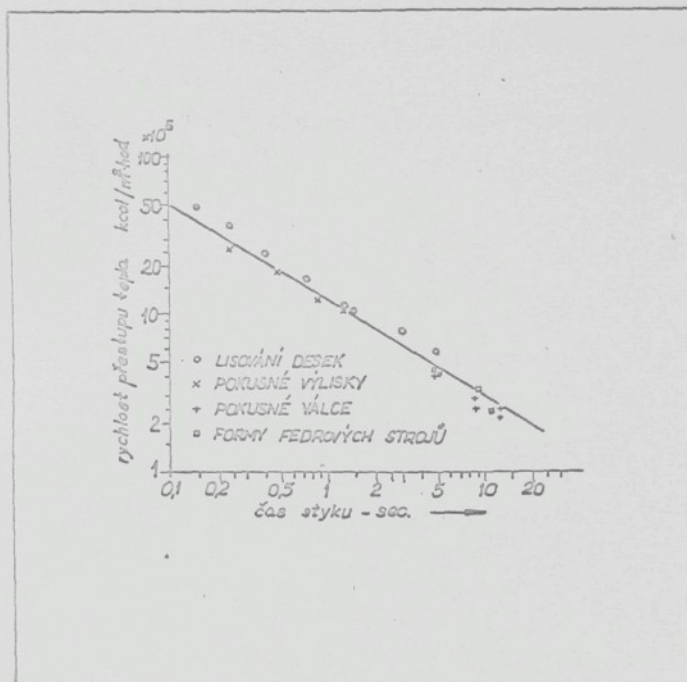
$$B = \frac{2}{\sqrt{\frac{\pi}{c_f \cdot \rho_f \cdot \lambda_f}} + \sqrt{\frac{\pi}{c_s \cdot \rho_s \cdot \lambda_s}}}$$

c - měrné teplo (cal/g.°C)

ρ - měrná hmotnost (g/cm³)

λ - tepelná vodivost (cal/cm.s.°C)

t.j. rychlost přestupu tepla klesá s rostoucí dobou styku a stoupá s rostoucí teplotou kapky skloviny a klesající teplotou formy.



Obr. 6

C o e n e n M. /16/ v jedné ze svých základních prací vyjádřil zákonitosti teplotních spádů mezi sklovinou a kovem za následujících předpokladů:

- 1) že jde o prostředí o nekonečné ploše (předpoklad je přípustný u prostředí o konečné ploše při velmi krátkých časech dotyku obou prostředí),
- 2) že přestup tepla sáláním je zanedbatelný,
- 3) obě prostředí se zcela dotýkají.

Vložíme - li do formy o teplotě T_M sklovinu o teplotě T_G , vznikne na rozhraní po určité krátké době teplota T_{III} , která zůstává po celou dobu tohoto cyklu tvarování nezměněna.

Spády hraničních teplot $\frac{dT}{dx}$ ve skle a kovu však nejsou totožné s teplotou T_m , která je stálá, ale jsou časově závislé.

S rostoucím časem probíhá teplotní gradient méně strmě.

Pro prostředí i pak platí

$$\left(\frac{dT}{dx}\right)_i = T_i / \sqrt{K_i \cdot \pi \cdot t}$$

K_i - "konstanta tepelné vodivosti" (cm^2/sec)

t - čas (sec)

a poměr spádů v každém čase je nepřímo závislý na poměru tepelných vodivostí obou látek

$$\left(\frac{dT}{dx}\right)_G : \left(\frac{dT}{dx}\right)_M = \lambda_M : \lambda_G$$

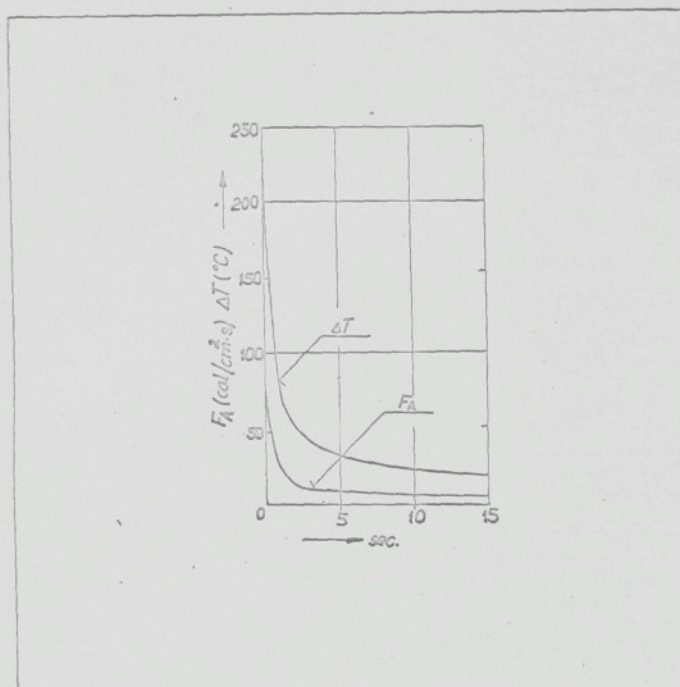
H. K i s h i g a m i /17/ ve své práci polemizuje s některými výsledky Trierových pokusů a doplňuje je vlastním měřením na "zeleném skle" běžného složení užívaného pro obalovou techniku. Shoduje se i za těchto podmínek s názory předchozích autorů, že po dopadnutí dávky do formy je největší odvod tepla ovlivňující teplotu povrchu skloviny na začátku tvarování, viz obr. 7.

Upozorňuje na existenci vzduchové mezivrstvy mezi sklovinou a povrchem kovu, kterou je vedle rozhodujících vlastností materiálu formy (fyzikálních) nutno brát v úvahu.

Tepelná vodivost této vrstvy K_a při teplotě $\bar{\theta}$ v rozmezí $450^\circ\text{C} < \bar{\theta} < 850^\circ\text{C}$, je-li $\bar{\theta} = \bar{\theta}_2$ ($\theta_{\text{povrchu sklov.}} + \theta_{\text{vnitř.pov.for- my}}/2$)

bude

$$K_a(\bar{\theta}) = 7,7 \cdot 10^{-5} + 1,15 \cdot 10^{-7} \cdot \bar{\theta}$$



Obr. 7

3. Vliv drsnosti kovu (povrchu formy).

M e r c h a n t D. H. /19/ zkoumal bezprostřední vliv drsnosti povrchu kovu na kvalitu povrchu vylisku tak, že vkládal do forem zkušební litinové vložky základního složení C - 3,52 %, Si - 2,20 %, P - 0,151 %, S - 0,103 %, Mn - 0,69 %, Mo - 0,32 %, V - 0,07 %, s drsností od cca 8 μm do 180 μm docílené různými technikami (soustružení, leštění drátěnými kartáči, leštění smirkovým papírem 120 - 600, pískováním a chemickým leptáním) a sledoval

stupeň přenášení jejich nerovností na skleněný výlisek z běžného sodnovápenatokremičitého skla (SiO_2 - 71,8 %, Al_2O_3 - 1,67 %, CaO - 11,51 %, MgO - 1,03 %, Na_2O - 13,31 %, K_2O - 0,32 %).

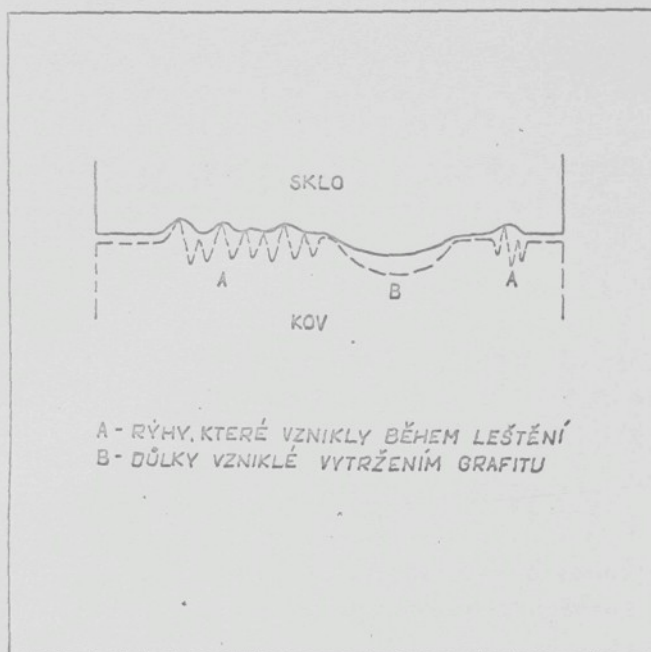
Tvarování probíhalo při teplotě skloviny 1140 °C (2050 °F). Vedle zjišťování charakteru stability povrchu formy z hlediska přilnavosti oxidů a jejich vlivu na povrch skla a na základní kovovou hmotu byly sledovány makro a mikroprofilogramy srovnávaných vzorků kovů a jim odpovídající výlisky. Jeden z příkladů numericky vyjádřených výsledků uvádí tabulka

	Ø šířka důlků (nerovností) - μm	Ø hloubka důlků (nerovností) - μm
kov - forma	1000 - 1500	18 - 22
kontrolovaný skl.výlisek	1500 - 2500	3 - 5

Výsledkem série pokusů autora bylo konstatování, že sklovina není schopna hluboce proniknout do uvedených dutin na kovovém povrchu. Zvětšený makrosnímek profilu povrchu dotykové oblasti sklo - kov je na obr. 8.a v podstatě doplňuje předchozí tabulku.

Zvýšením lisovacího tlaku se vytvoří intenzivnější kontakt mezi sklovinou a povrchem kovu, takže u forem, jejichž počáteční střední hodnota drsnosti byla asi 8 - 10 μm měl výlisek vyjmutý z lisovací formy střední kvadratickou hodnotu drsnosti (dle orig. RMS) 3,25 - 5,75 μm , zatímco v konečné formě tvarovaný výlisek měl střední kvadr.hodnotu drsnosti 1,25 μm .

Nedostatkem popsáných pokusů je, že autor neuvádí jednotlivé lisovací tlaky, o jejichž změnu se zejména tato druhá část pokusů opírá.



Obr. 8

Předmětem dalšího pozorování byl vliv velmi hladkých povrchů forem, kde se předpokládá tak dokonalý kontakt obou látek a z toho vyplývající značný teplotní spád na rozhraní sklovina - kov, že za extrémních podmínek může dojít k trvalejšímu praskání skla.

J e b s e n H. - M a r w e d e l /20/ provádí rozbor vlivu šlír ve skle (především tepelného charakteru), působení povrchového napětí skloviny při tvarování a samotného složení kovu - formy, které do značné míry ovlivňuje metalografické uspořádání struktury (odlišné fáze mezi krystaly základního kovu - rýhy, nebo vyvýšeniny; odvolává se na práce Rolla /9/). Nerovnosti způsobené těmito vlivy se mohou pohybovat v rozme-

zí 0,01 - 0,05 mm. Jde však zpravidla nikoli o drsný povrch, ale spíše o plynulé úchytky od jmenovité linie - tvaru výrobku.

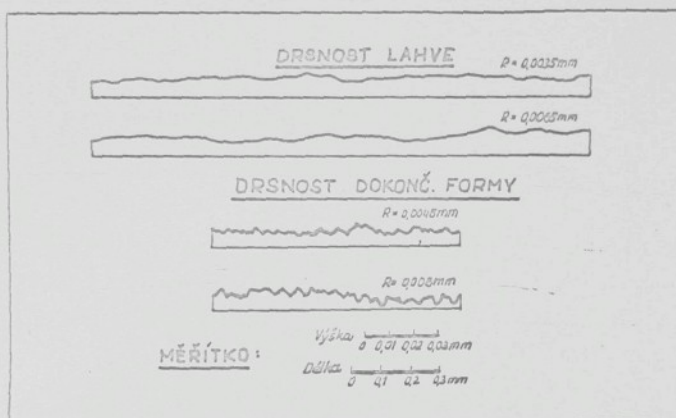
Malé nerovnosti povrchu "opisuje" tvarovaný výrobek velmi nedokonale, což se vysvětluje působením povrchového napětí skloviny a následným ohřevem tvarovaného povrchu z vnitřku hmoty, způsobující do jisté míry po uvolnění výrobku z formy jejich vyhlazení a splynutí.

Autor neuvádí numerická vyjádření drsnosti forem pro vzájemná srovnání, míru vlivu rozdílných viskozit vlivem tepelných nehomogenit ve sklovině apod., což je na úkor přesnosti pojatých výsledků.

G i e g e r i c h W. /21/ sledoval vliv drsnosti povrchu na formách pro výrobu lahví, na kterých potom vyhodnocoval závislosti drsnosti obou povrchů. Přestože se jedná o jiný způsob přitlačování skloviny k povrchu formy (vnitřním přetl. vzduchu) než při lisování, kde kontakt je vlivem vyšších tlaků daleko dokonalejší, je nutné pro komplexnější pohled zmínit se i o tomto případě dotyku sklovina - kov z hlediska drsnosti povrchu formy.

Jak je patrné z obr. 9 nemá drsnost formy (dokončovací) přímý vztah k drsnosti povrchu stěny proměřované lahve. Event. nerovnosti přenášené na sklo se vyrovnávají vlivem povrchového napětí vnější vrstvy skloviny a silou vlastní tíže lahve.

Autor přisuzuje značný důraz vhodně volenému mazadlu, které vytváří na povrchu formy jemný film o síle cca 0,003 mm a který usnadňuje proudění skloviny po stěně formy a může tím částečně eliminovat i rozdíly drsnosti jejího povrchu.



Obr. 9

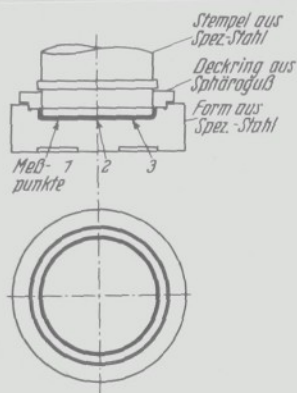
Podstatné výtahy z prací autorů zabývajících se danou problematikou.

G r u n d m a n W. /6/ vysvětluje tvorbu zvlnění (Fließwellen, Kaltwellen) na povrchu tvarovaného skla působením několika vlivů:

- a) teplota formy
- b) doba setrvání dávky skla ve formě
- c) drsnost povrchu formy
- d) teplota zpracování skla
- e) výška pádu kapky skla do formy

Pokusy prováděl s borokřemičitou sklovinou ($T_g = 560^\circ\text{C}$, $\alpha_{20-300^\circ\text{C}} = 49 \cdot 10^{-7}$) a výsledkem byly Petriho misky, viz obr. 10 s rovným dnem pro dobré rozlišování stupňů nerovností resp. zvlnění. Lisovacím nástrojem i formou byla ocel (bez bližšího určení) s tepelnou vodivostí $\lambda = 0.06 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$,

tepelnou roztažností $\alpha_{500^{\circ}\text{C}} = 11 \cdot 10^{-6}$. Teplota lepení skla k formě byla stanovena v rozmezí $580 - 600^{\circ}\text{C}$.

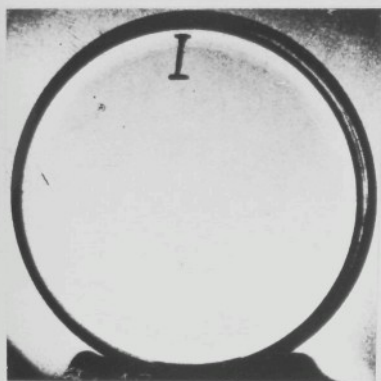


Obr. 10

ad a) Obr. 11/I, II, III.

Vzorek - pokus	Teplota formy - $^{\circ}\text{C}$			Teplota sklov. $^{\circ}\text{C}$
I	540	580	540	1305
II	470	520	475	1305
III	370	420	370	1305

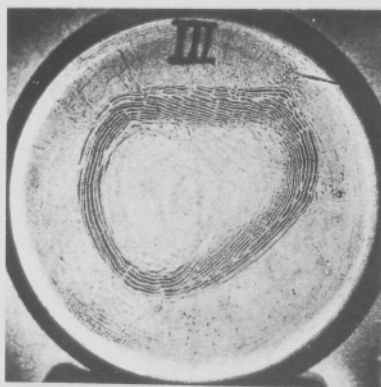
Po prvotním nárazu vnější vrstvy dávky skla dochází k sploštění a roztékání vlastní vahou. Je-li málo předehřátá forma, vzniká silné ztuhnutí vnější vrstvy a silné zvlnění a ani postupné lisování již zřejmě nemá vliv, protože vlny jsou ihned silně ochlazené. Výsledky na vzorcích I - III získané pokusem při podmínkách uvedených v tabulce tento názor podporují. Nejvíce zvlněný je povrch vzorku III, povrch vzorku I je téměř bez zvlnění - byl tvarován již v oblasti lepení skla a kovu.



/I



/II



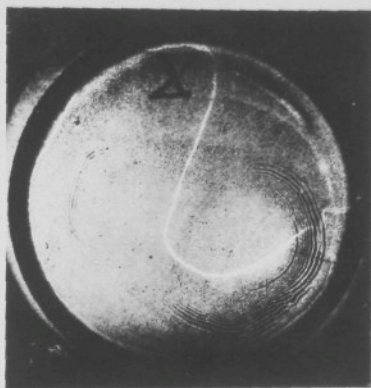
Obr. 11/III

ad b)

Pokusem bylo prokázáno, že zvlnění povrchu se redukuje zkracováním doby mezi dávkováním do formy a lisováním. Tento poznatek je pochopitelný, uvážíme-li, že průběh viskozity skla v oblasti 600°C je takový, že při ochlazení jeho povrchu o 10°C stoupně viskozita zhruba na dvojnásobný počet poisů. Byl zkoumán vliv setrvání ve formě 2-3 sec, viz obr. 12/VIIIa a více jak dvojnásobná doba - 6,5 sec, viz obr. 12/X.



/VIIIa



/X

Obr. 12

ad c)

Silné zvlnění se tvoří, při zachování ostatních podmínek srovnatelných s předchozími pokusy (teplota skloviny, teplota formy, výška dopadu skla, doba setrvání kapky ve formě před tvarováním), dobrým teplotním kontaktem kovu a skla, což umožňuje hladký povrch formy. Hladký, resp. leštěný povrch umožňuje rychlý odvod tepla a tím zhlazování povrchu rozšiřující se tekoucí dávky skla. Konkrétní výsledek je patrný na výliscích tvarovaných v pochromované a leštěné formě - viz obr. 13/XXIV a jemně zdrsňeném povrchu formy (bez bližšího numerického vyjádření) viz obr. 13/VIIIa.

ad d)

Byl odzkoušen vliv rozmezí teplot 1310 - 1360 °C a zjištěno, že např. tento rozdíl teplot tvarovaného skla má jen malý vliv na tvorbu zvlnění lisovaného předmětu, viz tabulka a obr. 14/22, 23.



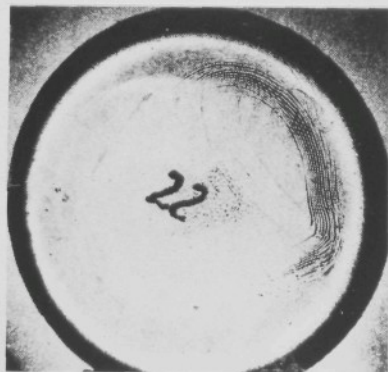
/VIIIa



/XXIV

Obr. 13

Vzorek - pokus	Teplota formy - °C			Teplota sklov. - °C
22	535	560	530	1360
23	530	560	530	1310



/22



/23

Obr. 14

U nelisované dávky se rozdíl teploty projevil na zvlnění daleko silněji. Sklon ke zvlnění rostl se zmenšující se teplotou skloviny - dávky, rovněž v sledovaném rozmezí 1360 - 1310 °C.

ad c)

Snížení vzniku vln lze docílit větší výškou pádu dávky. Zvětšení rychlosti rozšiřování - roztékání dávky je úměrné vyšší energii dopadu.

D r . R o l l /9/ pozoruje vlnitost povrchu skla ("Fischschuppenhaut") u výlisků vyráběných v litinových formách následujícího složení:

	C	Si	Mn	P	S
Litina A	3,25	2,78	0,56	0,78	0,101
Litina B	3,32	2,90	0,68	0,28	0,105

U výlisků vyrobených ve formách z litiny A se jevil vlnitý povrch, zatímco výlisky vyrobené ve formách z litiny B měly povrch hladký.

Autor vyslovuje názor, že vedle charakteru resp. konstrukce formy má vliv na zvlnění povrchu výrobku složení litiny a to v tomto případě f o s f o r , který jako jediný prvek se u sledovaných litin svým obsahem podstatně^{je} liší.

Zkoumáním mikrostruktury povrchových vrstev srovnává autor hustotu síťoví fosfidového eutektika (zřejmě steaditu - Fe - Fe₃C - Fe₃P, pozn.aut.) a konstatuje, že u forem z litiny A je povrch formy protkáván velmi hustým síťovým fosfidového eutektika, velmi tvrdého (400 - 600 HB - /7/ /8/), vytvářející reliefní vyvýšeniny.

U formy z litiny B je toto síťové nepatrné. Základní hmota litiny A je převážně perlitická s velmi hrubými lamelami grafitu. U litiny B je feriticko-perlitická a je podstatně vyšší hustoty.

Na základě existence tohoto fosfidového síťové pak dedukuje, že v případě hustého vystouplého síťové, pod nímž je převaha neoxidovaného kovu, dochází k rychlejšímu odvodu tepla a tudíž ochlazení povrchu výrobku (forma z litiny A), zatímco u formy z litiny B je síťové řídké a nevystouplé nad povrch základní hmoty kovu a povrch kovu je pokryt malými oxidačními poli, což zpomalí odvod tepla z povrchu tvarovaného výrobku a tím je potlačen vznik vln jako důsledek vytváření povrchové vrstvy o značně vyšší viskozitě a tím zhoršené tvárnosti.

K uvedené práci by bylo možné vznést následující připomínky:

1) Je nepravděpodobné, že by vystouplým síťovím byl urychlen odvod tepla, neboť vliv fosforu na fyzikální vlastnosti litiny je poměrně malý. Tepelnou vodivost litiny snižuje až o 20% při obsahu 1 % P. K tomuto názoru dospěli Giršovič /8/ i Piwowski /10/. Jde tedy o zcela protichůdné stanovisko a tím i předpokládaný efekt, který Roll dedukuje je problematický.

2) Je všeobecně známo, že na vlastnosti litin i z hlediska fyzikálních vlastností není zanedbatelný celkový vzhled struktury, t.j. poměr vázaného a volného C (jeho tvar a velikost - lupínkové nebo zaoblené vyloučeniny), velikost a tvar perlitových lamel a poměr perlitu a feritu v základní hmotě /11/. Tento fakt autor rovněž zřejmě opoměl zahrnout do celkového srovnání.

F r a n k W. R. B. /2/ se ve své práci zabývá mechanickým chováním skloviny během tvarování s ohledem na chování kulovitých tvarů, válcovitých předmětů^a "plochých" tvarů vyskytujících se při ručním foukání televizních baněk.

Dotýká se zde existence poměrně slabé povrchové vrstvy, která přichází do styku se stěnou formy a je jí ochlazována.

Viskozita této vrstvy se tím mění a jistá integrální hodnota určuje její pohyblivost. Tloušťka vrstvy závisí na síle tvarované skloviny a stěny formy, na tepelných vlastnostech skloviny a formy a na době styku skloviny s formou; je přibližně úměrná druhé odmocnině doby dotyku τ .

$$s \pm \sqrt{\tau}$$

2.5. Návrh řešení experimentální části.

Z předchozích kapitol o pohybu skloviny při tvarování, sdílení tepla na rozhraní sklovina - kov, přímém vlivu drsnosti povrchu formy na kvalitu povrchu výlisku a několika výňatků z prací zabývajících se blízkou tematikou, shrneme hlavní vlivy, aniž předpokládáme, že ovlivňují konečnou kvalitu povrchu malých výlisků, v tomto případě z křišťálového skla:

- 1) Teplota - viskozita skloviny
- 2) Teplota povrchu formy - rychlost odvodu tepla z povrchu dávky skloviny (t.j. tepelná vodivost a měrné teplo materiálu formy)
- 3) Stupeň dokonalosti styku obou látek
 - a) lisovací tlak
 - b) drsnost povrchu formy (jako důsledek opracování, nebo koroze povrchové či mezikrystalické)
 - c) druh použitého mazadla - charakter mezivrstvy mezi sklovinou a kovem
 - d) výška dopadu dávky skloviny do formy
 - e) doba setrvání dávky skloviny ve formě (před vlastním tvarováním).

V úvodu práce bylo řečeno, že nelze v rozsahu jednoho experimentu postihnout všechny vlivy na sledovaný problém.

Pro vyjádření působení rozhodujících fyzikálních vlastností materiálů na kvalitu povrchu výlisků je proto nutné během pokusů vyloučit proměnlivost ostatních v pořadí uvedených vlivů.

C o e n e n /16/ vyjádřil vztah mezi základními fyzikálními vlastnostmi materiálu vztahem $E = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$, kde E by mělo být co největší (E - tepelná akumulační schopnost). Hodnoťme

v našem případě tento vztah jen z hlediska do vzorce pojatých veličin, z nichž především tepelná vodivost λ a měrné teplo c jsou logicky hlavní vlastnosti kovového materiálu, které charakterizují jeho celkové tepelné poměry, vznikající při tvarování.

Porovnáním asi 230 materiálů používaných pro výrobu sklářských forem /7/ /11/ bylo pro následující pokusy vybráno 14 materiálů, charakterizující příslušné materiálové skupiny.

U těchto vybraných materiálů byly hodnoty λ a c (při 20 °C) v rozmezích uvedených v následující tabulce (podrobný přehled viz. tabulka 1):

	λ cal/cm.s.°C	c cal/g.°C
nejvyšší hodnota	0,150	0,13
nejnižší hodnota	0,0332	0,11

U skutečně sledovaných materiálů byly naměřené hodnoty λ a c v následujících rozmezích (podrobný přehled viz. tabulka 3):

		λ cal/cm.s.°C	c cal/g.°C
Nejvyšší hodnota	při 20°C	0,160	0,121
	při 400°C	0,112 0,172 (extrapol. hodnota u SK-G3)	0,154
Nejnižší hodnota	při 20°C	0,022	0,106 (0,053-SK-G3)
	při 400°C	0,033	0,122

Porevnáním rozmezí a krajních hodnot λ a c při 20 °C a 400 °C v obou tabulkách je zřejmé, že u vybraných i skutečně měřených materiálů jsou značné rozdíly v hodnotách tepelných vodivosti - 3,4 - 7,25 násobné, zatímco u měrných tepel jednotlivých materiálů jsou rozdíly podstatně menší a to 1,14 - 1,26 násobné.

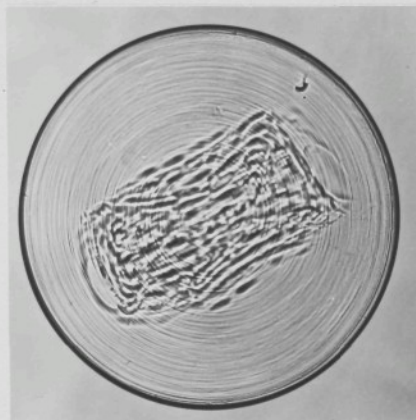
Z této srovnávací úvahy vylučujeme slinutý karbid G3, jehož struktura, homogenita i obecné vlastnosti se poněkud liší od běžných kovů ať již ocelí, litin, nebo čistých kovů. Dalším důvodem je skutečnost, že hodnota tepelné vodivosti λ u slinutého karbidu G3 při 400 °C je extrapolovaná.

Hodnocení míry vlivu λ a c vycházející z numerického srovnání větších rozdílů těchto dvou fyzikálních vlastností u řady sledovaných materiálů, nemusí být správný předpoklad, zvláště uvážíme-li společné působení obou těchto vlastností.

Zdá se však, že zavedení dvou proměnných veličin by vneslo do průběhu měření a hlavně do vyhodnocení pokusů, ve snaze eliminování jednotlivých vlivů, značné obtíže a snad i další nepřesnosti.

Větší rozdíly v tepelných vodivostech sledovaných materiálů dávají možnost spolehlivěji definovat vliv této vlastnosti materiálu, neboť připustíme-li i jisté nepřesnosti během pokusů, které nelze vyloučit i při co nejdůkladnějším vedení průběhu měření (přesnosti snímacích přístrojů, konstantní vlastnosti vodičů mezi přístroji a zařízeními sledujícími příslušný děj, okolní vlivy - pokusy proběhly v provozních podmínkách apod.).

Předmětem experimentální části tedy bude zkoumání vlivu tepelných vodivosti λ vybraných formových materiálů na kvalitu povrchu - tvorbu zvlnění (viz obr. 15) u výlisků pro brýlová skla z čirého polooptického křišťálu.



Obr. 15

3. Experimentální část práce - vlastní měření.

3.1. Podmínky pokusů a jejich podstata.

- Konstantní veličiny -
- a) teplota skloviny (viskozita)
 - b) lisovací tlak
 - c) takt stroje - pravidelný odvod tepla
 - d) ostatní podmínky tvarování, t.j.
výška dopadu kapky, konstantní poloha a výška žlabu usměrňujícího kapku do formy, předehřívání forem, mazání - natékání oleje do formy

Proměnlivé veličiny - 14 zkoušených materiálů forem. Při každém pokusu vždy po dvou formách z každého zkoušeného materiálu.

Hledaná závislost - vliv zvlnění vnějšího povrchu brýlových výlisků na tepelné vodivosti materiálů forem λ .

2. Zkušební zařízení, sklo.

1. Tavicí agregát

Sklovina byla tavena v plynové rekuperativní vanové peci o výkonu 1 t bto utav.skloviny za 24 hod. Po projití ustalovací částí vtéká sklovina do feedrového žlabu, jehož nátoková část je dlouhá 480 mm a vlastní žlab 1000 mm. Žlab je otáčen sálavým teplem z 10-ti odporových článků (silitů) o celkovém příkonu 20 kW. Ve žlabu je sklovina mechanicky homogenizována dvěma vedle sebe umístěnými míchadly. Zhomogenizovaná sklovina protéká feedrovou hlavou a na výtoku je dělená na požadované gramové dávky - kapky nůžkami feedrového soustrojí. Po odstrižení padá kapka kluzem prostřednictvím žlabu do středicí formy lisovacího automatu. Pohyb kapky na lisu je zřejmý ze schematu na obr. 16.

2. Lisovací automat

Vlastní tvarování a měření sledovaných veličin bylo prováděno na provozním 16-ti pozicovém lisovacím automatu typu LYNCH. Jde o karuselový automat krokového chodu, jehož otáčivý pohyb stolu, na němž jsou v rovnoměrných vzdálenostech umístěny formy, je ovládán pneumatickými válci a synchroni-

zován s feedrovým dávkovadlem.

Svislý pohyb razníku a usazovacího jádra jsou rovněž odvozeny od pneumatického válce.

Spodní formy jsou přihrívány 4 hořáky. Další hořák je umístěn v klidové poloze kapky mezi usazovacím a lisovacím jádrem. Účelem tohoto hořáku je zpětné natavení stopy, která vzniká po střihu a jenž vytvoří místní zchlazení - vystoupí rýhu. Celková spotřeba dálkového plynu - svítiplynu pro všech 5 hořáků je $500 \text{ Nm}^3/24 \text{ hod.}$ (při výhřevnosti 3450 kcal/Nm^3).

Razník i nůžky jsou chlazeny vzduchem (tlak 2 - 2,5 atp).

Mazání forem je olejové - gravitační, z nádoby umístěné nad razníkem, resp. formou (200 - 250 ml/8 hod.).

Celkové schéma lisu viz obr. 16 a fotografie - příloha 1.

3. Chemické složení skla a kontrolované fyz.a opt.vlastnosti.

SiO_2	71,13 % (písek T 13 Hohenbock)
Na_2O	11,62 % (soda kalc. 98 %-ní)
K_2O	4,0 % (potaš hydrátová)
Al_2O_3	1,08 % (hydrát hlinitý)
CaO	9,60 % (vápenec mletý, rakouský)
BaO	2,40 % (dusičnan barnatý)
Sb_2O_3	0,17 % (kyslič.antimonitý)

	100,00 %

Měrná hmotnost:	$2,50094 \text{ g/cm}^3$
Teplota liquidus:	$950 \text{ }^\circ\text{C} \quad /33/$
Dilat.bod měknutí:	$562 \text{ }^\circ\text{C} \quad /33/$
Index lomu n_d :	$1,5230 \text{ (tol. } \pm 0,0010)$

ŽLAB PRO KAPKU

UMÍST. ZKUŠ. FOREM
(ZAČ. NŘÍ)

OTOČNÝ STŮL S
FORMAMI

LITIN. TĚL. FOREM

USOVACÍ HLAVY
USAZOVACÍ HLAVY

MAZÁNÍ FOREM

VÝŠKA

ŽLAB PRO KAPKU

HORÁK PRO OHŘEV
ŠTŮPY PO SÍŤHU

HODÁKY PRO PŘI-
HŘEV FOREM

VAKUOVÝ ODNÍM. VÝL.
SKLUZ DO FÁS. CHLAD.
PECE

SCHEMA LIS. AUTOMATU NA DRYL. VÝLISKY - TYP "LYNCH."

Obr. 16

3. Metodika pokusů, odebrání vzorků.

Lis byl pro celý průběh zkoušek seřizen a kontrolován pro následující taktý: 35 taktů/min.; tzn., že doba 1 oběhu (16 pozic) trvala 0,457 min., t.j. 27,4 sec., doba 1 taktu 1,71 sec.

Na začátku a před každým následujícím měřením - výměnou zkušebních forem, byly tepelné poměry stabilizovány po dobu 15-ti minut, z toho 5 minut pouze prostřednictvím příhřevu hořáků a 10 minut normálním provozem, t.j. lisováním a odebráním na pás (bez kontroly a značení výlisků). Tato doba odpovídá 33 (32,8) oběhům stolu.

Bezprostředně po každém "záběhovém" chodu následovalo vlastní měření kontrolovaných veličin - kontrola udržení jejich konstantních hodnot. Během každé serie 14-ti zkoušek bylo odebráno 50 ks výlisků, které byly před vstupem do chladicí pece číselně značeny (křídou). Znamená to, že jestliže pro každý druh materiálu byly v oběhu 2 formy, odpovídalo měření každého materiálu 25-ti oběhům, což se rovná době

$$25 \cdot 27,4 \text{ sec} = 685 \text{ sec.}, \text{ t.j. } 11,4 \text{ min.}$$

Celková doba měření jednoho materiálu tedy trvala

$$15 + 11,4 = \underline{26,4 \text{ min.}}$$

Kontrola teploty skloviny, lisovacího tlaku a inf.podpovrchová teplota forem byly zaznamenávány vždy 5 x během každého pokusu a to tak, že příslušné údaje byly přístroji snímány vždy během celého jednoho cyklu - oběhu stroje, takže bylo získáno 5 kontrolních záznamů. Z hlediska počtu je to 5 x 16 t.j. teoreticky 80 hodnot.

Takt lisu, váha kapky a ostatní veličiny, jejichž neměnnost měla být zaručena, byly kontrolovány během každého pokusu 3 x, t.j. na začátku, uprostřed a na konci. Mimo to 1 - 2 x namátkově bez záznamů.

4. Výběr materiálů pro experimentální měření, jejich chemické složení a fyzikální vlastnosti.-----

Pro výrobu zkušebních forem bylo vybráno 14 druhů materiálů, viz tabulka 1, reprezentujících škálu asi 230 kovů a slitin používaných ve světě pro výrobu skoářských forem. Podkladem pro výběr byla práce Smrčková /7/ a má písemná odborná práce /11/. V obou pracech je souhrn použité literatury, který by nebylo vzhledem k jeho rozsahu účelné zde uvádět.

Ze skupiny l i t i n to jsou nelegovaná a nízkolegovaná litiny s převážně perlitickou základní hmotou a menším obsahem feritu a grafitu a vysokolegované litiny typu Ni, Cu, Cr (Niresist) a typu Ni s austenitickou základní hmotou. Poměrně široká škála zastoupení litin vyplývá ze skutečnosti, že litiny zůstávají všeobecně stále nejpoužívanějším materiálem pro výrobu sklářských forem - 55 % /7/.

Skupinu o c e l í tvoří vedle uhlíkové oceli obvyklých jakostí (o jejímž použití jako materiálu formy jsou dosud protichůdné názory) ušlechtilé oceli se základní perlitickou, feritickou a austenitickou strukturou.

Úmyslně byly vypuštěny např. oceli legované W a V, reprezentující skupinu rychlořezných ocelí (např. 4 % Cr, 18 % W, 1,1 % V), které se ukázaly jako materiály z hlediska žáruvzdornosti, obrobitelnosti a ceny jako nevyhovující /11/.

Poslední materiálovou skupinu tvoří n e ž e l e z n é k o v y a s l i t i n y, s l i n u t ý k a r b i d a t é ž n i k l jako základ slitin používaných zejména pro lisování optických výlisků a pro bižuterní průmysl, u nichž se vyžaduje kvalitní lesklý povrch.

Nimonic 80 A je představitelem Ni-Cr slitin, používaných především pro tepelně a korozivně zvláště namáhané formy. Incramet 800 je v podstatě zušlechťeným hliníkovým bronzem. Je to slitina, ve kterou zatím ve světě vyústily snahy o použití Al bronzů pro výrobu forem a to pro jejich dobrou tepelnou vodivost a vyhovující žáruvzdornost.

Slinutý karbid G 3 byl vybrán vzhledem ke skutečnosti, že je to materiál, který nachází v poslední době především v bižuterním průmyslu dominující postavení - vysoká životnost mechanicky i tepelně namáhaných forem (rotační mačkadla).

Výběr těchto materiálů zaručil současně druhé a pro záměr práce především důležité hledisko, t.j. obsažení celé škály prakticky se vyskytujícími tepelnými vodivostmi λ .

Protože se v případě získávání potřebných vzorků litin jednalo o ne zcela běžné typy, nebylo možné je získat v potřebném čase a bylo tedy nutné je pro daný účel vyrobit (včetně lité oceli 422012 - vyrobené v n.p. Sklo-Union Teplice).

Výzkumný ústav hutnictví železa v Praze, který požadované litiny vyráběl, dodržel předepsaná chemická složení žádaných vzorků, jak vyplývá z tab. 2. Nebylo však dosaženo odpovídajícího vzhledu struktury a hustoty litých vzorků, což přirozeně ovlivnilo měrnou hmotnost i předpokládanou tepelnou vodivost litin č. 1 - 4, viz tab. 3, kde z tohoto důvodu bylo provedeno srovnání s teoretickými hodnotami odpovídajícím litinám totožného, nebo velmi podobného složení, vyrobených ve Státním výzkumném ústavu materiálu a technologie Praha, který též měření předepsaných fyzikálních vlastností všech materiálů prováděl./25/.

Kontrolu chemického složení všech vzorků, tedy nejen v ústavu vyrobených litin, prováděl Výzkumný ústav hutnictví železa Praha /26/, viz tab. 2.

Protože se v případě litin 1 - 3 (tab. 3) jedná o typy materiálů s vyššími tepelnými vodivostmi (při 20 °C asi 0,145 cal/cm.s.°C, při 400 °C asi 0,110 cal/cm.s.°C), byly by ko-
nečné závislosti zvlnění povrchu výlisku v závislosti na tepelné vodivosti materiálu, zvláště při vyšších vodivostech přesnější. Počet materiálů s vyššími tepelnými vodivostmi (11600, Ni, resp. Incramet 800, SK-G 3) by se o tyto litiny zvýšil.

Tab. 1 PŘEHLED VYBRANÝCH KOVOVÝCH MATERIÁLŮ

ROZMĚROVÉ PYSIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Por. čís. mat.	Označení materiálu dle ČSN	Druh materiálu	Složení-hlavní prvky	Stř.
1	Litiny	nelegovaná litina	3,3-2,5%C; 1,0-2,3%Si; 0,0-0,7%Mn; 0,05-0,35%P; 0,03-0,09%S ($5\epsilon \pm 0,93$)	stř.
2		nizkolegovaná litina - Cr	do 3,45%C; 2,3%Si; 0,6%Mn; do 0,80%P; 0,12%S 0,2-0,4%Cr	Jem.
3		nizkolegovaná litina-CrNiMo	do 3,45%C; 1,9%Si; 0,6%Mn; do 0,35%P; do 0,08%S 0,3%Cr; 1,2%Ni; 0,5%Mo	gra.
4		vysokolegovaná litina-Ni;Cu (Niresist)	2,8%C; 1,5%Si; 1%Mn; do 0,2%P; do 0,1%S 15%Ni; 6%Cu; 2,5%Cr	stř.
5		vysokolegovaná litina - Ni	25%Ni	hmo.
6	Ocele	perlitická ocel tvářená, 1Cr13	0,13-0,15%C; 13%Cr	stř.
7		feritická litá ocel-4Cr20Si	0,3-0,5%C; 19-22%Cr	stř.
8		austenitická tvářená ocel - 1Cr18Ni9	0,12-0,15%C; 17-19%Cr; 8-9,5%Ni	stř.
9		austenitická tvářená ocel - 2Cr24Ni19Si	max. 0,35%C; 22-30%Cr; 17-21%Ni	stř.
10		uhlíková ocel obvyklých jakostí	max. 0,5%C; max. 0,055%P; max. 0,055%S	stř.
11	Neželezné kovy a slitiny	42 34 05	nikl 99,6%; tvrdý obchodní jakost	stř.
12		Nimonic 80A	18-21%Cr; Al, Si, Fe, Mo- zbytek Ni	stř.
13		Inconel 600	11,5-16,5%Ni; 9,5-10,5%Al 0,4-1,8%Fe; 1%-2%Co; zbytek Co	stř.
14		Slitný karbid G3	65%WC; 15%Co	stř.

MATERIÁLŮ, JEJICH CHEMICKÉ SLOŽENÍ A
VLASTNOSTI DLE ÚDAJŮ LITERATURY

Stav-vzhled struktury	Sledované fyzikální vlastnosti				Poz
	tepelná vod. při 20°C cal/cm.s. °C	stř.měr. teplo cal/g. °C	tep.roztaž. α 20-500°C. 10 ⁻⁷	měrná hmota g/cm ³	
středně jemný lamelární perlit + malé množství feritu	0,0975- 0,105	~ 0,13	125	7,2	
Jemný až střední lam. grafit 50-100 μ , perli- tická základní hmota	0,0834	0,13	130	7,2	
Jemný až střední lam. grafit 50-100 μ , perli- tická základní hmota	0,105	0,115	125	7,2	
stř.graf,aust,základní hmota s rozptýlenými karbidy	0,07 - 0,0834	0,119	185 !	7,55	
martenzit,nebo perlit., karbidy na hranicích zrn	~ 0,061	0,11	118	7,7	
ferit + karbidy	~ 0,0445	0,12	122	7,6	
austenit	~ 0,0332	0,12	183	7,8	
austenit	~ 0,0332	0,12	~ 183	7,35	
ferit, perlit	~ 0,10 - 0,117	~ 0,11	~ 135	~ 7,65	
	0,15	~ 0,11	α 25-100°C 125	8,9	
	~ 0,0415	0,11	142	8,35	
	~ 0,0975 - 0,105		cca jako u aust.ocelí		
	0,14		α 20-800°C 55	13,9	

sestředěné sledovaných materiálů a kontrola jejich
chemického složení.

Označení materiálu (ČSN)	Chemické složení-hlavní prvky	srovnání s vybr. mater.	Pozn.
Nelegovaná šedá litina	C - 3,39% Si - 2,15% S - 0,04% Mn- 0,69% P - 0,5%	odpovídá	utaveno ve VÚH dle předeps. sl.
Nízkolegovaná litina - Cr	C - 3,37% Si - 2,13% S - 0,03% Mn- 0,64% P - 0,8% Cr- 0,25%	odpovídá	dtto
Nízkolegovaná litina - Cr, Ni, Mo	C - 3,05% Si - 1,9% S - 0,04% Mn- 0,64% P - 0,29% Cr- 0,33% Ni - 1,18% Mo- 0,43%	odpov. (Mo nižší o 0,07%)	dtto
Vysokolegov. litina-Ni, Cr, Cu (Niresist)	C - 2,61% Si - 1,46% S - 0,041% Mn- 1,32% P - 0,098% Ni- 14,4% Cr - 2,36% Cu- 5,63%	odpov. nižší obsah Ni, Cr, Cu	dtto
Vysokolegov. litina - Ni	Ni - 24,73 %	odpov. (Ni nižší o 0,27%)	dtto
17 021-AK1	C - 0,112% Si - 0,19% S - 0,024% Mn- 0,41% P - 0,027% Cr-13,01%	odpovídá	
"42 29 12"	C - 0,294% Si - 0,325% S - 0,031% Cr- 19,9% Ni - 0,987%	odpovídá	utaveno v n.p. Sklo UNION Teplice
17 241-AKVN	C - 0,085% Si - 0,43% S - 0,023% Mn- 0,51% P - 0,021% Ni- 8,79% Cr -19,19%	odpovídá	
17 255-AKC	C - 0,05% Si - 0,67% S - 0,009% Mn- 1,20% P - 0,016% Ni- 17,83% Cr - 22,72%	odpovídá	
11 600	C - 0,365% S - 0,039% P - 0,03%	odpovídá	
42 34 05 - Nikl	Ni - 98,14%	obsah Ni nižší o cca 1,5%	
RONiCr	C - 0,03% Si - 1,26% S - 0,008% Fe- 1,46% Mn- 0,1% P - 0,005% Cu- 0,128% Cr -18,97% Ni- 77,30%	nižší obsah Fe a Mn - odpov. Nimonic 80A	
Incramet 800	Ni-16,74% Fe - 0,69% Al- 9,36% Co- 0,005% Cu - zbytek	obsah Co nižší, předeps. 1 - 2 %	dovezeno z NSR- vzorek
Slin.karbid	WC - 85% Co - 15%	rozbor nebyl proveden, dodáno s údajmi výrobce	

Tab. 3 Vybrané a naměřené fyzikální vlastnosti sledovaných materiálů.

Materiál	Měrná hmotnost při 20°C /g.cm ⁻³ / ± 0,02	Měrné teplo /cal.g ⁻¹ .°C ⁻¹ / ± 0,004	Tepel.vodi- vost /cal.cm ⁻¹ .s ⁻¹ . °C ⁻¹ / ± 0,005	Tepelná roztažnost /°C ⁻¹ / ± 0,2 . 10 ⁻⁷
litina 1 změř. hodn.	7,13	0,111 (20°C) 0,118 (100°C) 0,128 (200°C) 0,152 (400°C)	0,077 (20°C) 0,074 (100°C) 0,069 (200°C) 0,059 (400°C)	123.10 ⁻⁷ (20-100°C) 126.10 ⁻⁷ (20-200°C) 132.10 ⁻⁷ (20-400°C)
teor. hodn.	7,95	- "-	0,145 (20°C) 0,138 (100°C) 0,128 (200°C) 0,110 (400°C)	
litina 2 změř. hodn.	6,99	jako u 1.	0,068 (20°C) 0,065 (100°C) 0,060 (200°C) 0,052 (400°C)	Přibližně jako u 1.
teor. hodn.	7,95	- " -	jako u 1.	
litina 3 změř. hodn.	7,21	jako u 1.	0,078 (20°C) 0,075 (100°C) 0,070 (200°C) 0,060 (400°C)	Přibližně jako u 1.
teor. hodn.	7,95	- " -	přibližně jako u 1.	
litina 4 změř. hodn.	7,56	0,117 (20°C) 0,120 (100°C) 0,123 (200°C) 0,129 (400°C)	0,041 (20°C) 0,043 (100°C) 0,045 (200°C) 0,050 (400°C)	160.10 ⁻⁷ (20-100°C) 170.10 ⁻⁷ (20-200°C) 180.10 ⁻⁷ (20-400°C)

litina 5	8,07	0,118 (20°C) 0,121 (100°C) 0,124 (200°C) 0,130 (400°C)	0,032 (20°C) 0,035 (100°C) 0,038 (200°C) 0,045 (400°C)	$137 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $153 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $170 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
7 021 - AK 1	7,72	0,111 (20°C) 0,112 (100°C) 0,119 (200°C) 0,128 (400°C)	0,064 (20°C) 0,065 (100°C) 0,067 (200°C) 0,069 (400°C)	$103 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $116 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $122 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
42 29 12"	7,67	0,112 (20°C) 0,115 (100°C) 0,125 (200°C) 0,154 (400°C)	0,052 (20°C) 0,054 (100°C) 0,056 (200°C) 0,060 (400°C)	$111 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $113 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $117 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
7 241 - AKVN	7,90	0,121 (20°C) 0,124 (100°C) 0,127 (200°C) 0,136 (400°C)	0,037 (20°C) 0,039 (100°C) 0,042 (200°C) 0,048 (400°C)	$173 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $175 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $183 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
255 - AKC	7,71	0,120 (20°C) 0,124 (100°C) 0,128 (200°C) 0,137 (400°C)	0,032 (20°C) 0,035 (100°C) 0,039 (200°C) 0,047 (400°C)	$160 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $164 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $170 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
600	7,85	0,116 (20°C) 0,120 (100°C) 0,126 (200°C) 0,146 (400°C)	0,124 (20°C) 0,119 (100°C) 0,113 (200°C) 0,100 (400°C)	$116 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $123 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $137 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
34 05 - čistý	8,89	0,106 (20°C) 0,118 (100°C) 0,123 (200°C) 0,160 (350°C) 0,126 (400°C)	0,160 (20°C) 0,140 (100°C) 0,126 (200°C) 0,108 (350°C) 0,112 (400°C)	$136 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $139 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $149 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)
NiCr	8,35	0,106 (20°C) 0,112 (100°C) 0,116 (200°C) 0,124 (400°C)	0,022 (20°C) 0,025 (100°C) 0,027 (200°C) 0,033 (400°C)	$152 \cdot 10^{-7}$ (20-100°C) $154 \cdot 10^{-7}$ (20-200°C) $161 \cdot 10^{-7}$ (20-400°C)

keramet 800	6,88	0,107 (20°C)	0,065 (80°C)	177.10 ⁻⁷ (20-100°C ^x)
		0,111 (100°C)		168.10 ⁻⁷ (20-200°C)
	7,60	0,114 (200°C)	0,095 (80°C)	166.10 ⁻⁷ (20-300°C)
		0,122 (400°C)		169.10 ⁻⁷ (20-400°C)
				169.10 ⁻⁷ (20-500°C)
lin.karbid G 3	13,9	0,053 (20°C)	0,160 (20°C)	

Týká se hodnot odpovídajících měrné hmotnosti 7,60 g/cm³

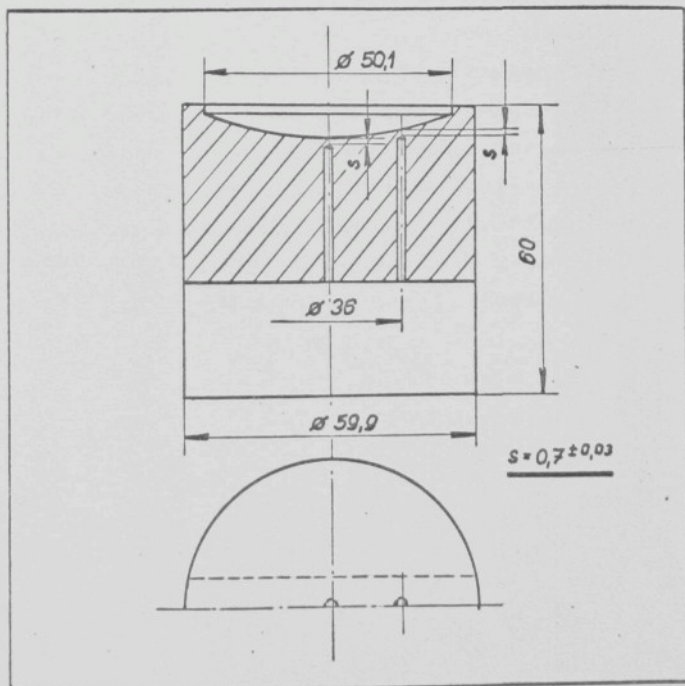
3.5. Formy pro lisování.

3.1. Tvar a velikost.

Standartní tvar formy pro lisování brýlových výlisků $\emptyset 50 \text{ mm} + 3 \text{ Dptr.}$ byl upraven tak, aby bylo možné informativně měřit podpovrchovou teplotu funkční kulové části formy prostřednictvím dvou termočlánků zasunutých do formy dle schematického náčrtku na obr. 17.

Vzhledem k tomu, že forma koná před vyjímáním výlisků vertikální pohyb, bylo nutné zhotovit pro vývody termočlánků příslušné zářezy (25 x 10 mm). Detailní provedení formy a uspořádání termočlánků viz příl. 2.

Podrobnější zmínka o měření podpovrchové teploty je v kap. 3.7.



5.2. Kvalita povrchu forem.

Docílení požadované kvality povrchu kovového materiálu je prakticky předurčeno jeho strukturou, t.j. velikostí zrn základní kovové hmoty, hustotou (zvláště u litin) a i samotnými legurami ovlivňující tvorbu struktury, což se projeví např. u leštitelnosti /27/ jako nejvyššího stupně úpravy kvality povrchu.

Při pohledu na různorodost zkoušených materiálů je tedy zřejmé, že dosažení stejné drsnosti povrchu, nebo rozdílů v úzkých mezích nebylo prakticky proveditelné i když konečné operace úpravy povrchu byly provedeny za přísně srovnatelných podmínek (lapování a leštění).

Z tabulky 4 je patrné, že jde o rozmezí drsností 0,24 - 1,0 μm , přičemž 70 % vzorků má průměrnou drsnost 0,45 μm .

Učiníme-li závěr s přihlédnutím k poznatkům o "Vlivu drsnosti kovu (povrchu formy)" - kap. 2.3., je možné tyto rozdíly v drsnostech povrchů forem vzhledem k jejich vlivu na tvorbu zvlnění povrchu výlisků zcela vyloučit. Navíc nerovnosti sledované na výliscích jsou zhruba o dva řády vyšší a jde tedy spíše o nerovnosti v makrooblasti, než u měřených drsností forem.

Tab. 4 Drsnosti funkčních kulových částí povrchů forem.

Poř. číslo	Zkoušený materiál	Drsnost kulové části formy - R_a (μm)
1	Litina č.1	1,0
2	Litina č.2	0,9
3	Litina č.3	0,5
4	Litina č.4	0,4
5	Litina č.5	0,46
6	17 021 - AK1	0,35;0,35
7	"42 29 12"	0,52
8	17 241 - AKVN	0,35
9	17 255 - AKC	0,28
10	11 600	0,55
11	Nikl - čistý	0,4
12	RONiCr	0,24;0,24
13	INCRAMET 800	0,5
14	Slin.karbid - G3	0,29

3.6. Měření kontrolovaných veličin.

6.1. Měření teploty skloviny.

(se současným prováděním záznamů o taktech stroje a vahách kapek)

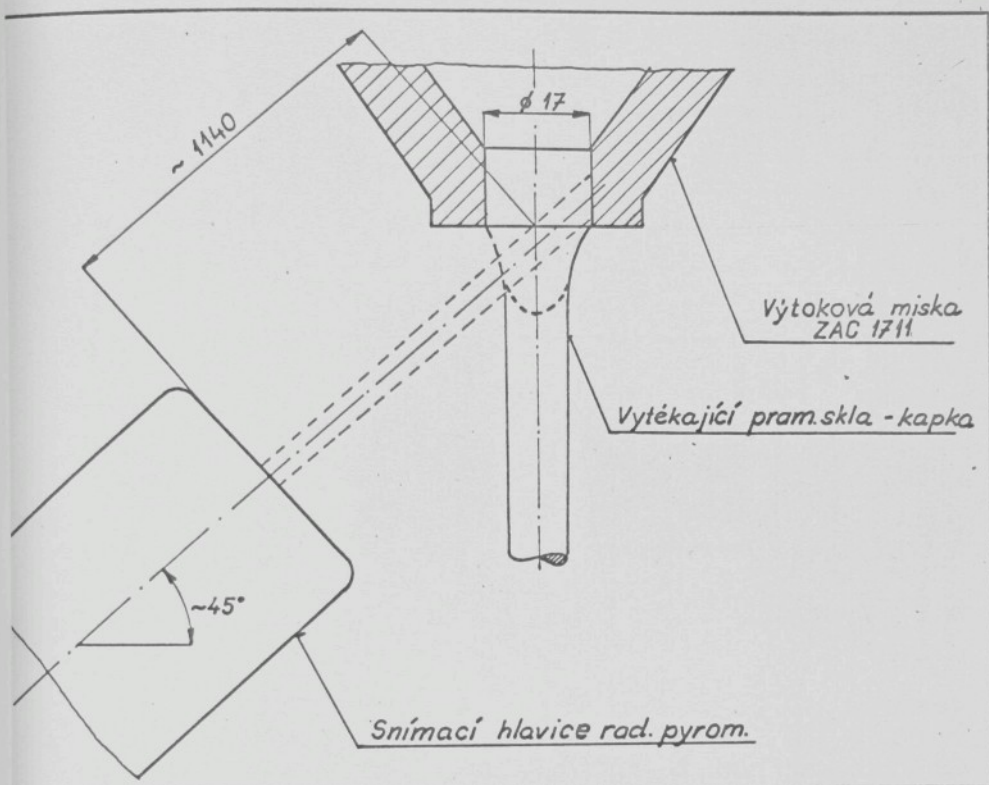
Měření teploty bylo prováděno dvěma čidly a to ve výtoku skloviny a v atmosféře nad sklovinou v hlavě feedru. V atmosféře nad sklovinou je teplota standartně snímána dotyk. termočlánkem Pt-PtRh 18 %, uloženým v mulitové ochranné trubici, z něhož je vývod na elektronkový kompenzační zapisovač Honeywell, který provádí kruhový záznam. Termočlánek slouží současně jako čidlo pro automatickou regulaci teploty ve feedru tím, že je regulován příkon topných silitových článků. Regulace (vyvinuta SVÚS Hradec Králové) je velice přesná, neboť musí udržet teplotu skloviny v takových mezích, aby změna váhy kapky nepřesáhla hodnotu $\pm 0,5$ g. Hodnoty odečtené na přístroji během měření, které byly pro každé příslušné měření konstantní (vyplývá to i z grafických záznamů - příloha 3) jsou uvedeny v tabulce 5.

Teplota skloviny ve výtoku, t.j. vždy během doby než došlo v každém taktu k odstřižení kapky, byla snímána radiačním pyrometrem vyvinutým VÚSAB Jablonec n/Nis. /29/. Zaměření přístroje do výtokové části misky je znázorněno na obr. 18 a v příloze 5 současně s celkovým pohledem na uspořádání měř. aparatury. Schema zapojení přístroje je na obr. 19. Jednotlivé teploty příslušné každému měření jsou uvedeny v tab. 5. I zde bylo kolísání její hodnoty pro jednotlivá měření nulové. Části grafických záznamů oscilografu pro každé měření - materiál jsou v příloze 4.

Pokud by šlo o pochybnost, zda radiační pyrometr byl pro tato měření správně a přesně ocejchován (např. s ohledem na emisivitu ϵ) a zda tedy absolutní hodnota teploty je

Pozn.	Počet hodnoc. údajů z osci- logra- fu	Teplota v hlavě feedru zapis. Honey- well	Relativní teplota praménku (kapky) ve výtoku /°C/				Max. rozdí- l z osci- te- plot xx)	1118,4 - 1112,0 = 6,4°C	
			Průběž- ná te- plota plo- ty	Odch. od před- psané váhyxx)	Prům. váha kapky	Ko- Korek- tis- ční te- souč. plo- ty			
1	65	1145	0	-	15,5	-0,25	1099,2	1,06	-
2	80	1145	0	-	15,67	-0,08	1081,2		-
3	80	1147	0	-	16,00	+0,25	1105,5		-
4	65	1147	0	-0,1	15,92	+0,17	1115,1		
5	80	1147	0	+1,0	15,83	+0,08	1116,2	1,063	
6	40	1145	0	+1,0	16,0	+0,25	1116,2		
7	80	1145	0	-3,2	15,58	-0,17	1112,0		
8	80	1146	0	-1,2	16,0	+0,25	1114,0		
9	80	1145	0	-1,4	16,0	+0,25	1113,8		
10	65	1147	0	-2,5	15,7	-0,05	1112,7	1,072	
11	80	1146	0	+2,9	16,03	+0,28	1118,1		
12	80	1147	0	+0,1	15,58	-0,17	1115,3	1,086	
13	80	1148	0	+0,1	15,5	-0,25	1115,3		
14	80	1148	0	+3,2	15,72	-0,03	1118,4	1,124	

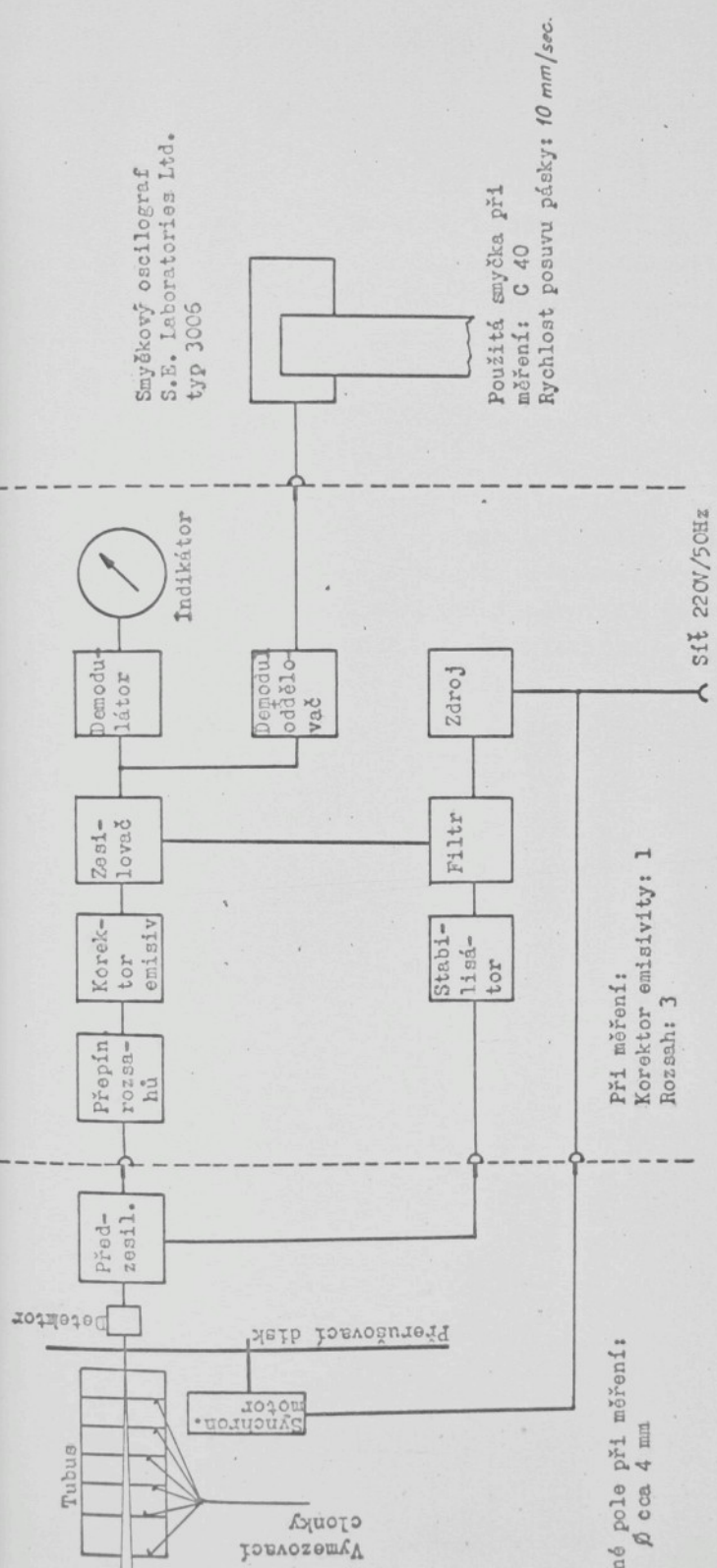
xx) střed.tepl. z hodn. 4÷14 - 1115,2 °C



Obr. 18

pravdivá, je nutné podotknout, že během pokusu nešlo o zjištění či kontrolu absolutní teploty, nýbrž o konstantní zachování "relativní" hodnoty teploty, a tedy viskozity skloviny během každého pokusu, což se zřejmě podařilo a je patrné z hodnot v tabulce 5.

V této souvislosti stojí za zmínku, že průměrná "relativní" teplota skloviny $1115,2^{\circ}\text{C}$ měřená radiačním pyrometrem je velmi blízká hodnotám teplot skloviny asi 40 mm nad výtokem misky, které byly získány měřením za účasti SVÚS Hradec Králové, prováděné velmi přesně cejkovaným termočlánkem dle



SCHEMA ZAPOJENÍ RADIACNÍHO PYROMETRU

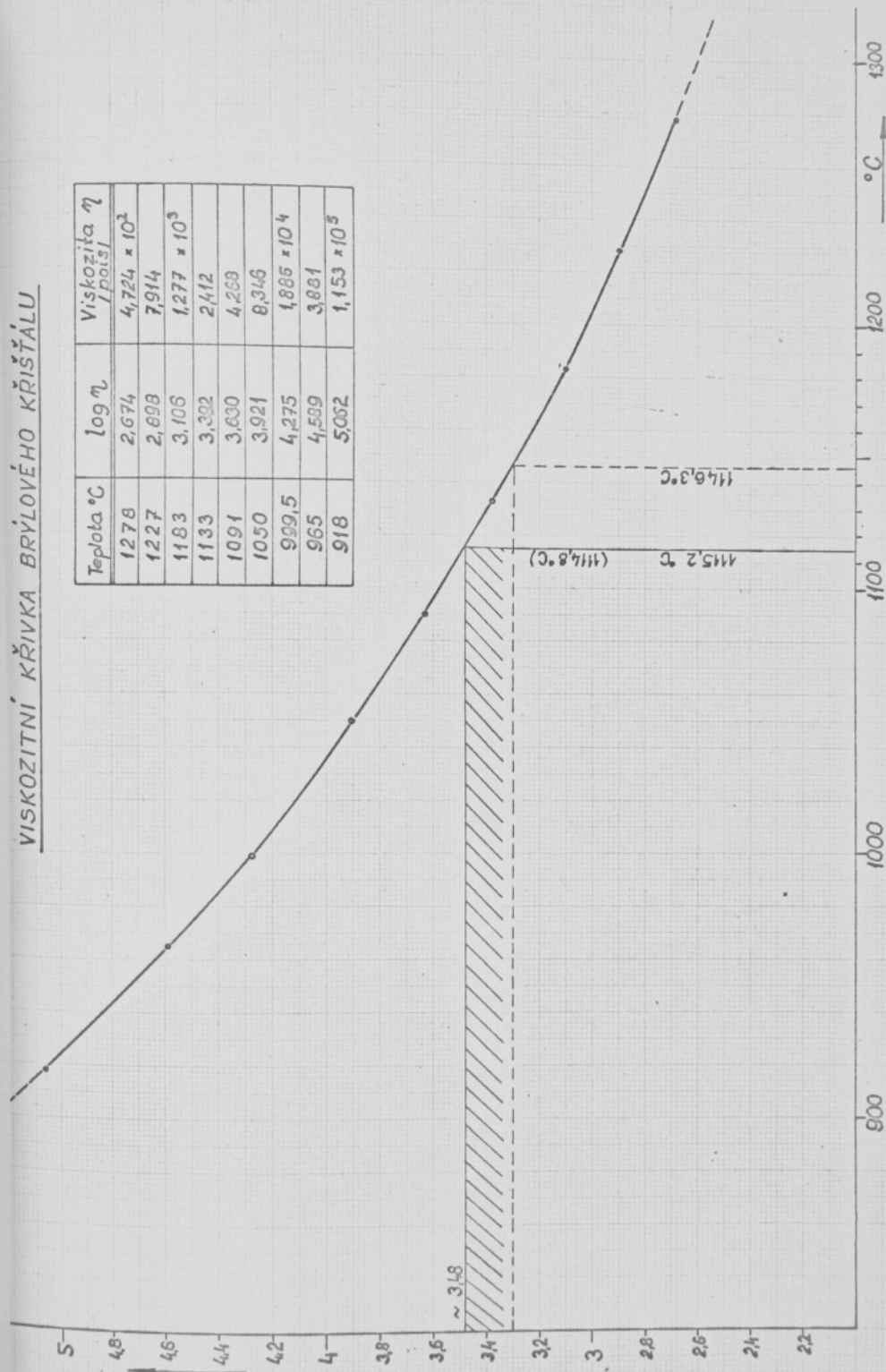
vislost $\varnothing$ zorného pole na vzdálenosti zaměření

1	$\varnothing$
60 cm	2,6 mm
80 cm	3,3 mm
100 cm	3,9 mm
120 cm	4,6 mm
140 cm	5,3 mm
160 cm	6,0 mm

ČSN 2504035 Pt - PtRh 18 % (uloženým v ochranné Pt sondě), průměr drátů 0,5 mm a snímané digitálním voltmetrem Solatron. Tato měření probíhala krátce před vlastními měřeními souvisejícími s touto prací a byla naměřena průměrná teplota 1114,8 °C, při srovnatelných podmínkách, t.j. při lisování výlisků o Ø 50 mm, gramové váhy 15,75 - 16,25 g a 35 taktech/min. /28/.

Na obr. 20 je viskozitní křivka brýlového křišťálu s vyznačením oblasti teplotního spádu od atmosféry nad sklovinou k výtoku. Z předchozího textu i odvození na viskozitní křivce vyplývá, že $\log \eta$ tvarované skloviny je 3,48, nebo ve velmi blízkém okolí této hodnoty.

VISKOZITNÍ KŘIVKA BRÝLOVÉHO KŘIŠTÁLU

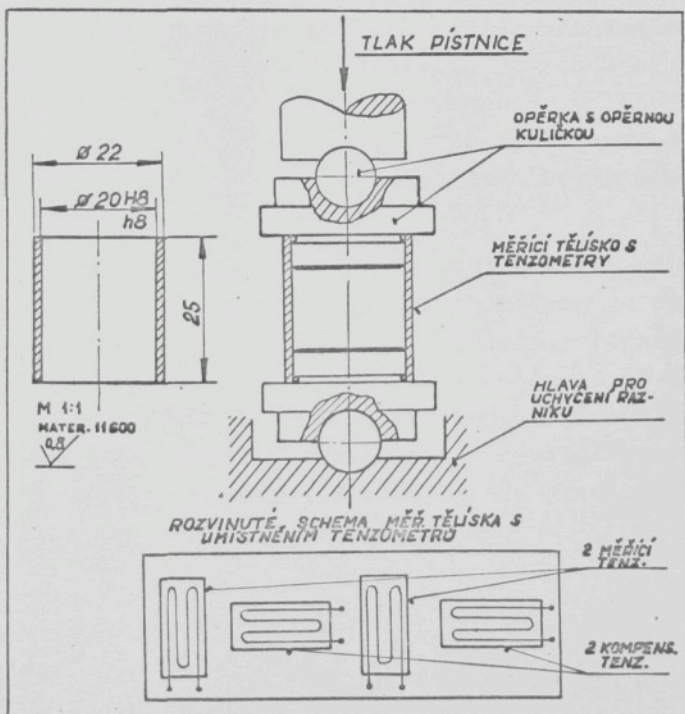


Obr. 20

3.2. Měření lisovacího tlaku.

Kontrola stálosti a hodnoty lisovacího tlaku byla prováděna metodou a pomocí upraveného přípravku vyvinutých a prakticky odzkoušených /30/ na Katedře sklářství a keramiky VŠST v Liberci.

Uspořádání měřicího členu t.j. tělíska s měřicími a kompenzačními tenzometry (ohřátí pístnice během provozu) je znázorněno na obr. 21. Měřicí tělísko je v pístnici opřeno o opěrné kuličky, aby byla záruka působení síly vždy ve stejném směru.



Obr. 21

Uchycení takto sestaveného měřicího prvku s pístnicí a hlavou pro lisovací jádro - razník je prostřednictvím převlečné matice, kterou je vytvořeno po dotažení na tenzometrech již jistě předpětí. Dodržení tohoto předpětí bylo podmínkou pro platnost stanovené cejchovní křivky.

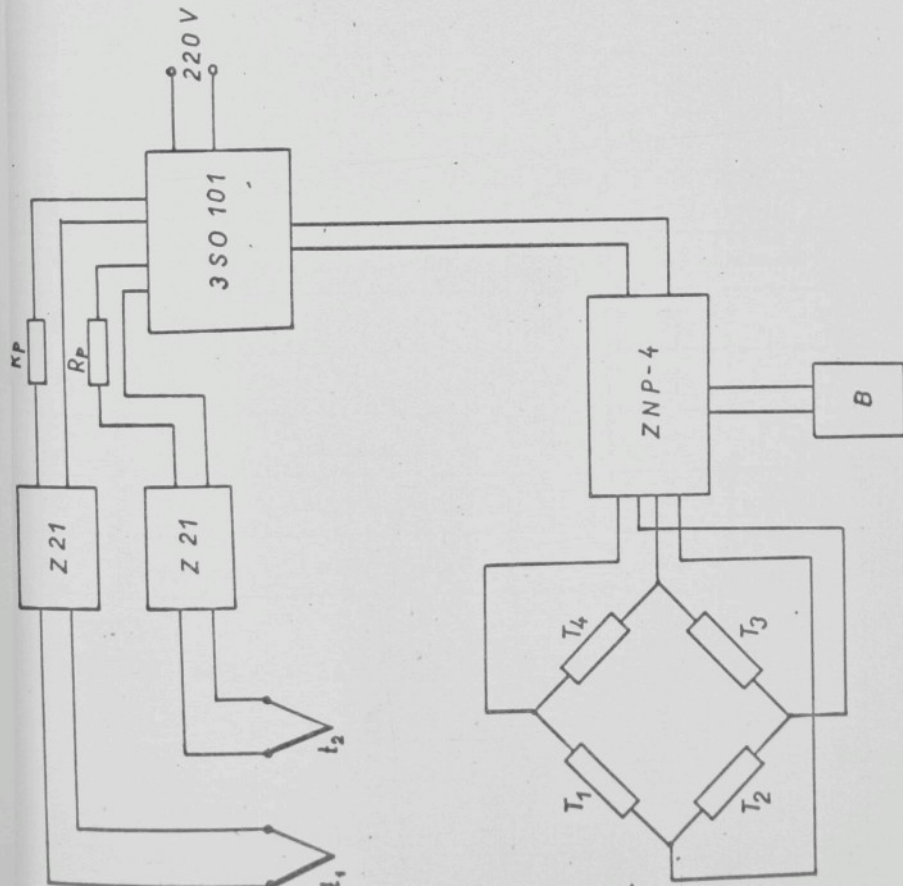
Protože se během pokusů ukázalo, že došlo k pohybu převlečné matice a tudíž k porušení nastaveného předpětí na tenzometrických čidlech, bylo nutné od měření č. 8 provést nové dotažení převlečné matice a na tomto potom stanovit novou cejchovní křivku po skončení zbývajících měření, viz příl. 6.

Laboratorní uspořádání měřicí aparatury použité i při praktickém měření je zobrazeno v příl. 7/a.

Blokové schema zapojení měřicího členu pro kontrolu lisovacího tlaku je na obr. 22. Ve schematu je současně zakresleno zapojení čidel pro snímání podpovrchové teploty formy dotýkovými termočlánky t_1 , t_2 , která byla, jak je ze schematu patrné, registrována na společném třísmýčkovém oscilografu 3SO 101.

Výsledky měření jsou shrnuty v tabulce 6. Z průběhů hodnot lisovacích tlaků během jednotlivých měření je patrné, že jejich stálost se pohybovala v nejhorsím případě s četností 80 % a v nejpříznivějším případě s četností 95 %. Je tedy možné konstatovat, že jednotlivá měření proběhla za poměrně vyhovujících měřítek stanovených podmínkami pokusů.

Části jednotlivých záznamů oscilografu jsou v příloze 8 s označením maxim - lisovacích tlaků.



BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ A SPECIFIKACE PŘÍSTROJŮ PRO MĚŘENÍ LISOVACÍHO
TLAKU A TEPLoty FORMY

- T_1, T_2, T_3, T_4 - Tenzometry, typ M120
(2 měřicí + 2 kompenzační)
- ZNP-4 - Tenzometrická aparatura;
zesilovač se 4 kanály, 7 stupňů
citlivosti, napájecí napětí 12-
29 V, nosný kmitočet 5 kHz ± 1%
(sinusový)
- B - Příkon tenz. aparatury 7 W
Ohmický odpor tenzometrů
 $120 \Omega \pm 0,25\%$
- B - Baterie 24 V pro napájení ze-
silovače ZNP-4
- 3 SO 101 - Oscilograf RFT
- t_1, t_2 - Použitá galv. smyčka-pro sílu
MST 8, pro teplotu MST 5
- Z 21 - Použitý posuv 3 cm/sec
Přesnost 150 Hz ± 5%
- R_p - Termočlánky Fe - Co,
síla drátku $\varnothing 0,2$ mm
- Kompenzační zesilovač
rozsah 6 - 1500 mV
30 - 6000 μ A
pro měření nastaven rozsah
0 - 60 mV.
Přesnost 1%.
- Předřadný odpor 150 Ω .

b. 6 Údaje o průběhu lisovacího tlaku během pokusu

kouš. ater. =	Průběžná hodnota	Procen- to nemě- nnosti	Odchyl. od stř. hodnoty	Max. rozdílné průb. lis. síly /kp/	Počet hodnoce- ných ú- dajů z oscilo- grafu	Poznámka
íslo čření	hem měř- ní /kp/	lis.síly během měření	ly x) /kp/			
1	-	-	-	226 - 219 = 7 kp	-	špatný záznam
2	220	95,0	-1,2		80	
3	219	83,7	-2,2		80	
4	219	88,7	-2,2		80	
5	222	85,0	+0,8		80	
6	220	86,0	-1,2		50	
7	222	85,5	+0,8		80	
8	-	-	-		-	porucha v před- pětí tenzometrů
9	-	-	-		-	špatný záznam
10	226	80,0	+4,8		50	
11	226	83,3	+4,8		60	
12	220	80,5	-1,2		77	
13	220	80,8	-1,2		73	
14	219	80,8	-2,2		73	

x) Střední hodnota lis.síly 221,2 kp

3. Kontrola ostatních podmínek tvarování.

Výška dopadu kapky, konstantní poloha a výška žlabu jsou dány seřazením stroje a tyto hodnoty jsou během provozu neměnné. Zejména pro tak krátký časový úsek, po který probíhaly sledované pokusy. Přesto byly rozměry dané uspořádáním celého zařízení na začátku měření, průběžně kontrolovány (viz kap.3.3. Metodika pokusů, odebírání vzorků).

Předehrívání forem, jejich mazání a vzduchové chlazení razníku a nůžek bylo fixováno v nastavených polohách příslušnými uzavíracími prvky jednotlivých potrubí pro přívod plynu, vzduchu a oleje.

7. Měření podpovrchové teploty forem.

Snímání podpovrchové teploty forem nemělo přímou souvislost s prováděnými pokusy a záměry této práce, proto byla jejich přípravě i průběhu měření - kontrole věnována menší pozornost a výsledky je nutné považovat za informativní.

Metoda měření podpovrchové teploty forem je dnes již poměrně běžná a lze čerpat ze základních prací v tomto směru a to autorů Triera /31/, Babcock - Mc Grawa /12/. Tyto práce byly základem pro volbu typu a umístění termočlánků ve formě a jejich montáž.

Umístění termočlánků FeCo ($\varnothing$ 0,2 mm) ve středové a krajové poloze mělo dát obraz o relativní teplotní diferenci v těchto místech. Proto byly oba termočlánky umístěny ve stejných hloubkách pod povrchem, na rozdíl od způsobů, kterých použili výše uvedení autoři za účelem sledování celkového teplotního pole forem (měřeno v různých hloubkách) a cykličnosti průběhu teplot během tvarování.

Nákres formy s otvory pro termočlánky je na obr. 17 a podrobně v příloze 2, schema zapojení měřicí aparatury je na obr. 22.

Z těchto záznamů, u nichž nedošlo k poruše termočláunku utržením ve svaru a bylo možné je alespoň s přijatelnou přesností vyhodnotit, jsou max. teploty pod povrchem formy 0,7 mm ve středu v rozmezí 454,8 - 465,1 °C a na kraji 424,3 - 424,8 °C. Cejchovní křivka MST5 oscilografu pro měření teplot je v příloze 9.

Použitá aparatura v laboratorním i provozním uspořádání je zobrazena v příloze 7/b. Srovnávací konce termočláunků, tak jak během laboratorního cejchování, tak i během provozního měření, byly v izolované nádobě s ledem.

Aby bylo během měření termoelektrické napětí z termočláunků vyvedeno přímo na kompenzační vedení (bez otočného snímače - kolektoru) a tím zabráněno dalšímu zdroji poměrně značných chyb vlivem přechodových odporů, bylo pro každé měření navinuto kompenzační vedení kolem čepů na otočném stole lisu a postupně ručně odvíjeno souběžně s otáčením stolu, viz. příl. 10.

Na závěr kapitol 3.6. a 3.7., které se týkaly měření sledovaných veličin, je nutné uvést, že měření teploty skloviny radičním pyrometrem bylo prováděno aparaturou a za účasti VÚSAB Jablonec n/N. Měření lisovacího tlaku a podpovrchových teplot forem aparaturou a za účasti pracovníka laboratoře měření Katedry sklářství a keramiky VŠST v Liberci.

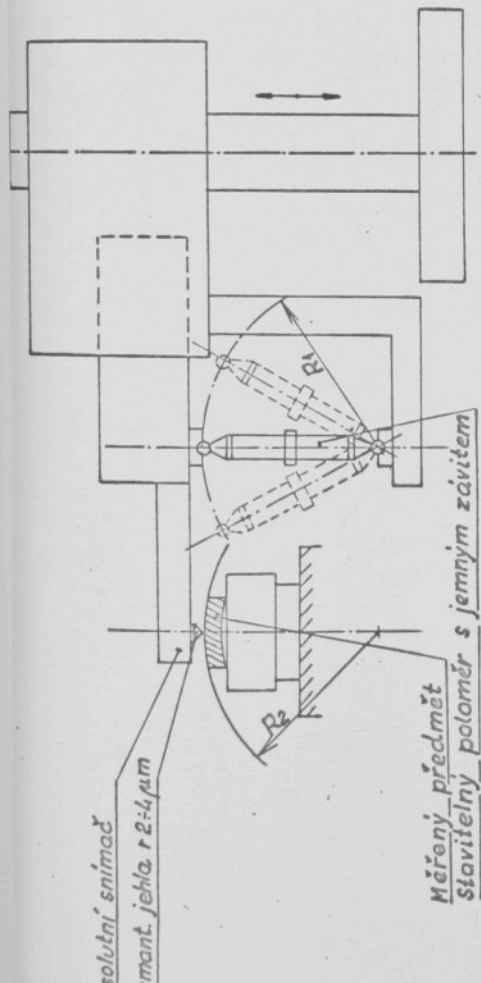
3. Zařízení pro hodnocení povrchu výlisků.

Z 50 ks odebraných vzorků každého ze 14 měření bylo namátkově vybráno 10 ks výlisků pro proměřování hodnot zvlnění.

Měření bylo prováděno na laboratorním profiloměru Somet typ 14915, obr. 23 (na Katedře obráběcích strojů a dílenského měření VŠST v Liberci).

Protože se jedná o nerovnosti povrchu charakteru spíše makro- velikostí, nelze použít pro hodnocení měřítek jako jsou hodnoty R_a (střední aritmetická odchylka) a R_z (výška nerovností) - dle ČSN 014450, a bylo nutné stanovit pojmy, které by vyjadřovaly tento charakter nerovností a které by bylo možné ze získaných záznamů věrohodně srovnávat a vyhodnocovat, viz obr. 23.

Příklad dvou extrémních grafických záznamů povrchu měř.výlisků s fotografickým znázorněním vzhledu zvlnění, viz příl. 11.



$$\frac{R_1}{R_2}$$

$\frac{R_1}{R_2}$ - RADIUS POHYBU RAMENE
PO NASTAVENÉM POLOMĚRU

$\frac{R_2}{R_1}$ - RADIUS POHYBU SNÍMACÍ
DIAMANTOVÉ JEHLY

POJMY CHARAKTERIZUJÍCÍ NEROVNOSTI (ZVLNĚNÍ) SLEDOVANÉHO PLOVCHU

$\frac{H_{max}}{H_a}$ - PÁSMO OVLIVNĚNÉ NEROV-
NOSTMI (ZVLNĚNÍMI)

$\frac{+h_{max}}{+h_s}$ - MAXIMÁLNÍ KLADNÁ HOD-
NOTA ODCHYLKY

$\frac{-h_{max}}{-h_s}$ - MAXIMÁLNÍ ZÁPORNÁ HOD-
NOTA ODCHYLKY

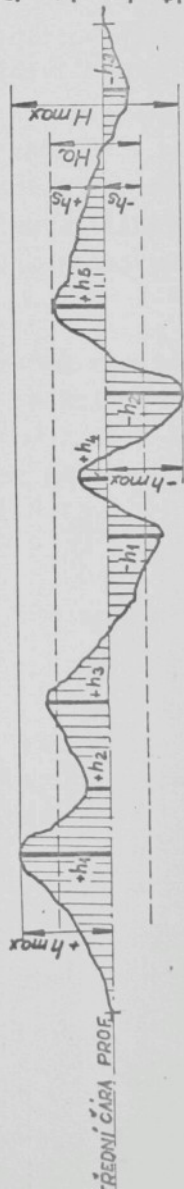
$\frac{H_a}{H_s}$ - STŘEDNÍ HODNOTA PÁŠ-
MA OVLIVNĚNÉHO ZVLNĚNÍM

$\frac{+h_s}{+h_s}$ - STŘEDNÍ KLADNÁ HODNO-
TA ODCHYLKY

$\frac{-h_s}{-h_s}$ - STŘEDNÍ ZÁPORNÁ HOD-
NOTA ODCHYLKY

$\frac{+h_1, h_2, \dots, +h_n}{+h_s}$ - KLADNÉ ODCHYL-
KY PRO STANOVENÍ $+h_s$

$\frac{-h_1, h_2, \dots, -h_n}{-h_s}$ - ZÁPORNÉ ODCHYL-
KY PRO STANOVENÍ $-h_s$



4. Zpracování výsledků měření.

1. Metodika hodnocení.

Vynesení jednotlivých hodnot H_a a H_{max} u každého z 10-ti měřených vzorků získaných z forem všech 14-ti sledovaných materiálů bylo získáno poměrně dostatečné množství bodů, aby jejich vhodným matematickým zpracováním mohla být stanovena poměrně přesná závislost H_a a H_{max} na tepelné vodivosti materiálu formy λ při 400 °C. Je to teplota, která je v oblasti průměrných pracovních teplot povrchů forem na automatických a poloautomatických strojích (350 - 550 °C) /11/ a nejvyšší teplota pro níž bylo změřeno λ k dispozici.

Protože tento souhrn bodů by bylo možné klasickými ručními výpočetními technikami graficky vyjádřit jako funkci H_a a H_{max} na λ jen velmi obtížně a zdlouhavě, byla zvolena metoda použití samočinného číslicového počítače "Minsk 22", z výpočetního střediska VŠST v Liberci.

Vybranou metodou nejmenších čtverců řešil počítač zadaný problém ve dvou variantách:

- a) proložení regresní přímky daným polem bodů
- b) výběr optimální regresní křivky z možností základních rovnic, které byl počítač za uvedeného stavu chopen řešit-

$$1) \quad y = b_1 + b_2 x$$

$$2) \quad y = b_1 + b_2 x + b_3 x^2$$

$$3) \quad y = b_1 + b_2 x + b_3 x^2 + b_4 x^3$$

$$4) \quad y = b_1 + \frac{b_2}{x}$$

$$5) \quad y = b_1 \cdot e^{(b_2 x)}$$

$$6) \quad y = b_1 \cdot b_2^x$$

$$7) \quad y = b_1 \cdot x^{b_2}$$

$$8) \quad y = a \cdot \ln(b_1 \cdot x^{b_2})$$

Každá z variant pak byla řešena ze tří hledisek vztahu H_a a $H_{\max}$ k λ :

- Pro všechny body pole (H_a a $H_{\max}$) příslušné jednotlivým tepelným vodivostem λ .
- Bez hodnot H_a a $H_{\max}$ představujících minimum seskupení v poli všech hodnot příslušných $\lambda = 0,069 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$, viz tabulka 7 (pořadí velikostí hodnot H_a a $H_{\max}$ příslušné jednotlivým λ je sestaveno z hodnot tabulky 8).
- Bez hodnot H_a a $H_{\max}$ příslušných $\lambda = 0,069 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$ a $\lambda = 0,172 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$, což je extrapolovaná vodivost pro slinutý karbid G3.

Hlavní příčinou vynechání hodnot H_a a $H_{\max}$ příslušných $\lambda = 0,172 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$ pro SK-G3 není extrapolace, neboť tato je provedena pro tepelnou vodivost při 400°C též u slitiny Incramet 800 (viz tabulka 7), ale pochybnost o správnosti použití této pomůcky u materiálu, jenž se vzhledem ke své strukturální stavbě nechová jako běžné kovy.

Výsledky získané ze samočinného počítače jsou zpracovány samostatně pro závislosti H_a a $H_{\max}$ na tepelné vodivosti materiálů λ na grafech 1 a 2.

Vedle těchto podrobných závislostí je na grafu 3 vyjádřena závislost středních hodnot H_a a $H_{\max}$ v závislosti na tepelné vodivosti materiálu λ . Tento graf je zpracován pouze v jedné variantě, t.j. pro všechna střední H_a a $H_{\max}$ příslušná tepel-

Tepelná vod. při 400 °C cal/cm.s. °C	H_a	H_{max}	Materiál-forma	
			Označ.	č.
0,033	32,27	55,10	RONiCr	12
0,045	32,27	53,80	vysokoleg. litina	5
0,047	24,44	36,17	AKC-17255	9
0,048	32,70	67,90	AKVN-17241	8
0,050	33,55	51,80	Vysokoleg. litina	4
0,052	31,94	54,70	Litina	2
0,059	33,89	65,20	Litina	1
0,059	33,69	46,70	Litina	3
0,060	25,51	50,40	422912	7
0,069	20,51	34,58	AK1-17021	6
0,100	27,22	52,90	11600	10
0,112	38,39	79,40	Nikl	11
0,104	46,81	91,76	Ineramet 800	13 x)
0,172	37,58	61,60	SK-G3	14 x)

x) extrapolované hodnoty tepelných vodivostí

Tabulka 7

ným vodivostem materiálů (viz ad a), hlavně s ohledem na ověření si zachování charakteru regresních křivek resp. přímek jako u předchozího přesného vyjádření. Tyto závislosti jsou sestaveny použitím hodnot uvedených v tabulce 8.

2. Výsledky hodnocení.

Vedle základní rovnice regresní křivky stanovuje počítač t.zv. r e s i d u á l n í s o u č e t č t v e r c ů . Podmínku nejmenšího součtu odchylek lze vyjádřit obecně

$$\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = \min.$$

kde y_i jsou závislé proměnné veličiny

Y_i jsou vyrovnané hodnoty pro $i = 1, 2, 3 \dots n$.

Residuální součet čtverců tedy vzhledem k minimalizaci zadané podmínky řešení úlohy nejmenších čtverců, je měřítkem přesnosti vyjádření hledané rovnice křivky, pro dané pole bodů.

A. Závislost H_a na tepelné vodivosti materiálu formy λ při 400 °C.

1. Výběr optimální regresní křivky

a) pro všechny body

Rovnice křivky:

Křivka
č.

$$H_a = 62,11 - 1272,419 \cdot \lambda + 14958,127 \cdot \lambda^2 - 48735,74 \cdot \lambda^3 \dots 1$$

Residuální součet čtverců: $0,122869 \cdot 10^3$

b) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$

Rovnice křivky:

$$H_a = 46,565 - 685,876 \cdot \lambda + 8918,124 \cdot \lambda^2 - 30414,087 \cdot \lambda^3 \dots 2$$

Residuální součet čtverců: $0,109757089 \cdot 10^3$

c) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069$ a $0,172 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$

Rovnice křivky:

$$H_a = 27,322 + 334,678 \cdot \lambda - 7800,416 \cdot \lambda^2 + 52514,46 \cdot \lambda^3 \dots 3$$

Residuální součet čtverců: $0,106340733 \cdot 10^3$

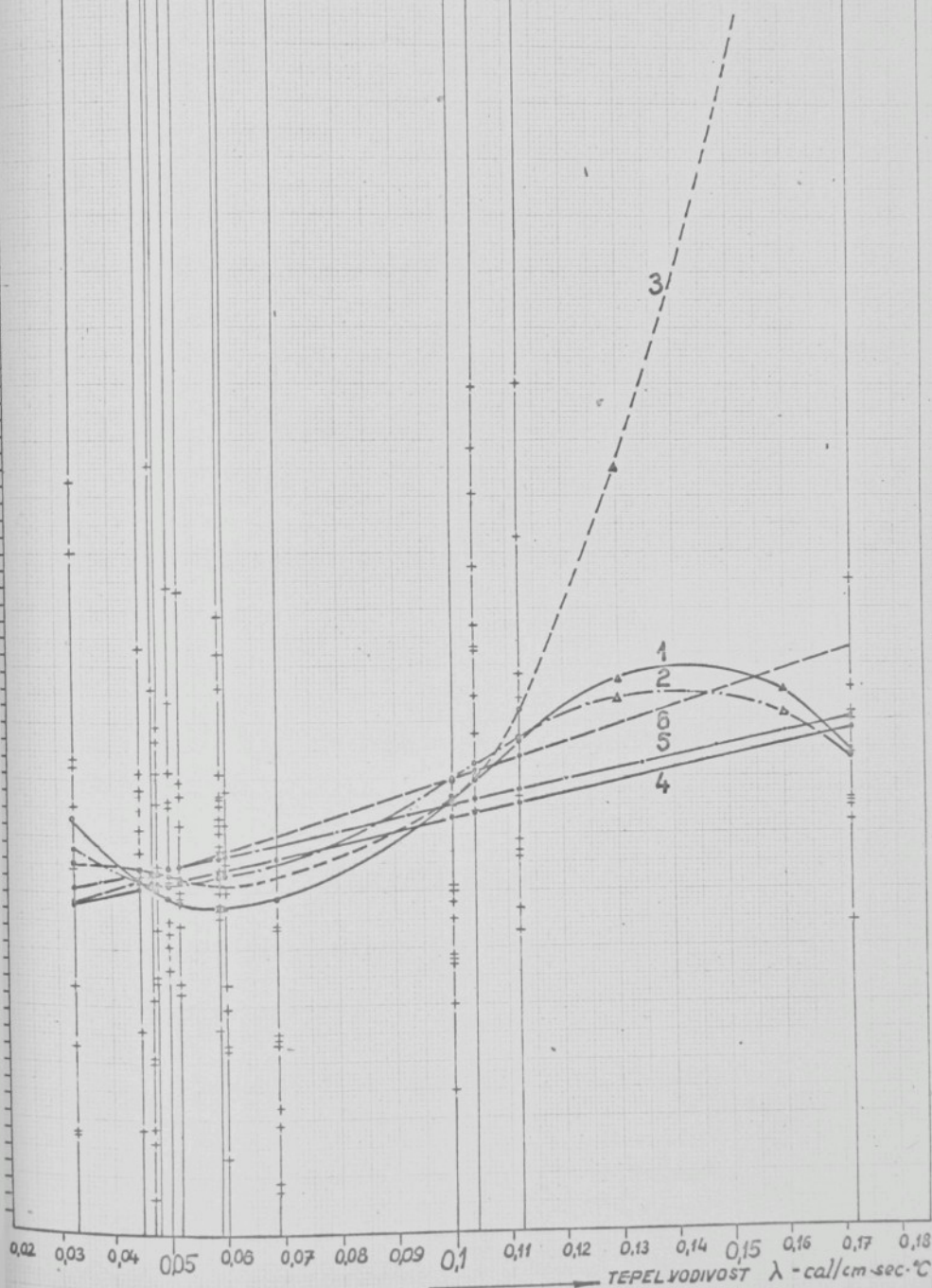
2. Přímka proložená polem bodů.

a) pro všechny body

Rovnice přímky:

Přímka
č.

ZÁVISLOST H_a NA TEPELNÉ VODIVOSTI MATERIÁLU, VZTAŽENO NA λ PŘI 400°C
 (H_a - jako hodnoty z měření na jednotlivých vzorcích)



Residuální součet čtverců: $0,130226388 \cdot 10^3$

b) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$

Rovnice přímky:

$$H_a = 27,929 + 71,394 \cdot \lambda$$

..... 5

Residuální součet čtverců: $0,113179141 \cdot 10^3$

c) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069$ a $0,172 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$

Rovnice přímky:

$$H_a = 25,716 + 109,357 \cdot \lambda$$

..... 6

Residuální součet čtverců: $0,108675900 \cdot 10^3$

B. Závislost $H_{\max}$ na tepelné vodivosti materiálu formy λ při 400°C .

1. Výběr optimální regresní křivky

a) pro všechny body

Rovnice křivky:

Křivka
č.

$$H_{\max} = 128,065 - 3086,21 \cdot \lambda + 37479,036 \cdot \lambda^2 - 126561,21 \cdot \lambda^3 \dots 1$$

Residuální součet čtverců: $0,411946558 \cdot 10^1$

b) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$

Rovnice křivky:

$$H_{\max} = 100,046 - 2029,344 \cdot \lambda + 26595,87 \cdot \lambda^2 - 93548,985 \cdot \lambda^3 \quad \dots 2$$

Residuální součet čtverců: $0,367957952 \cdot 10^1$

c) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069$ a $0,172 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$

Rovnice křivky:

$$H_{\max} = 57,824 + 209,942 \cdot \lambda - 10087,9 \cdot \lambda^2 + 88412,77 \cdot \lambda^3 \quad \dots 3$$

Residuální součet čtverců: $0,348836526 \cdot 10^1$

2. Přímka proložená polem bodů

a) pro všechny body

Rovnice přímky:

Přímka
č.

$$H_{\max} = 47,255 + 138,692 \cdot \lambda \quad \dots 4$$

Residuální součet čtverců: $0,469323703 \cdot 10^1$

b) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$

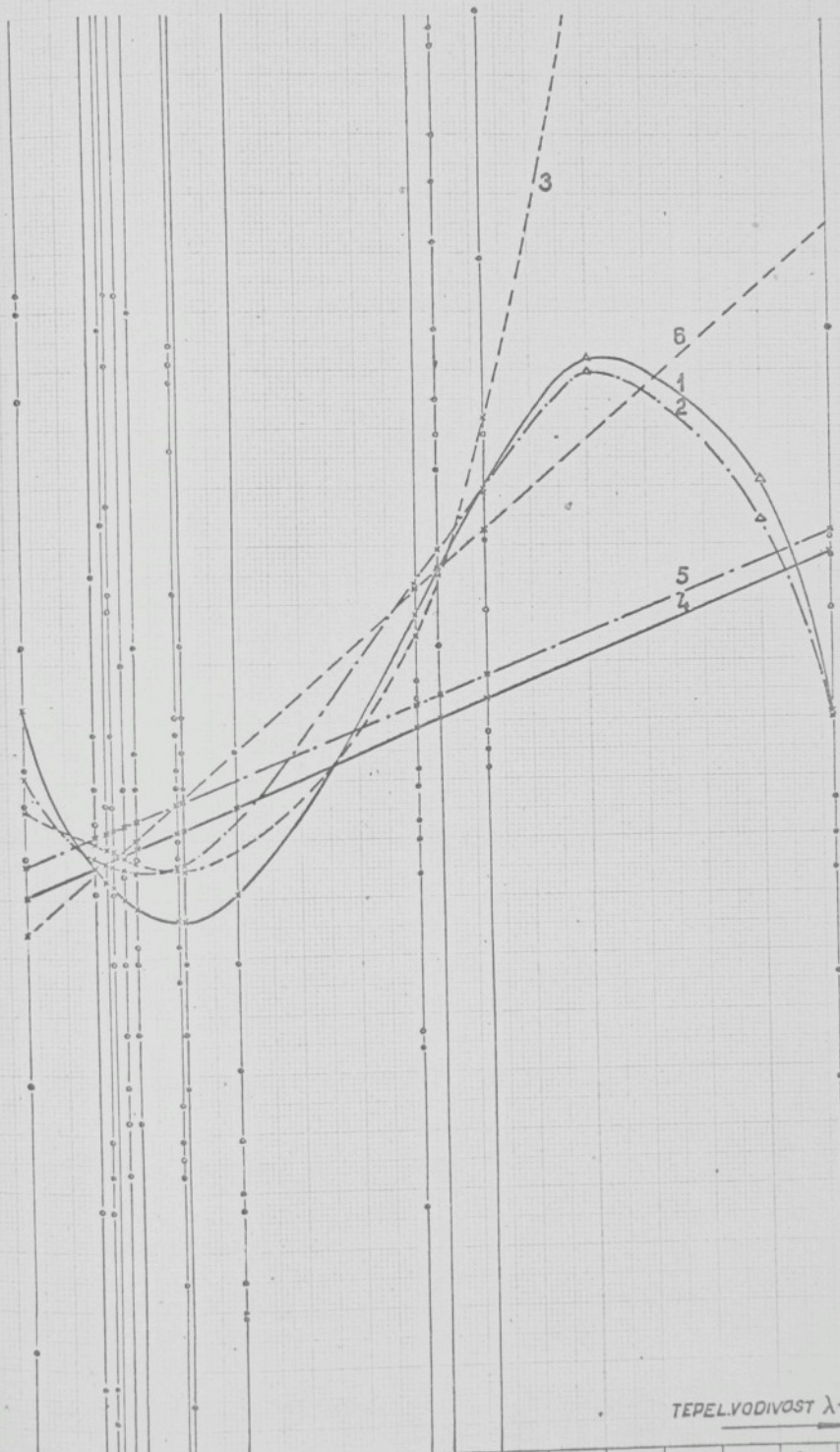
Rovnice přímky:

$$H_{\max} = 49,1278 + 134,84 \cdot \lambda \quad \dots 5$$

Residuální součet čtverců: $0,410511881 \cdot 10^1$

ZÁVISLOST H_{max} NA TEPELNÉ VODIVOSTI MATERIÁLU,
VZTAŽENO NA λ PŘI 400°C

(H_{max} - jako hodnoty z měření na jednotlivých vzorcích)



TEPELVODIVOST λ -cal/cm-s°C

c) vyjma bodů příslušejících $\lambda = 0,069$ a $0,172 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$

Rovnice přímky:

$$\underline{H_{\max} = 40,099 + 289,664 \cdot \lambda}$$

... 6

Residuální součet čtverců: $0,364583981 \cdot 10^1$

C. Závislost středních hodnot H_a a $H_{\max}$ na tepelné vodivosti materiálu formy při 400°C .

$$\underline{H_a}$$

1. Výběr optimální regresní křivky

Rovnice křivky:

$$\underline{H_a = 62,40 - 1283,3 \cdot \lambda + 15070,43 \cdot \lambda^2 - 49076,2 \cdot \lambda^3}$$

... 1

Residuální součet čtverců: $0,380633240 \cdot 10^1$

2. Přímka proložená polem bodů

Rovnice přímky:

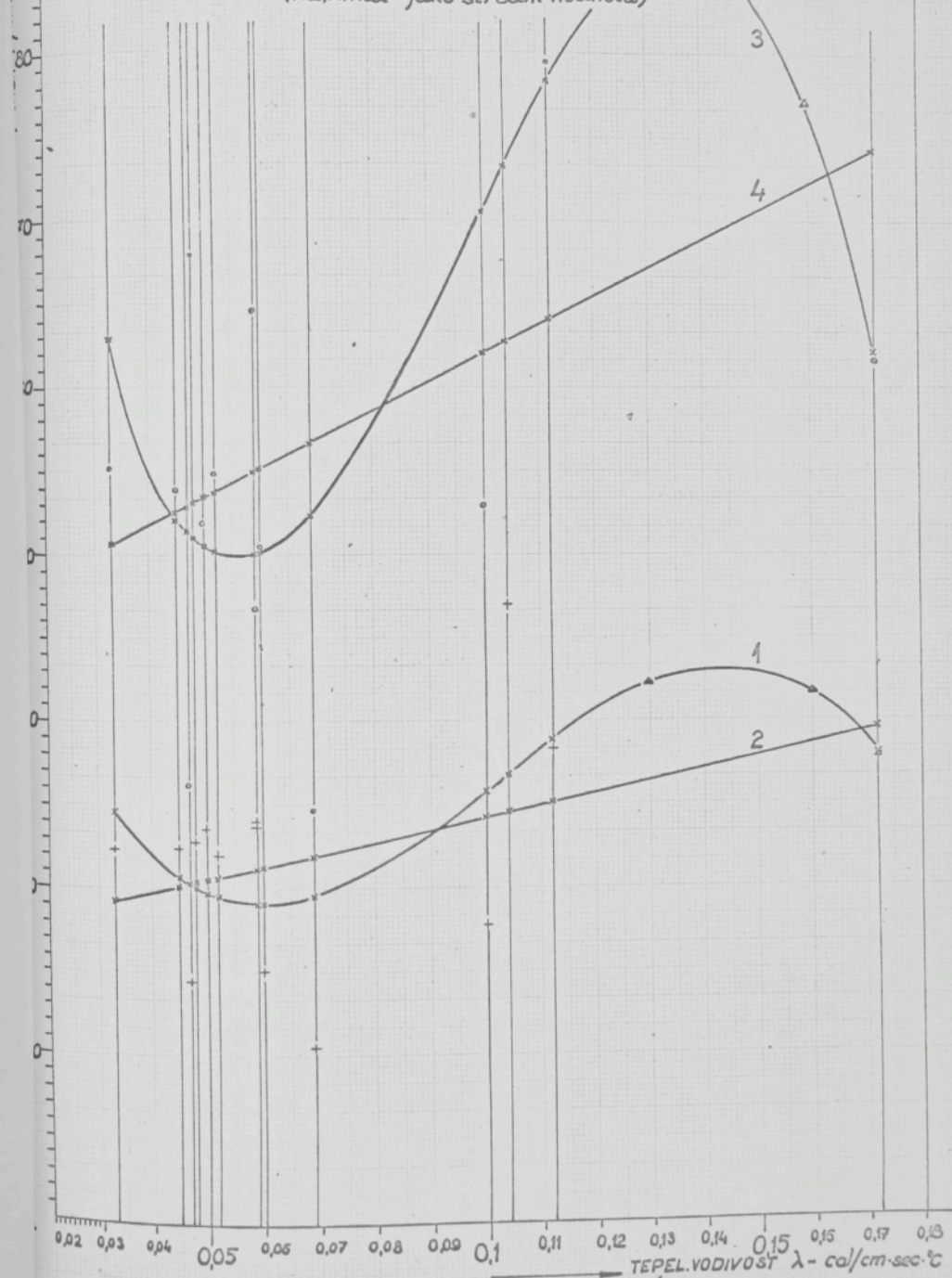
$$\underline{H_a = 26,893 + 73,52 \cdot \lambda}$$

... 2

Residuální součet čtverců: $0,455807486 \cdot 10^1$

ZÁVISLOST H_a, H_{max} NA TEPELNÉ VODIVOSTI MATERIÁLU
FORMY, VZTAŽENO NA λ PŘI 400°C

(H_a, H_{max} - jako střední hodnota)



$H_{\max}$

1. Výběr optimální regresní křivky

Rovnice křivky:

$$H_{\max} = 125,78 - 3137,10 \cdot \lambda + 39406,12 \cdot \lambda^2 - 135580,89 \cdot \lambda^3 \quad \dots 3$$

Residuální součet čtverců: $0,178282129 \cdot 10^2$

2. Přímka proložená polem bodů

Rovnice přímky:

$$H_{\max} = 44,994 + 170,385 \cdot \lambda \quad \dots 4$$

Residuální součet čtverců: $0,253591853 \cdot 10^2$

Poznámka ke konstrukci grafů č.1, 2, 3.

Vzhledem k tomu, že mezi vodivostmi $\lambda = 0,11$ až $0,172$ cal/cm.s.^{°C} je značně široké pole bez potřebných bodů pro proložení křivek, byly příslušné H_a a $H_{\max}$ stanoveny výpočtem z rovnic křivek, které určil počítač a to ve všech případech vždy pro $\lambda = 0,13$ a $0,16$ cal/cm.s.^{°C}. Jsou označeny Δ .

4.3. Diskuse výsledků hodnocení.

Smyslem práce bylo vyjádřit závislost zvlnění vnějšího povrchu malých výlisků z čirého křišťálového skla na druhu použitého materiálu formy a to rozbořením jeho rozhodujících vlastností pak zúženo na závislost zvlnění na tepelné vodivosti materiálu formy λ .

Podmínky, za kterých byly pokusy prováděny, t.j. stálá teplota - viskozita skloviny, stálý lisovací tlak a takt stroje, t.j. konstantní odvod tepla během tvarování, byly dány a jejich konstantnost během pokusů byla nezbytným předpokladem pro získání výše uvedené závislosti.

Změny těchto tvarovacích podmínek u malých výlisků z křišťálového skla nelze ze zásadních technologických důvodů provádět v příliš velkém rozmezí, neboť ze zkušenosti je známo, že charakterem výrobku (v tomto případě brýl.výlisku jako představitele) jsou již dány jisté ověřené a zaběhnuté proporce např. rozměrů a velikostí tavících agregátů, z toho vyplývající doba tavení, čerení, ustalování; její homogenizace, odběr skloviny za časovou jednotku na jedno nebo více tvarovacích zařízení, teplota tvarování, charakter otopu (zvláště v blízkosti dávkovacího zařízení-feedr, Pt-homogenizátor, Pt-otápěná trubka) a z toho vyplývající tepelná homogenita vrstev dávkované skloviny.

Snahou tohoto stručného vysvětlení bylo říci, že získané závislosti zvlnění povrchu výlisku na ploše přicházející do styku s povrchem formy, v závislosti na její tepelné vodivosti, při $\varnothing$ teplotě skloviny cca 1115,2 °C a k tomu příslušných lisovacích tlacích a taktech stroje, nemusí a zpravidla nebudou totožné při změně proporcí dříve popsanych tvarovacích a technologických podmínek.

Co však lze téměř s jistotou předpokládat, je, že se nebude lišit charakter průběhu těchto závislostí.

Z grafů 1, 2, 3 zdají se být pro diskusi i závěry nejvhodnější závislosti H_a na λ vynesené v grafu 1 a to hlavně proto, že se jedná o závislosti střední hodnoty zvlnění H_a na λ získaných z jednotlivých měření - hodnot H_a každého z 10-ti zkoumaných vzorků.

Graf 2 vyjadřuje rovněž závislosti hodnot $H_{\max}$ na λ získaných z měření $H_{\max}$ na každém z 10-ti vzorků.

Graf 3 je pak vyjádřením závislosti středních hodnot H_a a $H_{\max}$ na tepelné vodivosti λ z údajů převzatých z tabulky 8.

Oba grafy 2 a 3 byly zpracovány především pro vyjádření identity průběhu funkcí H_a a $H_{\max}$, v závislosti na tepelné vodivosti λ , ve srovnání s grafem 1.

Průběh křivek 1, 2 a 3 v oblasti, kde lze seriosně pojmout hodnoty tepelných vodivostí materiálů λ , t.j. 0,03 až 0,112 cal/cm.s.°C a k nim příslušné změřené hodnoty H_a jakož i upravené hodnoty H_a určené samočinným číslicovým počítačem napovídá, že čím vyšší je tepelná vodivost materiálu formy λ , tím je hodnota zvlnění H_a větší.

Nahrazením pole bodů vyjadřující H_a příslušných jednotlivým tepeln. vodivostem λ regresními přímkami 4, 5 a 6 je výše vyslovená závislost potvrzena, i když musíme brát v úvahu, že přímkové nahrazení seskupení bodů nevyjadřuje vždy přesně charakter hledané funkce, ale spíše určuje jen její směrnici, či trend průběhu (viz též porovnání přesnosti vyjádření - residuální součty čtverců křivek a přímek).

Oblast vodivostí 0,112 až 0,172 cal/cm.s.°C vytvářející vlivem pole hodnot H_a příslušných λ slin.karbidu G3 u křivek 1 a 2 anomálie, vysvětlujeme již částečně zadáním řešení úlohy pro počítač (viz křivka 3 - varianta ad c).

Křivka 1 je tedy vyjádřením hledané závislosti všech měřených hodnot H_a na tepelné vodivosti λ a je dána rovnicí

$$H_a = 62,11 - 1272,419 \cdot \lambda + 14958,127 \cdot \lambda^2 - 48735,74 \cdot \lambda^3$$

a platí za předpokladu správné extrapolace pro SK-G3 (resp. Incrametu 800) a z toho vyplývajícího rozmístění odpovídajících hodnot H_a nutných pro stanovení průběhu funkce.

Existenci minima seskupení bodů - hodnot H_a pro $\lambda = 0,069$ cal/cm.s. $^{\circ}$ C nemusíme uvažovat, jak vyplývá z průběhu obou dalších závislostí, neboť vedle poměrně malých rozdílů (cca 2 až 3 μ m) absolutních hodnot mezi jednotlivými závislostmi se průběhy křivek v této oblasti neliší.

Připustíme-li tedy, že se relativně největší chyby můžeme dopustit při určování tepelné vodivosti SK-G3 a k ní příslušné poloze hodnot H_a , měla by být závislost - regresní křivka 3 nej přesnějším vyjádřením průběhu závislosti H_a na tepelné vodivosti materiálu, za daných podmínek pokusu a to rovnici:

$$\underline{H_a = 27,322 + 334,678 \cdot \lambda - 7800,416 \cdot \lambda^2 + 52514,46 \cdot \lambda^3}$$

Je velmi nepravděpodobné, že by tato funkce v celém definičním oboru v praxi používaných tepelných vodivostí tedy v našem případě vyšších než 0,112 cal/cm.s. $^{\circ}$ C, resp. 0,172 cal/cm.s. $^{\circ}$ C byla stále stoupající a zejména takto exponenciálně:

Lze ale naopak reálně předpokládat, že po dosažení jisté hodnoty tepelné vodivosti λ se již nebude zvlnění povrchu vlivu na ploše dotyku s formou zvětšovat ani při dalším zvyšování tepelné vodivosti a křivka závislosti H_a na λ nabude charakteru velice blízkému horizontále s osou na níž jsou vyneseny hodnoty λ .

Z hlediska minim závislostí vyjádřených křivkami 1,2 a 3 je patrná shoda minimálního zvlnění H_a v rozmezí tepelných vodivostí 0,05 až 0,06 cal/cm.s. $^{\circ}$ C.

Jde v tomto případě o vysokolegovanou litinu (č.4) - $0,05 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$, nízkoalegované litiny (č.1, 2, 3) - $0,052-0,059 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$ a feritickou litou ocel (č.7) - $0,06 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$ (ČSN 422912 - 20 % Cr).

Protože u litin č. 1, 2 a 3 nebylo dosaženo předpokládaných teoretických tepelných vodivostí odpovídajících strukturám ve srovnání se vzhledem struktur většiny litin tohoto typu (viz teoretické a naměřené hodnoty, porovnáváné s řadou proměřovaných litin tohoto typu ve Státním výzkumném ústavu materiálu a technologie Praha), můžeme za seriosní považovat z pohledu optimalizace materiálu výsledky odpovídající vysokolegované litině č.4 - Niresist a feritické lité oceli č.7 - 422912 a tyto materiály považovat z hlediska tvormy zvlnění na malých výliscích, za daných podmínek tvarování, za nejvýhodnější.

Před dokončením této diskusní části výsledků hodnocení práce by bylo nutné vysvětlit, nebo alespoň vyslovit názor na chování křivek pod tepelnou vodivostí $0,05 \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$, kde opět zvlnění mírně stoupá, i když se vodivost materiálu zmenšuje.

Je to jev, který i když v úzké oblasti vybočuje z podstaty výsledku práce a pro jehož vysvětlení nejsou k dispozici konkrétní podklady.

Je možné se domnívat, že při tak nízkých tepelných vodivostech materiálu formy může mít hraniční vrstva sklovina - kov, neboli její tepelná vodivost převahu nad vlivem vlastností materiálu formy, v tomto případě nad její tepelnou vodivostí.

Pozoruhodné je, že tato změna je nejméně patrná právě u křivky 3 oproštěné od extrémních hodnot H_a dříve popsanych, t.j. u závislosti, u níž předpokládáme, že nejpřesněji vyjadřuje sledovaný jev.

Přímé zkoumání této hraniční vrstvy je velmi obtížné a prakticky klasickými způsoby, které např. mikrosondami ve sklovině přicházející do styku po slisování s kovem či opačně, je značně nepřístupné a nepřesné; hlavně z hlediska eliminování jednotlivých složek této hraniční vrstvy.

Kishigami /17/ provedl analýsy Trieroých pokusů /1/, který stanovil podmínky přestupu tepla ve sklovině a tloušťku vzduchové vrstvy (0,033 mm) na podkladě rozložení teplot a naměřených hodnot viskozit skloviny v přední formě a použitím numerických metod na samočinných počítačích odvodil vztah pro vodivost (tepelnou) vzduchové mezery tohoto rozhraní (viz úvodní teoretická část).

Tepelná vodivost této vzduchové mezery při 400 °C tedy přibližně bude:

$$K_a (\text{č}) = 7,7 \cdot 10^{-5} + 1,15 \cdot 10^{-7} \cdot \text{č}$$

$$K_a (\text{č}) = 7,7 \cdot 10^{-5} + 1,15 \cdot 10^{-7} \cdot 400$$

$$= \underline{0,000123 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}}$$

Giegerich /21/ ve své práci o proudění skla v závislosti na kvalitě povrchu formy uvádí tepelnou vodivost oleje - maziva hodnotou 0,00029 cal/cm.s.°C (0,105 kcal/m.h.°C).

Sečteme-li obě známé tepelné vodivosti, je výsledná vodivost $0,000123 + 0,00029 = 0,000413 \text{ cal/cm.s.}^\circ\text{C}$, což je hodnota o dv_a řády nižší, než hodnota tepelných vodivostí materiálů forem v sledované oblasti.

Hodnoty tepelných vodivostí oxidů sledovaných materiálů, jako další z hlavních složek hraniční vrstvy, nebyly v dostupné literatuře k dispozici ^(vyjma H₂O). Je však známo, že tepelná vodivost je vedle teploty velmi citlivá na porositu, která bývá u oxidů zpravidla větší, než u základního materiálu, a proto lze předpokládat, že ve většině případech bude jejich tepelná vo-

divost menší, než tepel.vod. základního kovu či slitiny.

Jako příklad uvádím tepelné vodivosti oxidů Ni při dvou porositách NiO v závislosti na teplotě /34/:

Teplota °C	Tepelná vodivost oxidů - cal/cm.s.°C	
	NiO - 0 % porosity	NiO - 25,7 % porosity
20	0,034	0,024
100	0,030	0,022
200	0,024	0,017
300	0,020	0,015
400	0,017	0,013

Dále mohou být oxidy prodifundovány sloučeninami skla, nejčastěji křemičitany (tepelná vodivost např. disilicidu Cr - CrSi_2 /51,9 vah. %, je při 20 °C 0,015 cal/cm.s.°C /23/).

Velmi častou povrchovou složkou komplexního oxidu např. litinových forem je po jejich použití grafit jako produkt rozpadu Fe_3C . Jeho tepelná vodivost při 20 °C je 0,037 cal/cm.s.°C (pro srovnání ferit - 0,174, perlit 0,124, cementit 0,017 cal/cm.s.°C)/24/ a v závislosti na růstu teploty klesá /23/ str. 79.

Shrnuto s předchozími numerickými údaji vztaženými k danému problému, se ze současného stupně poznatků v této úvaze použitých, nepotvrzuje původní předpoklad zvýšení vlivu této hraniční vrstvy z hlediska tepelné vodivosti ve zkoumané oblasti, t.j. pod vodivostí materiálů 0,05 cal/cm.s.°C. Tento problém zůstává tedy pro řešení dále otevřen.

5. Závěr. =====

V úvodu práce byl formulován cíl, jehož náplní bylo sledování vlivu kovového materiálu (jeho tepelné vodivosti) na stupeň tvorby zvlnění malých výlisků z křišťálového skla. Z výsledků získaných měření a zpracovaných na samočinném číslicovém počítači Minsk 22 byly získány hledané charakteristiky závislosti zvlnění na tepelné vodivosti materiálu formy.

Přestože jsou především v mezních hodnotách tepelných vodivostí dosud jevy, jejichž vliv na zvlnění povrchu výlisků nebylo možné přesně popsat či zdůvodnit (vyjasnit a vymezit úlohu hraniční vrstvy sklovina - kov, chování nehomogeních kovů jako např. slin.karbidů apod.), lze pro oblast tepelných vodivostí kovů a slitin, vyskytujících se v praxi nejčastěji konstatovat, že čím je tepelná vodivost materiálu formy vyšší, tím roste zvlnění povrchu malých výlisků (lisovaných z dávek).

Tento závěr je vyjádřen funkcí (polynomem) třetího stupně a příslušné vztahy jsou již uvedeny v diskusi výsledků hodnocení kap. 4.3.

Praktický význam z toho vyplývající tedy je, že pro malé výlisky lisované z dávek a křišťálového skla, je z hlediska kvality povrchu - zvlnění, optimální výběr materiálů s nízkou tepelnou vodivostí, t.j. s ohledem na vypočtené grafické závislosti, materiály typu Niresist (vysokolegovaná litina - 15 % Ni, 6 % Cu, 2,5 % Cr), feritická litá Cr ocel ČSN 422912 (20 % Cr), případně austenitická ocel ČSN 17255 (AKC).

Konkrétní porovnání kvalit povrchů výlisků tvarovaných ve formách z materiálu o vysoké a nízké tepelné vodivosti je jako příklad patrné z profilogramů a fotografií příslušných povrchů v příloze 11.

Je přirozené, že nebylo možné očekávat od optimalizace jednoho parametru lisování, t.j. tepelné vodivosti materiálu formy pro malý, relativně tenký výlisek vyřešení celého problému kvality povrchu výlisků tak, aby byl zbaven veškerých nerovností - zvlnění a z toho možných dalších deformací.

Má práce je tedy jenom příspěvkem řešícím jeden faktor, který ovlivňuje kvalitu povrchu výlisků a je nezbytně nutné vyčerpat v dalším výzkumu dosud známé ostatní hlavní vlivy ovlivňující mechanismus tvarování malých výlisků, které jsou v předchozích kapitolách uvedeny.

Stojí např. za zmínku nastínění možnosti dalšího obecného řešení v samotné formě nejen z hlediska vlivu materiálu z něhož je vyrobena, což bylo prokázáno, ale samotné konstrukci formy (přechod od tradičních tvarů, rozpracování teorie dutin, umělé ovládání teplotního režimu formy apod.), což ovlivňuje především při tvarování malých výlisků mechanismy sdílení tepla a s tím související procesy.

Poměrně překvapujícím poznatkem práce je menší vliv lisovacího tlaku, než jak bývá všeobecně tento parametr tvarování považován. Dokazuje to skutečnost, že i tak poměrně vysoký tlak lisování jako je 221,2 kp neovlivní oblast zvlnění povrchu výlisků (porovnáním šířky kapky před lisováním a následného zvlnění u výlisků, t.j. po lisování), která je koncentrována v místě prvotního dotyku dávky skloviny s povrchem formy.

Na závěr je nutné připomenout skutečnost, pro odborníky zná-
mou, že totiž právě v oblasti tvarování malých výlisků nejsou literární prameny téměř vůbec žádné ve srovnání s tvarováním obalového skla, kde jsou teoretické poznatky i konkrétní výsledky nepoměrně bohatší a které proto sloužily jako hlavní a jediný podkladový materiál při řešení daného ú-

kelu obsaženého v práci.

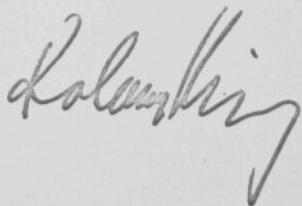
Chtěl bych tím částečně vysvětlit možné omyly a nesprávné dedukce z tohoto faktu vyplývající.

Za odborné a metodické vedení během vlastního studia, vypracování této práce a příslušné korektury, děkuji především svým oběma školitelům Prof.Dr.Ing.F.Kotšmídovi a Prof.Ing.J. Ditlovi CSc. z VŠST - Fakulty strojní v Liberci a svému pracovišti n.p. Severočeské sklárny Nový Bor za umožnění tohoto studia, s tím spojené pracovní úlevy a to konkrétně s.řed. Vl.Dvořákovi a technic.nám. s.Ant.Rudolfovi.

Za externí spolupráci při zpracování experimentální části práce děkuji s.Ing.M.Roubalovi CSc. ze Státního výzkumného ústavu materiálů a technologie Praha, s.Ing.J.Koudelkovi z VÚSABu Jablonec nad Nisou, s.R.Niesigovi, Ing.J.Noskovi, Ing.J.Štefanovi, Ing.V.Klebsovi a Ing.J.Sixtovi z Katedry sklářství a keramiky VŠST v Liberci, Ing.Vaňkovi z Výzkumného ústavu hutnictví železa Praha, Ing.J.Novákovi z Katedry obráběcích strojů a dílenského měření VŠST v Liberci.

Z okruhu svých nejbližších spolupracovníků děkuji za účinnou pomoc a pochopení s.M.Pavlasové, Ing.J.Billové, s.K. Pittauerovi a s.M.Kurfirstovi.

V této souvislosti též prohlašuji, že k veškerým výsledkům této práce jsem došel samostatně za použití uvedené literatury a ve spolupráci s pomocnými pracovišti.



Severočeské sklárny n.p.

Nový Bor, dne 12.1.1972

Seznam použité literatury.

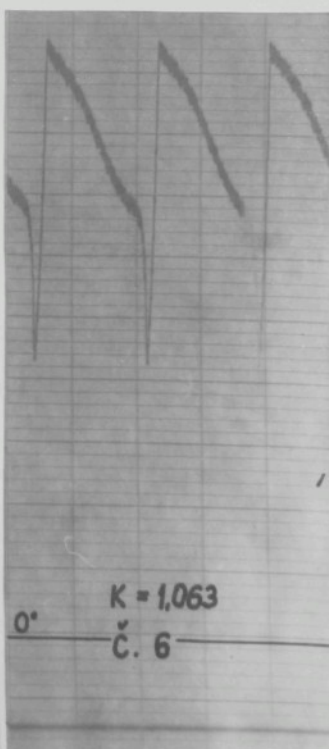
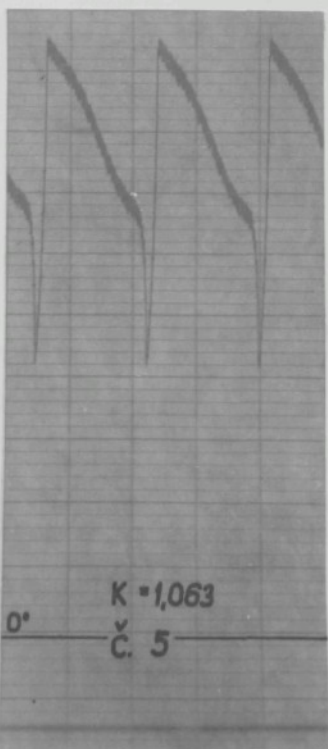
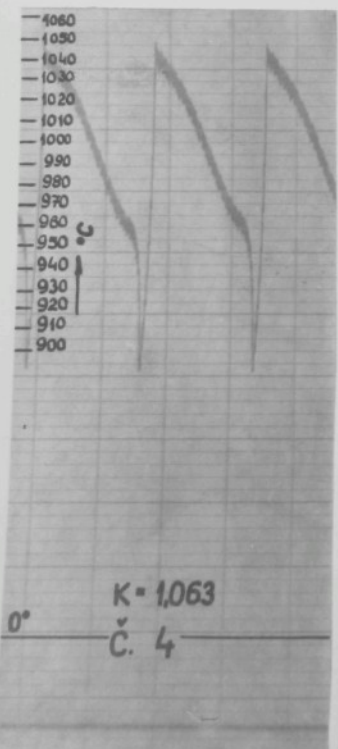
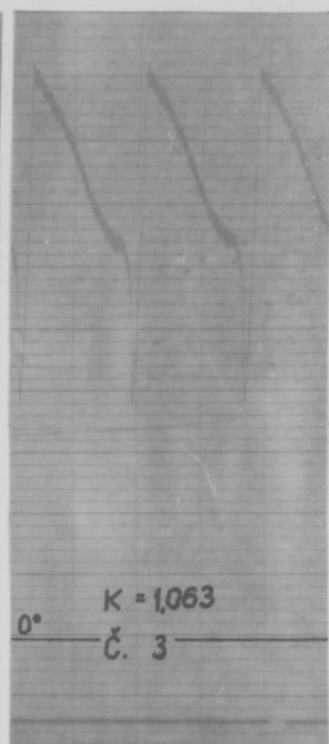
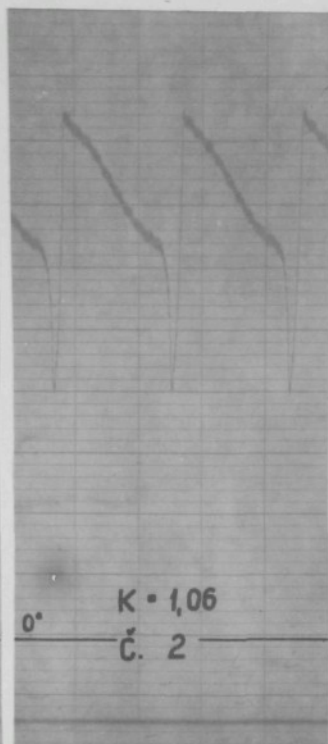
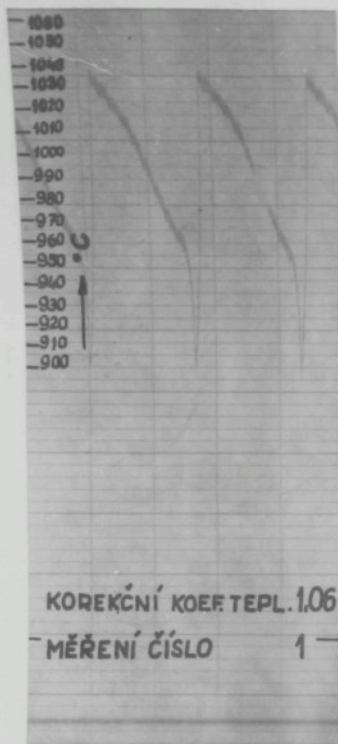
- /1/ Trier W. - Temperature Distribution and Heat Flow in Glass in Blanc Molds of Container Machines (Journal of The American Ceramic Society roč.44/7, str. 339-345)
- /2/ Frank W.R.B. - The Mechanical Behaviour of Glass during Forming Operations (IV^e Congres International du Verre)
- /3/ Horák, Krupka, Šindelář - Technická fyzika, str. 393
- /4/ Smrček A. - Zákonitosti přestupu tepla při tvarování skloviny I.část (Sklář a keramik roč.VIII/1968 - str. 40-43)
- /5/ Poole J.P. - Glass Industry 3/1967, III., str. 129 - 136, Zpracovatelnost skla.
- /6/ Grundman W. - Schot Mainz - Glastechnische Berichte 39/8, str.370-375 (Einflüsse auf die Bildung der "Fließwellen" bei Pressgläsern)
- /7/ Smrček A. - Materiál pro sklářské formy - zpráva z roku 1964 (Sklo Union Teplice)
- /8/ Giršovič N.G. - Šedá litina I. /SNTL 1955)
- /9/ Roll - Glastechnische Berichte č.11, str. 427-428
- /10/ Piwowarski E. - Hochwertiges Gusseisen Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg - 1958
- /11/ Kirsch R. - Nové poznatky o použití kovových materiálů ve sklářství (VŠST Liberec - odb. písemná práce r. 1970)

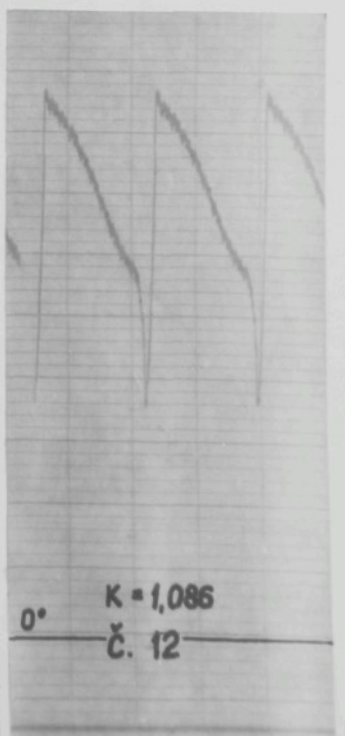
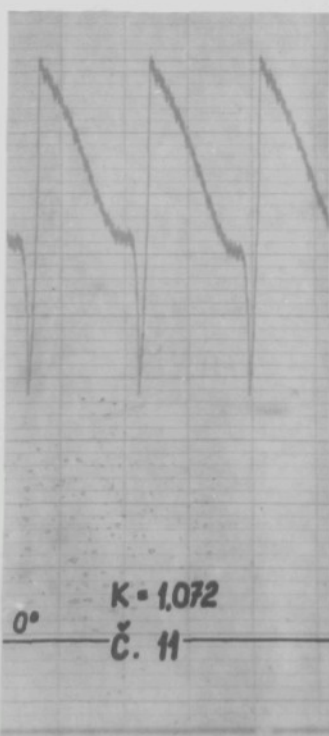
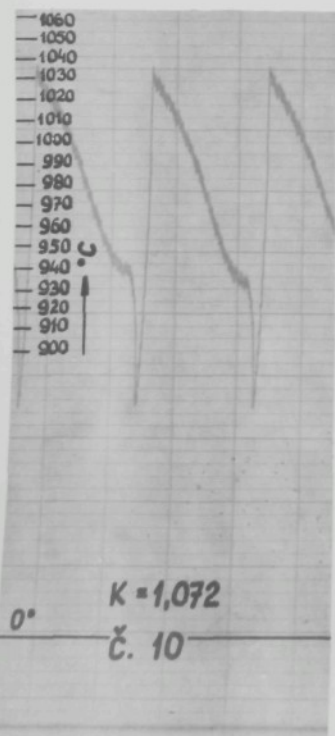
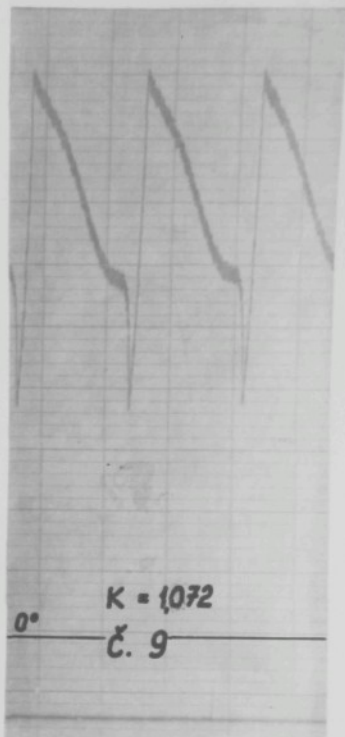
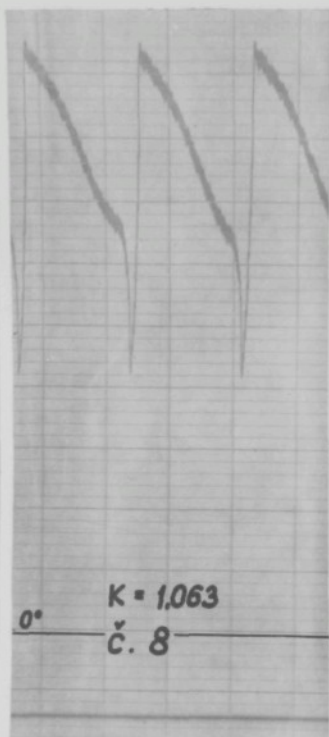
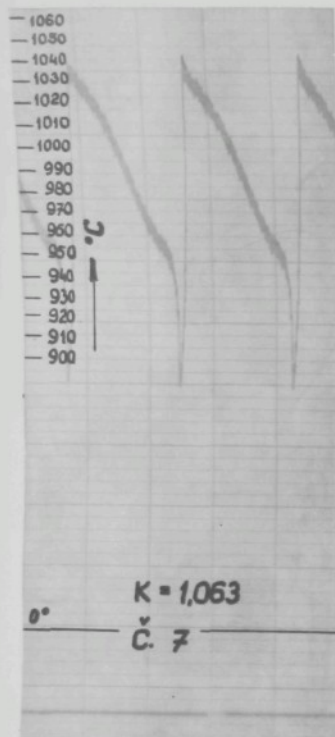
- /12/ Babcock, Mc Graw - Application of Glass Properties Data to Forming Operations Temperature Distribution in Glass and Mold During Forming (Přednáška ze IV. kongresu v Paříži 1956 - překlad TEI Sklo Union Teplice)
- /13/ Lawson T.J. - Glass moulding for industry (1963, XII. Glass Technology č.6, str.91)
- /14/ Aleksejenko M.P. - Zposob presovanija optičeskich zagotovok, pat. SSSR - 118.596
- /15/ Trier W. - Předávání tepla sklem v předformě (Glastechnische Berichte 1963/7 - přednáška z 27.10.1962, Frankfurt n.M.)
- /16/ Coenen M. - Měření a propočty časového průběhu teplot na rozhraní mezi kovem a utavenou sklovinou (IV. mezinárodní kongres o skle 1962, str. 93-102)
- /17/ Kishigami H. - Příspěvek k otázce tloušťky vzduchové vrstvy mezi sklovinou a formou (Yōgyō Kyōkai Shi 77, str. 287-293, 1969 - Journal of the Ceramic Association of Japan)
- /18/ Bělogorodová T.I. - Těrmíčeskije asnovy formovanija stěkla, 1959, Moskva
- /19/ Merchant D.H. - Vliv drsnosti kovu na povrchovou kvalitu skla (1963, American Ceramic Society Bull. 42, č.2, str. 57-64)
- /20/ Jebesen H. Marwedel - Beschaffenheit der Oberfläche von marktfähigen Gläsern verschiedener Herstellung (Fachausschussbericht Nr.44 der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft - 1938, str. 1-8)

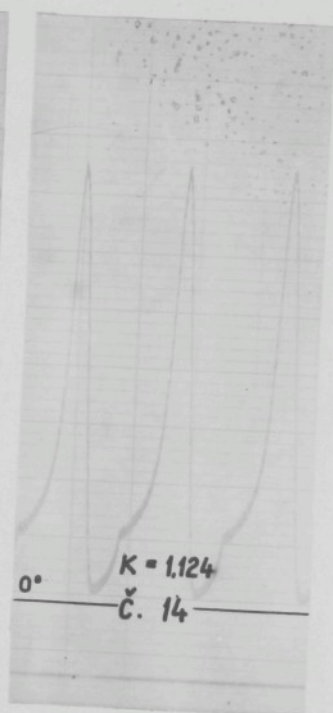
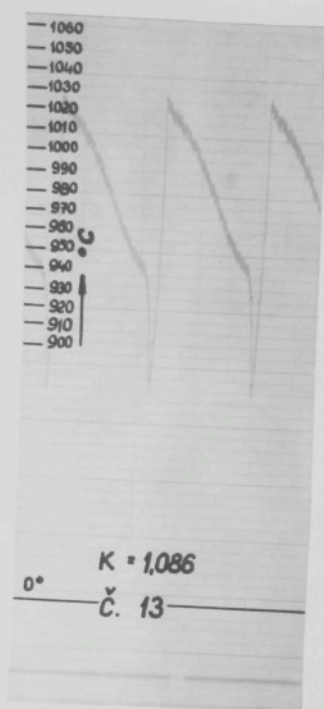
- /21/ Giegerich W. - Die Oberfläche der Formenwand und ihr Einfluss auf die Strömung des Glases (Glastechnische Berichte 26/1953, č.11, str. 333-341).
- /22/ Schmid W. - Modeltechnische Untersuchung des Fliessvorganges in Flaschen - Vorformen mit besonderer Berücksichtigung der Speiserwellenentstehung (Glastechnische Berichte 43/1970, č.11, str. 443-449)
- /23/ Čech B.a kol. - Vysokoteplotní materiály (SNTL 1966, str.104)
- /24/ Giršovič N.G. - Šedá litina I., str. 326 (SNTL 1955)
- /25/ Stát.výzk.ústav - Měření fyzikálních vlastností dodaných mater.a technol. materiálů pro výrobu sklářských forem Praha (1971 - protokol)
- /26/ Výzk.ústav - Chemický rozbor dodaných materiálů pro hutnictví železa výrobu sklářských forem (1971 - protokol) Praha
- /27/ Trnka - Uxa - Materiály a nářadí k tvarování skla, str. 22 (SNTL 1967)
- /28/ Kirsch R. - Měření teploty skloviny ve výtokové misce feedrů van č. 1,2,4 (zpráva SČS n.p. Nový Bor - říjen 1970)
- /29/ Koudelka J. - Technologické podklady a zpráva o radiačním pyrometru pro dynamické měření teploty (zpráva VÚSAB Jablonec n/N)
- /30/ Vojta M. - Měření lisovací síly na automatickém sklářském lisu (dipl.práce - VŠST Liberec, r. 1969)
- /31/ Trier W. - Temperaturmessungen in Glasformen (Glastechnische Berichte, r.28/9, str. 336-351)

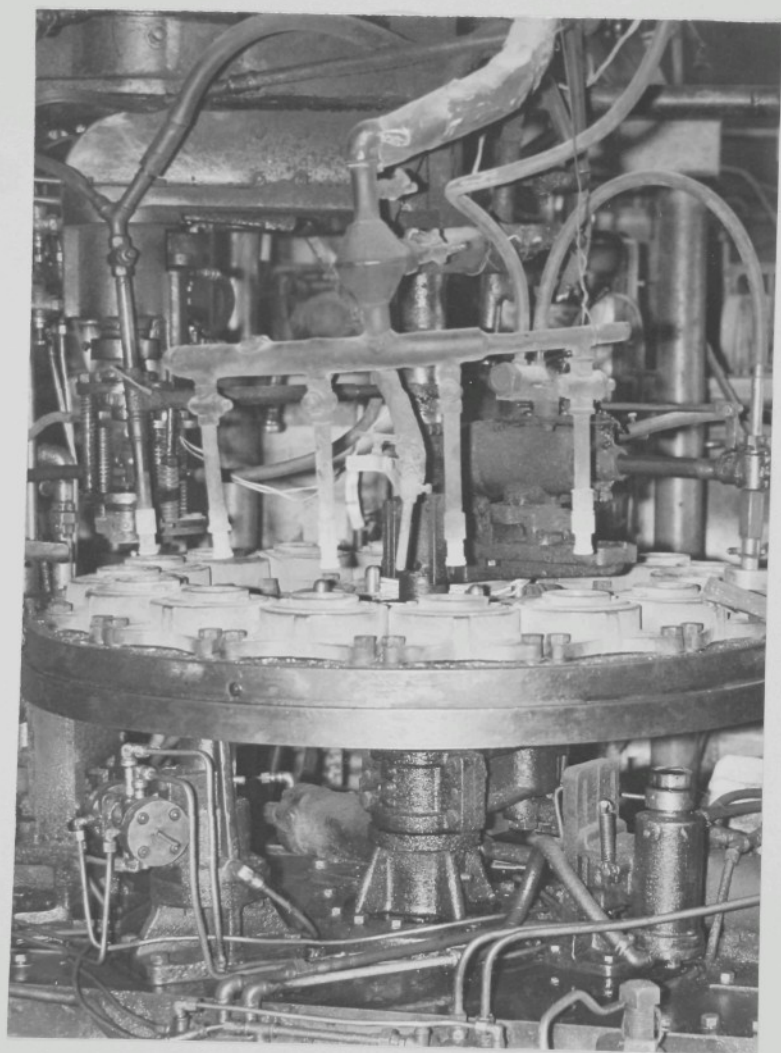
- /32/ Koudelka J. a kol.- Teoretické základy tvarování skla
(závěr.zpráva VÚSAB Jabl.n/N, 1971)
- /33/ Schill - Měření fyzikálních vlastností brý-
lového křišťálu (protokol SVÚS -
říjen 1970)
- /34/ (Norton F.H.
Kingery W.D.) - Handbook of Thermophysical Properties
of Solid Materials (Pergamon Press
1963)
/orig.práce - F.H.Norton, W.D.Kinge-
ry, U.S. AEC Publ. NYO - 6445. Contr.
AT (30-1) - 960/

PŘÍL. 4

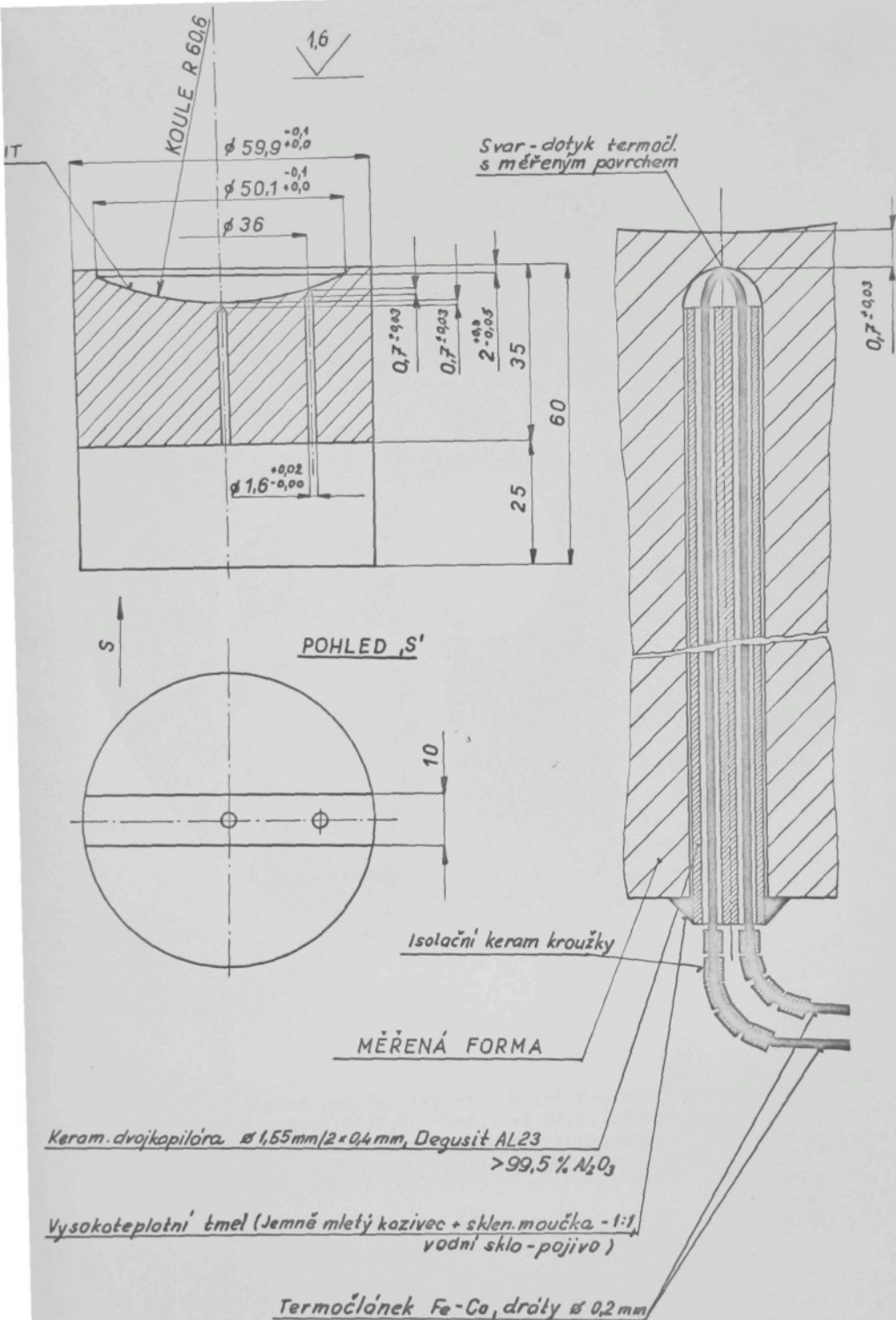


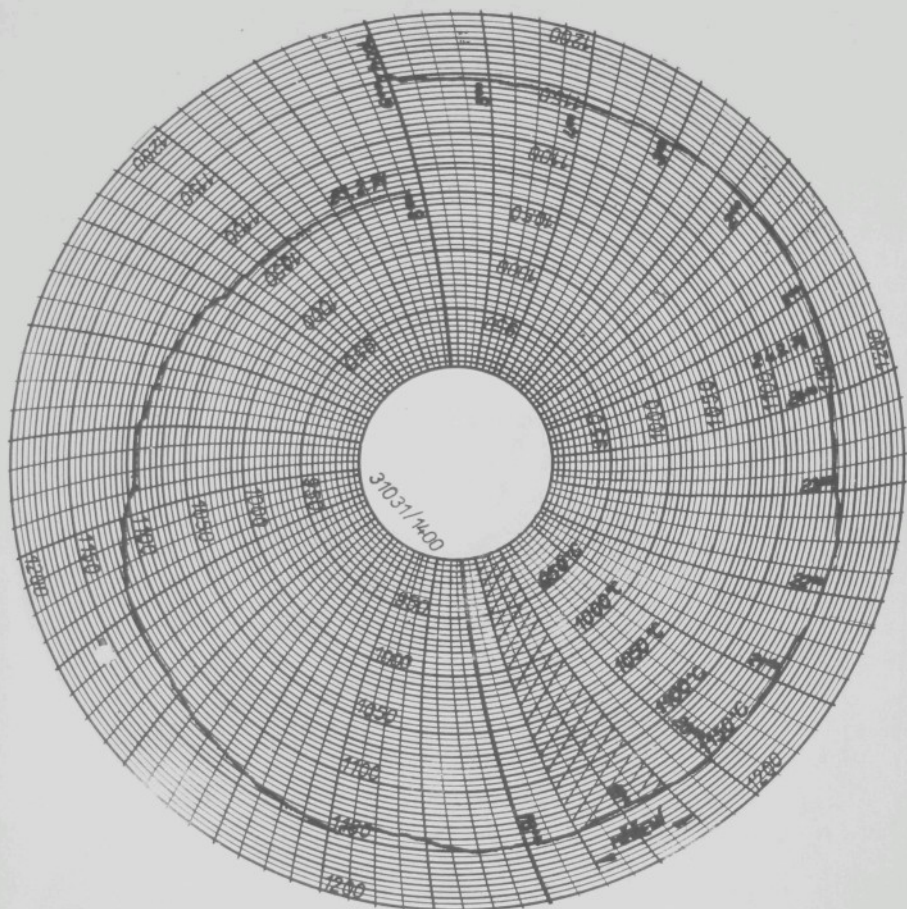




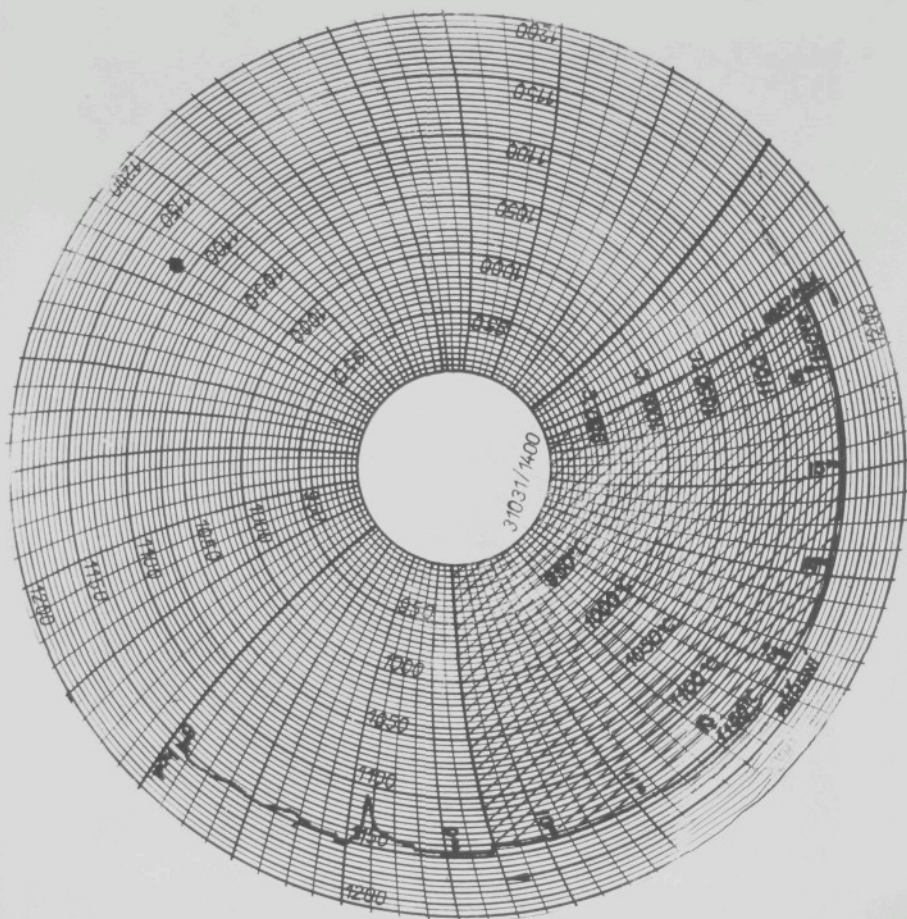


PŘÍL. 1

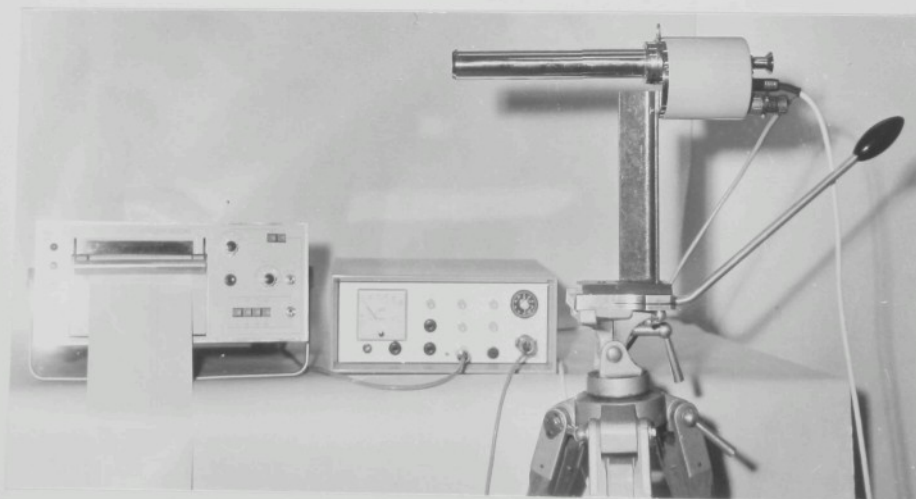




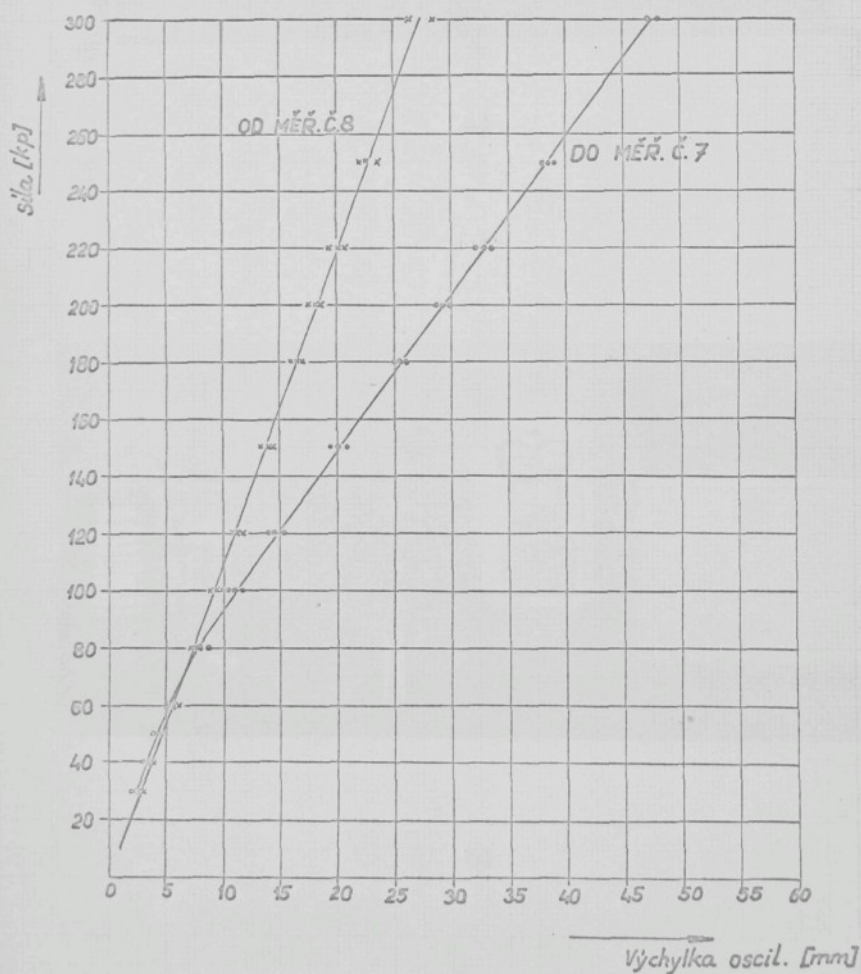
Záznam průběhu teplot v hlavě feedru vany č.1
v období 23.2.(6⁰⁰hod.) až 24.2.(6⁰⁰hod.)-(Lini-
ový elektronkový zapisovač "Honeywell ")

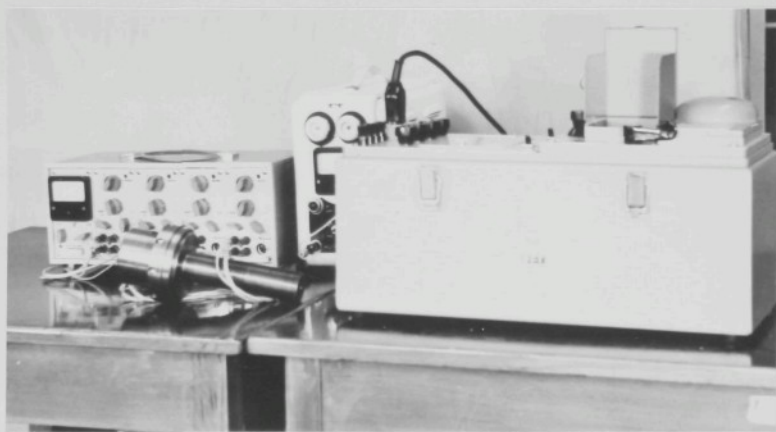


Záznam průběhu teplot v hlavě feedru vany č.1,
dne 24.2. od 6⁰⁰hod.do 16⁴⁷hod.(Liniový elek-
tronkový zapisovač " Honeywell ")

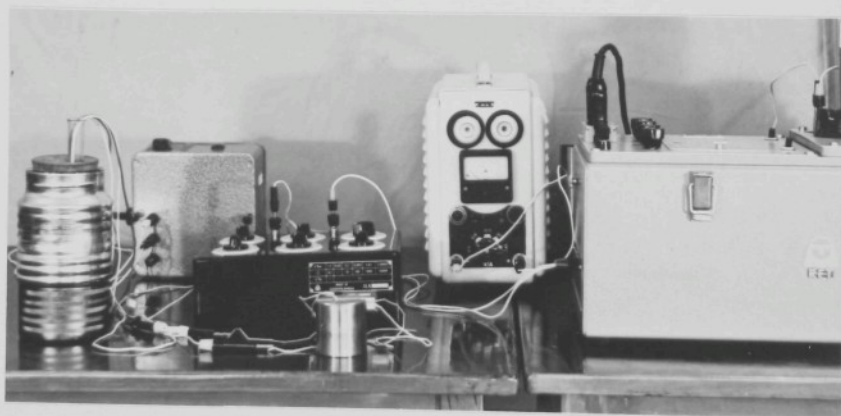


CEJCHOVNÍ KŘIVKA TENSOMETRICKÉHO ČIDLA
PRO MĚŘENÍ LISOVACÍHO TLAKU

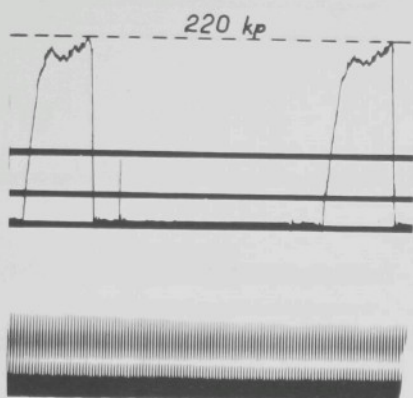




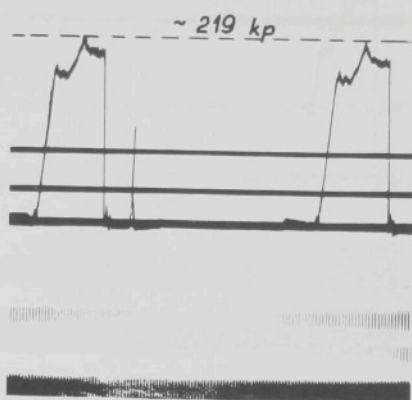
a)



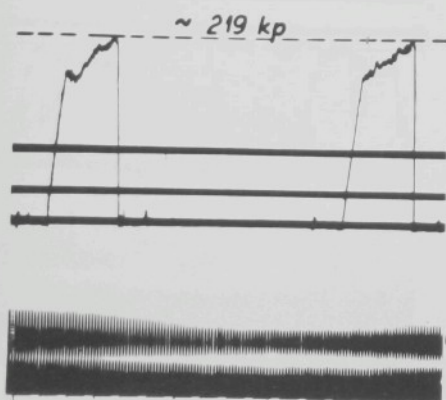
b)



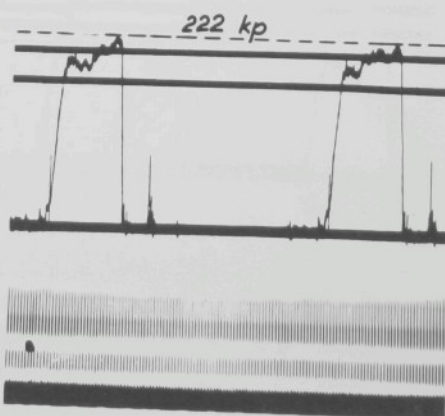
MĚŘENÍ (MATERIÁL) Č. 2



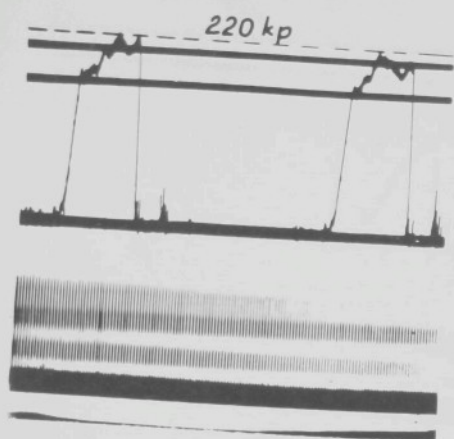
Č. 3



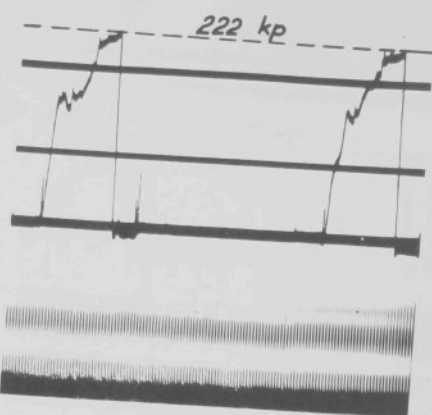
Č. 4



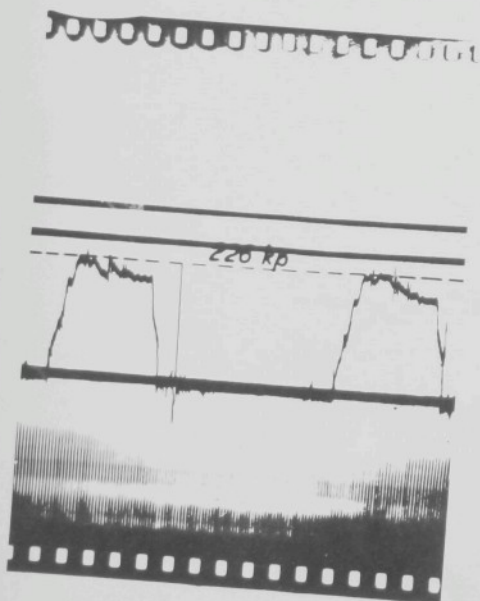
Č. 5



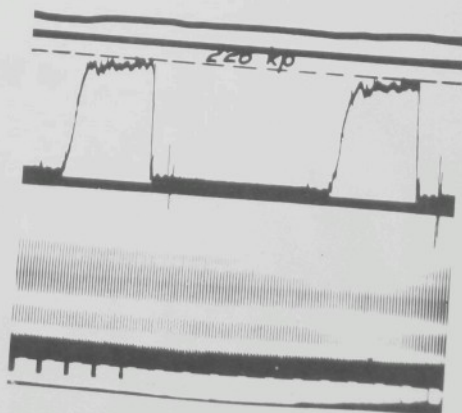
č. 6



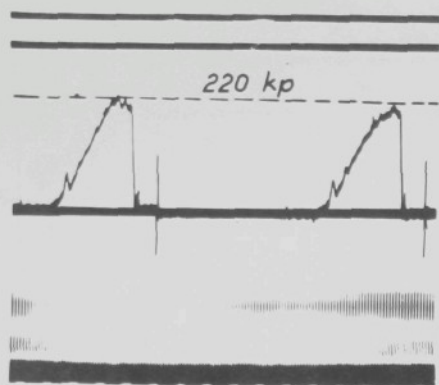
č. 7



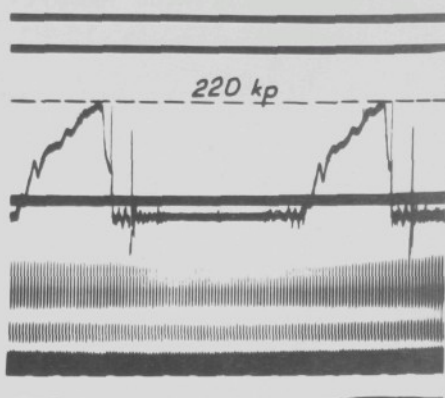
č. 10



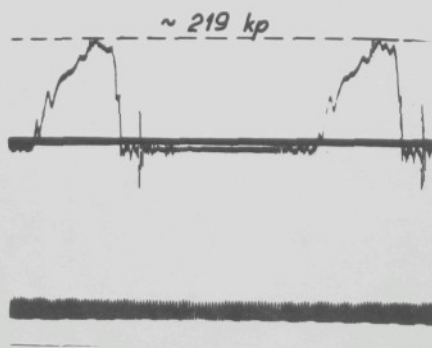
č. 11



č. 12

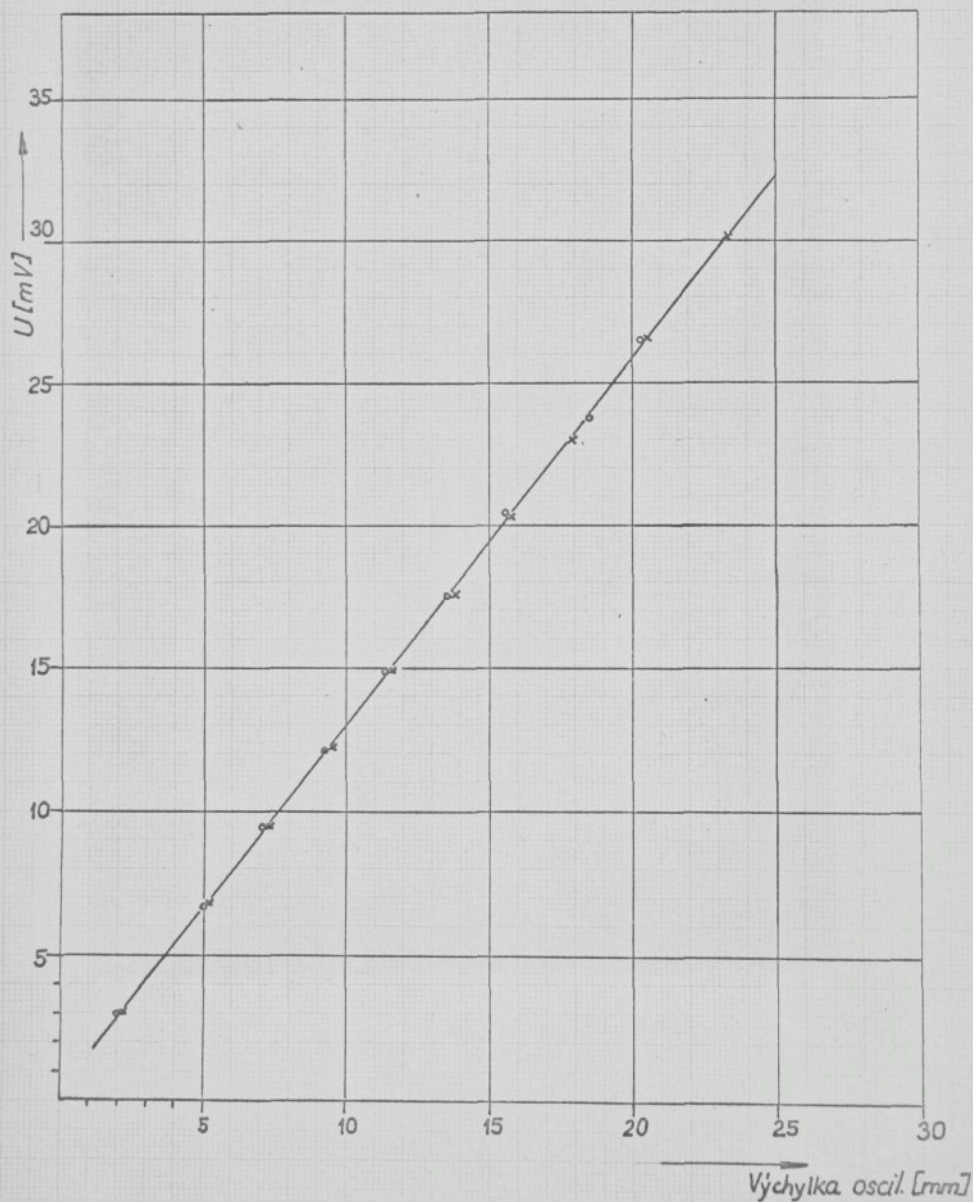


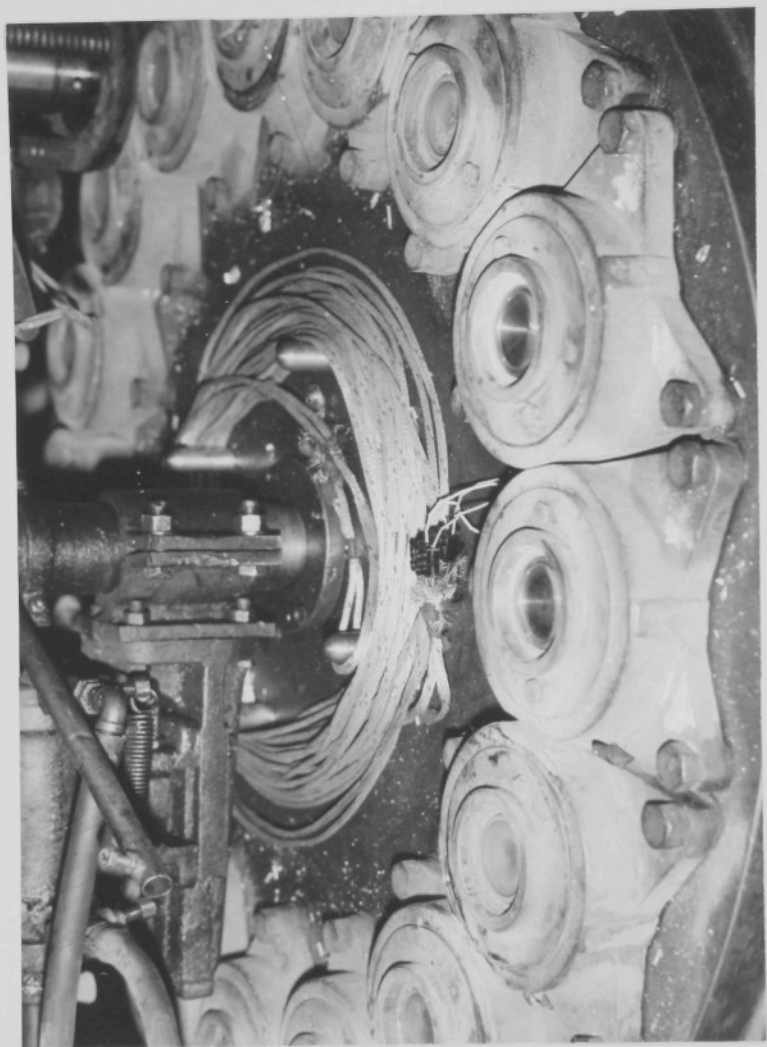
č. 13



č. 14

CEJCHOVNÍ KŘIVKA SMYČKA MST 5 OSCILOGRAFU
3SD 101 [$R_p = 150 \Omega$, Z_{21} - ROZSAH $60 mV$] PRO MĚ-
ŘENÍ TEPLOT FORMY.





ПРІЛ. 10

PRIL. 11

