

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Identifikace 5.7.73

hal

1972 - 73

Helena Pechová

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: techn. a nauky o materiálu

Fakulta: strojní

Školní rok: 1972/73

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Helenu P e c h o v o u

odbor strojírenská technologie

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

Název tématu: Studium prodyšnosti keramických skořepin.

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznánete se s publikovanými způsoby měření prodyšnosti keramických skořepinových forem za vyšších teplot, především se způsoby vypracovanými na ÚFSM KTM.
- 2) Na stávajícím zařízení proměření prodyšnosti za vyšších teplot navrhnete úpravy, potřebné z hlediska dokonalého utěsnění zkušebních vzorků.
- 3) Připravte si vzorky keramických skořepin (např. křemenné s některými proměnnými technologickými činiteli, dále zirkonové, melochitové apod.) a proveďte u nich měření prodyšnosti do teplot 1000 - 1100°C; výsledky zpracujte tabelárně i graficky.
- 4) U zkoušených vzorků stanovte vztah mezi prodyšností za vysokých teplot a při teplotě normální.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro učební
zpracování č. 13/727/62-III/2 ze dne
13. července 1962 a směrnicí MŠK III. sešit 24 ze dne
31. 8. 1962 § 15 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I, STUDENTSKÁ 5

V 141/1973 S

Rozsah grafických laboratorních prací:

experimentální výsledky zpracujte do
tabulek a grafů

Rozsah průvodní zprávy:

30 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

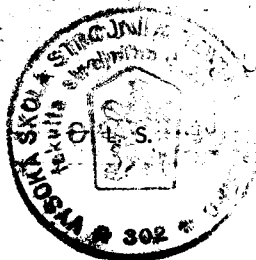
- 1) Dešková: Přesné lití do keramických forem
- 2) Horák: Technická fyzika
- 3) Kejzlar: Diplomová práce VŠST 1961
- 4) Štrobach: Diplomová práce VŠST 1972

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Bohumil Odstrčil

Konzultanti: Ing. Vladimír Kousal

Datum zahájení diplomové práce: 16. 10. 1972

Datum odevzdání diplomové práce: 6. 7. 1973



Chaloupek
Doc. Ing. V. Chaloupecký CSc.
vedoucí katedry

Kotšmíd
Prof. Ing. Dr. techn. F. Kotšmíd
děkan

v Liberci

dne 12. 10.

1972

Výtah z diplomové práce

1. Rámcové zadání : Prodyšnost keramických skořepin
2. Jméno diplomanta : Helena Pechová
3. Vedoucí DP : Prof. Ing. Bohumil Odstrčil
4. Stručný výtah z DP : Diplomová práce se zabývá studiem problematiky prodyšnosti keramických skořepinových forem za vyšších teplot. Úkolem této práce bylo pokusit se zdokonalit metodiku měření prodyšnosti za vyšších teplot ve smyslu přesnosti měření. Dále pak proměřit vzorky skořepinových forem používaných pro výrobu přesných odlitků v různých slévárnách přesného lití v ČSSR a pokusit se stanovit vztah mezi hodnotami prodyšnosti naměřených za normálních teplot a teplot zvýšených.

Je možno konstatovat, že celou řadou měření byla použitá metodika měření prodyšnosti za vyšších teplot dostatečně ověřena. Byly získány hodnoty prodyšnosti provozně vyráběných skořepinových forem ze 4 sléváren přesného lití. Z provedených měření vyplynul empirický vztah pro hodnotu prodyšnosti skořepin v rozmezí teplot, při nichž je do skořepin odléváno:

$$P_{800^{\circ}-950^{\circ}} = k \cdot P_{20^{\circ}} / n_{jp} /,$$

kde hodnota k se pro dané vzorky pohybuje v rozmezí 0,9 - 1,3.

Z tohoto vztahu můžeme při známém k a známé prodyšnosti za normálních teplot $/P_{20^{\circ}}/$ stanovit prodyšnost za teplot, při nichž se do skořepin odlévá, aniž bychom museli provádět experimentálně obtížné měření, které je v běžných provozních podmínkách těžko proveditelné.

5. Místo vypracování a obhajoby DP: KTM VŠST Liberec

VŠST Liberec	- 1 -	K T M	
Fakulta strojní		DP-ST	1037/73

O B S A H

	List
1.0. Úvod	3
1.1. Význam přesného lití	3
1.2. Metody přesného lití	4
1.2.1. Lití do sádrových forem	4
1.2.2. Skořepinové lití	4
1.2.3. Tlakové lití	5
1.2.4. Lití do keramických forem výrobných pomocí vytavitelného modelu	5
1.2.5. Lití do keramických forem výrobných pomocí trvalého modelu	5
1.2.6. Lití vyššími měrnými tlaky	6
1.3. Prodyšnost slévárenských forem a její význam	6
1.3.1. Vyjádření prodyšnosti	7
1.4. Měření prodyšnosti za normálních teplot	7
2.0. Prodyšnost keramických skořepin za vyšších teplot	8
2.1. Způsoby měření prodyšnosti za vyšších teplot	9
3.0. Měření prodyšnosti keramických skořepinových forem za vyšších teplot vypracovaných na KTM	11
3.1. Metoda použitá v diplomové práci s.Kejzlara r.1961	11
3.2. Metoda použitá v diplomové práci s.Štrobacha r.1972	12
3.3. Zhodnocení metod 3.1. a 3.2.	13
3.4. Stávající metoda na měření prodyšnosti za vyšších teplot	13
3.4.1. Popis měřícího zařízení	14
3.4.2. Funkce a provedení měřícího čidla	17
3.4.3. Ověřovací zkoušky zařízení	18
3.5. Postup měření	21
3.5.1. Příprava měřícího čidla	21
3.5.2. Podmínky pro výpočet prodyšnosti za vyšších teplot	22

	List
4.0. Experimentální ověření vlivu teploty na prodyšnost keramických skořepin	23
4.1. Výroba vzorků	24
4.1.1. Postup výroby vzorků	26
4.2. Přehled naměřených hodnot	30
4.2.1. Vzorky typu A - žíhané	30
4.2.2. Vzorky typu B - žíhané	33
4.2.3. Vzorky typu C - žíhané	36
4.2.4. Vzorky typu D - žíhané	39
4.2.5. Vzorky typu A - nežíhané	41
4.3. Diskuse naměřených hodnot	43
4.3.1. Vzorky typu A,C,D - žíhané ..	43
4.3.2. Vzorky typu B - žíhané	44
4.3.3. Vzorky typu A - nežíhané	45
5.0. Chyby měření a výpočtu	46
6.0. Závěr a zhodnocení	47
7.0. Seznam použité literatury	48
8.0. Seznam příloh	49

1.0. Ú V O D

1.1. Význam a účel přesného lití

Zpracovávání kovů litím bylo známo již před mnoha sty lety, jak dokazují četné archeologické nálezy odlitků uměleckých předmětů. Tehdy se odlévaly slitiny mědi i zlato. Železo se zpracovávalo pouze tvářením za tepla, neboť nebyly vhodné pece, ve kterých by se dosahovalo potřebných teplot k roztavení. První ocelové odlitky byly vyrobeny teprve v minulém století, což dokazuje, že lití oceli do pískových forem patří k moderním odvětvím techniky [2]

V poslední době dochází k všeobecnému pokroku ve slévárenské výrobě. Značné používání odlitků v četných průmyslových odvětvích se stále stoupajícími požadavky na jakost jejich povrchu a rozměrovou přesnost nutí slévače k hledání nových ještě ekonomičtějších způsobů výroby. Protože ocelové odlitky mají velmi hrubý povrch, nelze při běžném způsobu lití dosáhnout reprodukce detailů součástí. Proto se ocel používala jen na větší odlitky s velkými přídávky na obrábění. Drobné a složité součásti se zhotovovaly pouze třískovým obráběním. Tento způsob výroby je však nákladný a málo produktivní. Pro zajištění vyšší produktivity práce a ve snaze snížit náklady spojené s výrobou je nutno používat takových způsobů výroby, aby se obrábění odlitků v co nejvyšší míře snížilo nebo úplně odstranilo. Těmto požadavkům odpovídají metody přesného lití. Velmi důležitý je poznatek, že při přesném lití je dosahovaná přesnost vysoká, při čemž jakost a vzhled povrchu je velmi dobrý. Tato pokroková slévárenská technologie může přinést značné ekonomické výhody zejména tam, kde je třeba veliký počet tvarově složitých odlitků.

VŠST Liberec	- 4 -	K T M	
Fakulta strojní		DP-ST	1037/73

K těmto novodobým způsobům výroby odlitků patří vstřikování snadno tavitelných slitin do ocelových forem za zvýšeného či sníženého tlaku, lití hliníkových slitin do kovových forem nebo forem sádrových. Dále lití všech druhů slitin do pískových forem s fenolovou pryskyřicí a do keramických forem, vyrobených za použití trvalého či vytavitelného modelu. Použití těchto metod je omezeno velikostí odlitku. Moderními způsoby lití se dají odlévat i součásti, které se nedaly dosud běžným způsobem vyrábět.

1.2. Metody přesného lití

1.2.1. Lití do sádrových forem

Tento způsob je vhodný pro neželezné kovy, zejména pro hliník a jeho slitiny, nebo pro mosaz /slitiny s nižší tavicí teplotou/. Sádrová směs smíchaná s určitým množstvím vody se odlévá na modelní zařízení, kde se ponechá tuhnout cca půl hodiny. Po ztuhnutí je modelní zařízení vyjmuté a následuje tepelné zpracování forem. To se skládá ze sušení na 200°C a ze žíhání při 400°C. Lití se provádí do forem, majících teplotu asi 100°C. Získáme hladký odlitek, jehož tolerance na délce 50 mm činí $\pm 0,1 - \pm 0,3$ mm.

1.2.2. Skořepinové lití /způsob "C"/ [2]

Při tomto způsobu se pracuje s křemennými písky, spojenými fenolovou pryskyřicí. Je vhodný pro všechny kovy a jejich slitiny do váhy, jež závisí na pevnosti forem. Odlévá se převážně gravitačně. Způsob je výhodný hlavně při výrobě jednodušších odlitků, dělených podle roviny. Lze vyrobit odlitky s čistým a hladkým povrchem s přesností $\pm 0,1 - \pm 0,3$ mm na 50mm délky hrany.

1.2.3. Tlakové lití [2]

Při této metodě se musí používat ocelových forem. Ty se rychle opotřebovávají a protože jsou tepelně namáhány, vyrábí se ze slitinových ocelí. Formy mají omezenou životnost. Proto se pro tento způsob lití hodí slitiny mědi, lehké slitiny a slitiny zinku a olova /s nízkým bodem tání/. Přesnost je větší než v předchozích popsanych metodách. Ta je $\pm 0,05 - \pm 0,2$ mm na 50 mm délky.

1.2.4. Lití do keramických forem vyrobených pomocí vytavitelného modelu [1]

Tato metoda je ze všech způsobů přesného lití nejuniversálnější. Umožňuje odlévat téměř všechny kovy a slitiny a to i nejkomplicovanějších tvarů. Poněvadž výroba forem zhotovených pomocí vytavitelného modelu je dosti nákladná, je tento způsob výhodný při velkosériové výrobě. Přesnost součástí je ve srovnání s předchozími metodami větší, je však omezena rozměry odlévané součásti a druhem použité slitiny. U větších rozměrů přesnost klesá, zůstává však dokonalá hladkost povrchu. Formy se odlévají sklopně, odstředivě, převážně však gravitačně.

1.2.5. Lití do keramických forem vyrobených pomocí trvalého modelu [1]

Jde o doplnění metody uvedené v oddělení 1.2.4.. Lze odlévat všechny kovy a slitiny do dělených keramických forem za předpokladu, že jsou zhotoveny z takových keramických hmot, které jsou pro danou slitinu dostatečně žáruvzdorné. Postupně se jednotlivé části trvalého modelu /který je ocelový a kalený/ zalijí kašovitou směsí. Po ztuhnutí vzniknou části formy, které se po sejmutí z modelu vypálí a po vychladnutí složí. Lze odlévat gravitačně, sklopně i odstředivě.

1.2.6. Lití vyššími měrnými tlaky [9]

Při této metodě se pracuje s tlaky cca od 6 kp/cm^2 až nad 100 kp/cm^2 . Velikost lisovacího tlaku se stanoví podle tvaru a velikosti formy. Závisí též na složení používané směsi, tzv. polo-suché. Ta je však drobnější a musí proto obsahovat vhodné přísady, které zpevňují líc formy během lití. Účelné je obdržet pevnější formu ještě při dostatečné prodyšnosti. Tato metoda se používá hlavně při lití odlitků ze šedé litiny. Dosahuje se velké hladkosti a rozměrové přesnosti odlitku.

V předchozích kapitolách jsem uvedla nejznámější metody přesného lití. Každý z uvedených způsobů lití je vhodný a hospodárny jen pro určité druhy odlitků a pro určitý odlévaný materiál. K tomu je při volbě vhodného lícího způsobu nutno přihlížet.

1.3. Prodyšnost slévárenských forem a její význam

Každá slévárenská forma musí být náležitě odvzdušněna. Je nutné, aby po dobu odlévání a chlazení unikl z dutiny formy vzduch a plyny, neboť zahříváním plynů se zvětšuje jejich objem, zvyšuje se tlak a je nebezpečí, že se tímto tlakem forma poruší. Důležitou roli tu hrají rozměry a umístění vtoku a výfuku. U keramických forem se však výfuky pro malé odlitky nepoužívají a velká část plynů uniká prodyšnými stěnami formy. Prodyšnost formovací látky, z níž je forma zhotovena, je tedy schopnost propouštět plyny a páry.

Vlastní prodyšnost skořepin je závislá na řadě technologických činitelů, jako je např.:

- 1/ zrnění zásypového písku
- 2/ druh ostřiva
- 3/ druh vazné kapaliny

- 4/ hustota obalové směsi
- 5/ počet obalů
- 6/ způsob výroby formy /stupeň upěchování/
- 7/ tepelné zpracování formy

U nežíhaných skořepin i na kvalitě vytavení modelové hmoty. Význam má i obsah vody, ale při odlévání do vypálených skořepin jsou již všechny volné i vázané podíly vody ze skořepin odpařeny.

1.3.1. Vyjádření prodyšnosti

Stupeň prodyšnosti se udává v tzv. normálních jednotkách prodyšnosti /njp/. Ta je definována množstvím cm^3 vzduchu, který projde částicí zkušebního tělesa průřezu 1 cm^2 a výšky 1 cm za 1 min. při tlaku vodního sloupce 10 cm . V praxi se počítá dle vzorce:

$$P = \frac{V \cdot h}{F \cdot p \cdot t} \text{ /njp/ , kde} \quad (1)$$

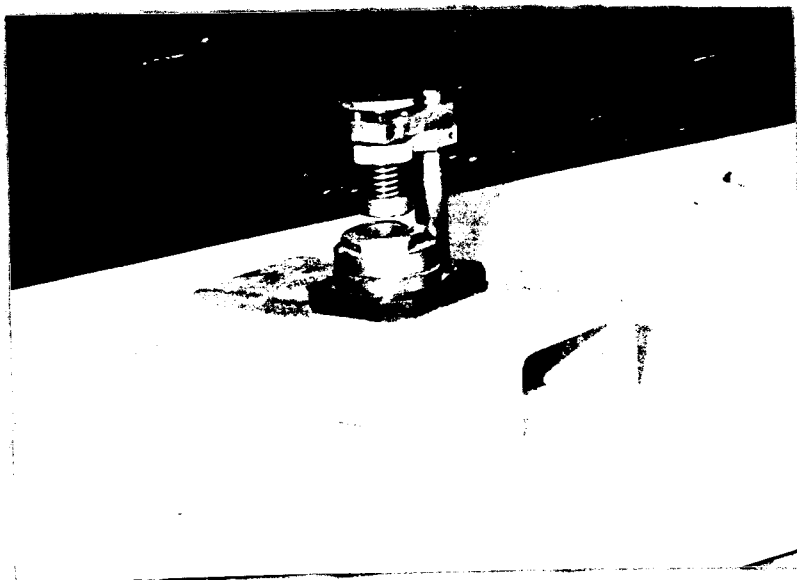
- V objem vzduchu / cm^3 /
- h výška vzorku / cm /
- F plocha vzorku / cm^2 /
- p tlak vodního sloupce / $\text{cm H}_2\text{O}$ /
- t čas / min. /

1.4. Měření prodyšnosti za normálních teplot

V této kapitole je uvedena metoda měření prodyšnosti keramických materiálů vyvinutá na KTM-VŠST v úpravě navržené prof. Ing. Odstrčillem, tzv. průtoková. [10]

Prodyšnost jsem měřila na úlomcích standartních destiček používaných pro zjišťování ohybové pevnosti o rozměrech $25 \times 120 \times h$ / mm /. Vzorek se vkládá do zvláštního čidla, které je na obr. č. 1.. Čidlo má vnitřní průřez 2 cm^2 . Mezikruhovou plochou čidla proudí vzduch o stejném tlaku jaký má vzduch proudí-

cí měřicím průřezem. Měří se čas, ve kterém projde vzorkem 100 cm³ vzduchu o přetlaku 100mm H₂O z malého zvonu. Velký zvon o obsahu 2000 cm³ slouží jako zdroj tlakového vzduchu pro ochranné mezikruží.



obr.č.1

2.0. Prodyšnost keramických skořepin za vyšších teplot

Obvyklé zkoušky prodyšnosti za normální teploty /20°C/ a tedy při konstantní viskozitě vzduchu charakterizují prodyšnost skořepiny. Ale skořepinové formy se odlévají při teplotách cca 700^o-1200^oC, kdy se celá řada fyzikálních vlastností skořepiny mění.

Šklennik-Ozerov [3] udává změnu prodyšnosti keramických skořepin s teplotou v závislosti na změně viskozity plynu /vzduchu/ s teplotou jednoduchým vzorcem:

$$K_p = \frac{K}{\mu}, \text{ kde}$$

K_p koeficient prodyšnosti

(2)

K prodyšnost skořepiny při teplotě 20°C

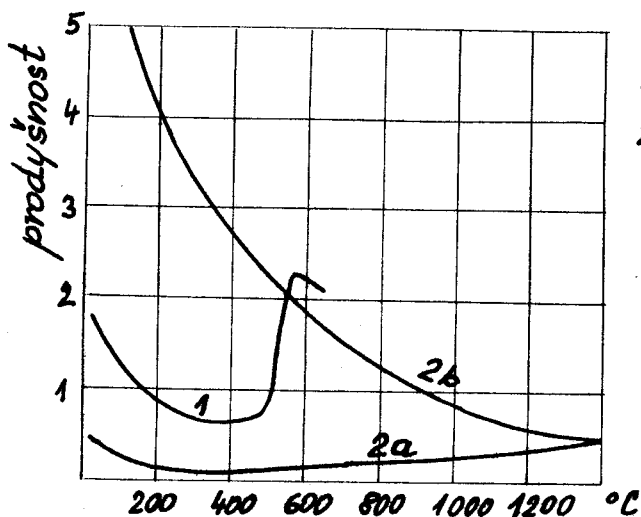
μ koeficient charakterizující změnu viskozity plynu v důsledku ohřátí

Skutečná hodnota prodyšnosti za zvýšených teplot však bude záviset i na dalších okolnostech, tj. např. na tvorbě trhlinek, na spékání atp..

2.1. Způsoby měření prodyšnosti za zvýšených teplot

Zjišťování prodyšnosti za vyšších teplot je experimentálně značně obtížné. V literatuře prakticky neexistují údaje o způsobech tohoto měření.

Šklennik-Ozerov [3] uvádí výsledky experimentálních měření prodyšnosti za zvýšených teplot /viz obr.č.2/, avšak neuvádí metodu, kterou k těmto výsledkům došel.

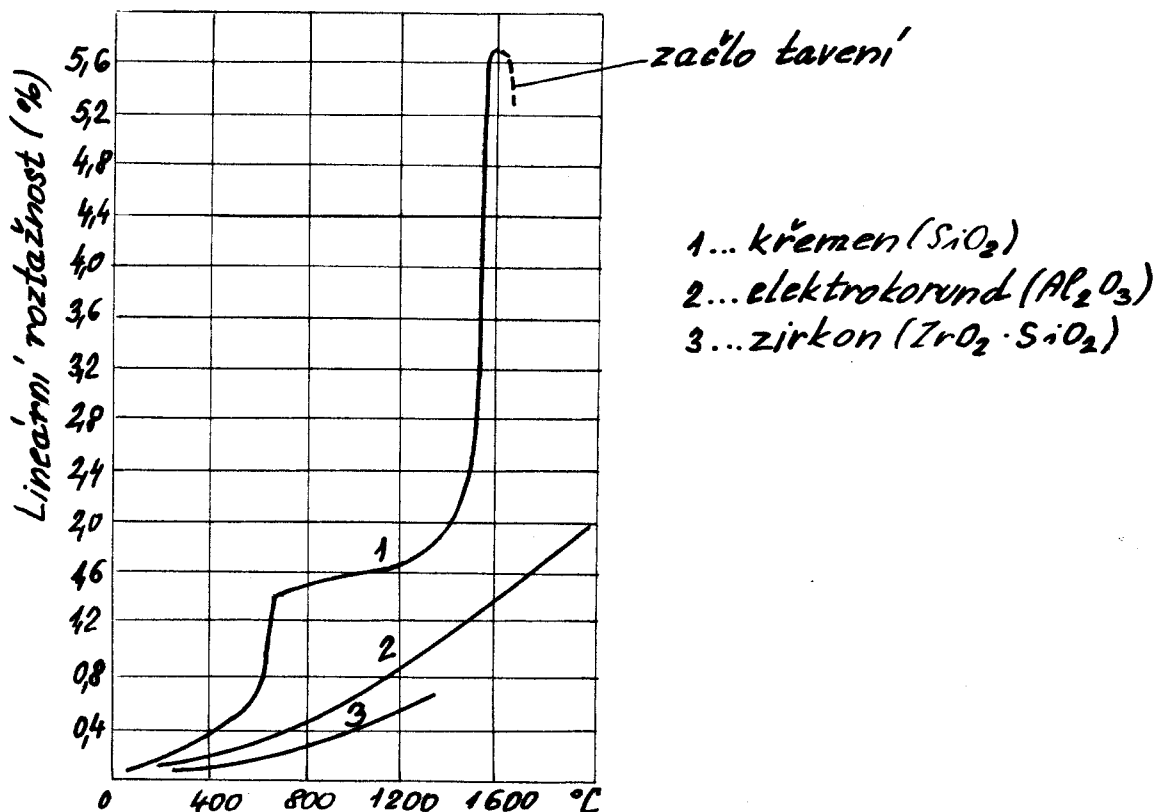


1...žihaná křemenná f.
2...korundová nežihaná
a... ohřev
b... chladnutí

obr.č.2

Z obr.č.2 je vidět velké zvýšení prodyšnosti křemenné skořepiny /žihané/ při teplotě kolem 570°C.

Autoři to vysvětlují vytvořením trhlin ve vzorku při přeměně křemene, která je provázána změnou objemu, jak je patrné z obr.č.3



obr.č.3

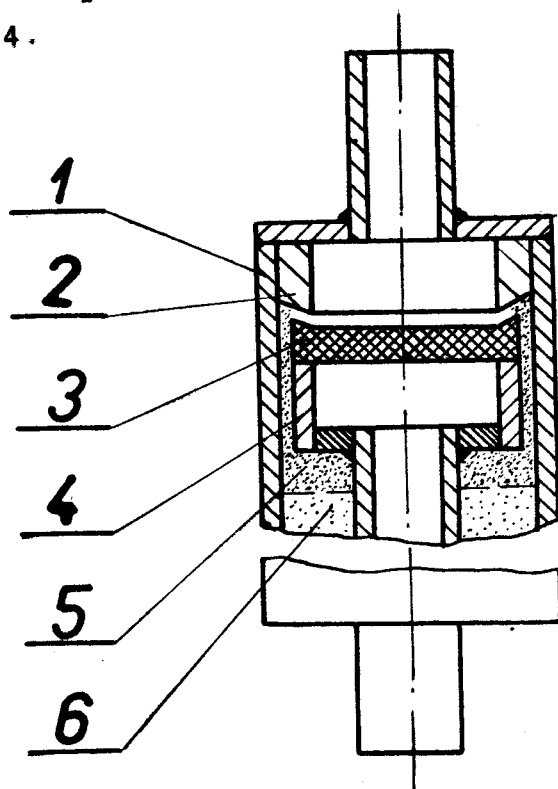
K největšímu zvětšení objemu /až 1,4%/ dochází právě kolem teploty $570^{\circ}C$, kdy β křemen se mění na α křemen. Ten se mění při teplotě $870^{\circ}C$ v tridymit α a při $1470^{\circ}C$ vzniká z tridymitu cristobalit a konečně při $1713^{\circ}C$ vzniká křemenné sklo. Tridymit při ochlazení přechází v tridymit β a γ , který je stálý již za normální teploty. Podobně i cristobalit α se mění v cristobalit β .

Dále prodyšnost klesá.

3.0. Měření prodyšnosti keramických skořepinových forem za vyšších teplot, vypracované na KTM-VŠST

3.1. Metoda, kterou propracoval ve své diplomové práci s.Kejzlar r.1961

Hlavním úkolem bylo navrhnout takové měřicí čidlo, které by bylo za daných měřených teplot dostatečně pevné a těsné. Schema tohoto čidla je na obr. č.4.



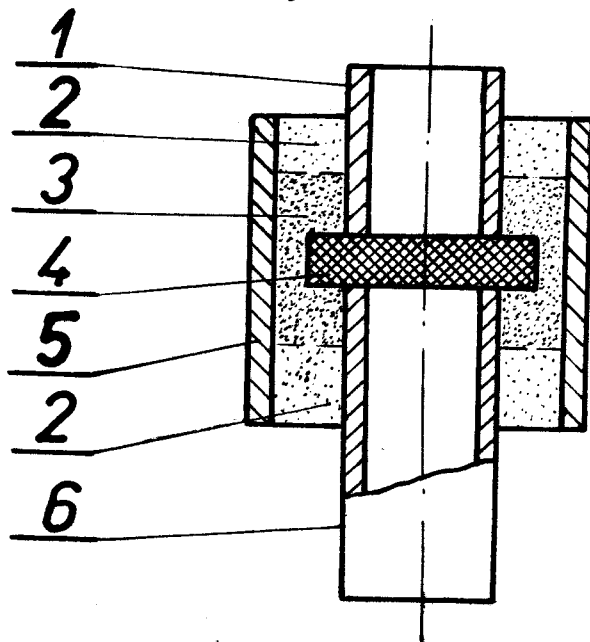
- 1 - vnější válec
- 2 - středící kroužek
- 3 - zkušební vzorek
- 4 - vnitřní válec
- 5 - FF moučka
- 6 - obyčejný písek

obr.č.4

Zkušební vzorek byl tvaru kruhové destičky se zvýšenými okraji. Destička se spustila na dno pláště a byla zatlačena na středící kroužek, kolem něhož byla upěchována FF moučka. Potom byl přiložen přítlačný píst a prostor kolem pístu a nad ním byl utěsněn obyčejným pískem. Celé zařízení se vložilo do pece MV2, postavené na výšku. Na spodní vývod trubky se připojila gumová hadice od přístroje na stanovení prodyšnosti písku.

3.2. Metoda použitá v diplomové práci s.Štrobacha

Na návrh prof. Ing. Odstrčila bylo vyvinuto nové měřící zařízení, při jehož navrhování byl kladen důraz především na utěsnění vzorku, které je znázorněno na obr.č.5



- 1 - pyrolanová trubka
- 2 - korundový tmel
- 3 - FF moučka
- 4 - zkušební vzorek
- 5 - korundová trubka
- 6 - pyrolanová trubka

obr.č.5

Pro měření bylo použito okrouhlých vzorků, zhotovených z úlomků standartních destiček, používaných pro zjišťování ohybové pevnosti.

Na pyrolanovou trubku se upevnil přípravek na upěchování korundového tmelu ve spodní části vnější korundové trubky. Korundový tmel byl upěchován a zbytek do úrovně horního okraje vnitřní trubky byl vyplněn FF moučkou. Pak se vložil vzorek, na něj položila vrchní pyrolanová trubka a prostor byl vyplněn FF moučkou. Čidlo bylo uzavřeno opět vrstvou upěchovaného korundového tmele. Zařízení bylo vloženo do pece. Na spodní vývod trubky se připojila gumová hadice od přístroje na měření prodyšnosti.

3.3. Zhodnocení metod 3.1. a 3.2

Hlavní nedostatek metody s.Kejzlara bylo nedostatečné utěsnění vzorku. Další nevýhodou bylo odečítání času na přesýpacích hodinách /měřila se změna objemu vzduchu prošlého vzorkem za 10 vt./. Dále šlo jen o informativní měření na několika málo vzorcích. Tyto chyby byly částečně odstraněny v diplomové práci s.Štrobacha. Provedl dokonalejší utěsnění vzorku, měřil čas potřebný k projití 100 cm³ vzduchu zkušebním vzorkem. Měření provedl na větším počtu vzorků, čímž dal přesnější obraz závislosti prodyšnosti za vyšších teplot.

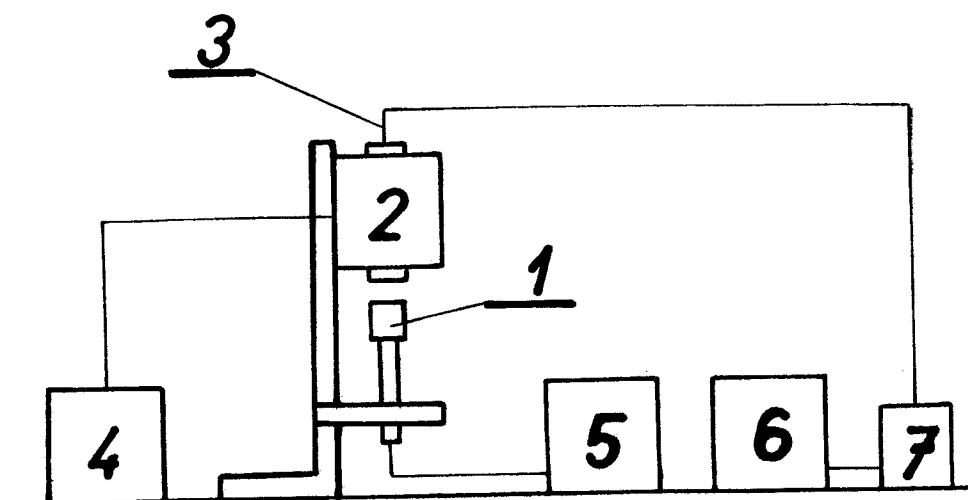
3.4. Stávající metoda na měření prodyšnosti za vyšších teplot

Úkolem této diplomové práce bylo zaměřit se na ještě dokonalejší utěsnění vzorku na zařízení navrhnutým prof.Ing.Odstrčillem. Dále provést měření prodyšnosti za vyšších teplot na vzorcích keramických skořepin /např.křemenné s některými proměnnými

technologickými činiteli, dále zirkonové/. Je nutné provést ověřovací zkoušky zařízení vzhledem k těsnosti měřicího čidla.

3.4.1. Popis měřicího zařízení

Zařízení, na němž bylo provedeno měření, se sestává z vlastního měřicího čidla, pece, termočlánku, autotransformátoru, zvonového manometru a registračního přístroje. Je zobrazeno na obr.č.6

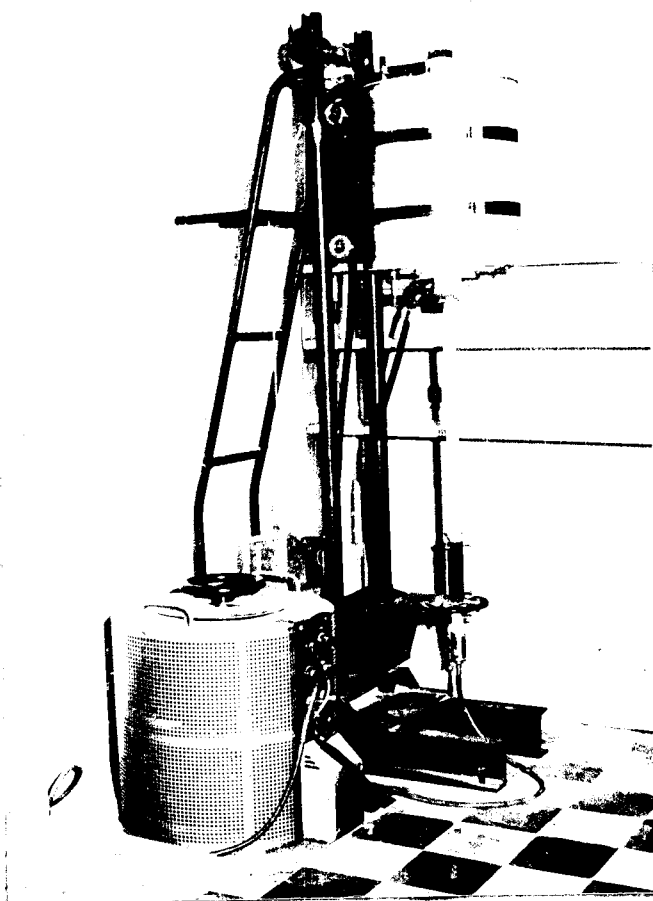


- 1 - měřicí čidlo
- 2 - pec
- 3 - termočlánek
- 4 - autotransformátor
- 5 - zvonový manometr
- 6 - registrační přístroj
- 7 - studený spoj termočlátku

obr.č.6

Nyní k jednotlivým popisům.

Pec - tvoří topnou jednotku. Je elektrická, silitová trubková ϕ 40 mm. Je postavena na výšku a umístěná na kovové konstrukci. Její vertikální posuv je umožněn kladkovým zařízením s protizávažím /obr.č.7/.



obr.č.7

Autotransformátor - je ručně ovládaný a slouží k regulaci teploty /obr.č.7/.

Termočlánek PtRh-Pt - pomocí něho jsem měřila teplotu zkušebního vzorku. Jako studeného spoje termočládku bylo použito termosky s vodou o teplotě 20°C /obr.č.8/

Registrační přístroj - zaznamenával průběh teploty
zkušebního vzorku /obr.č.8/

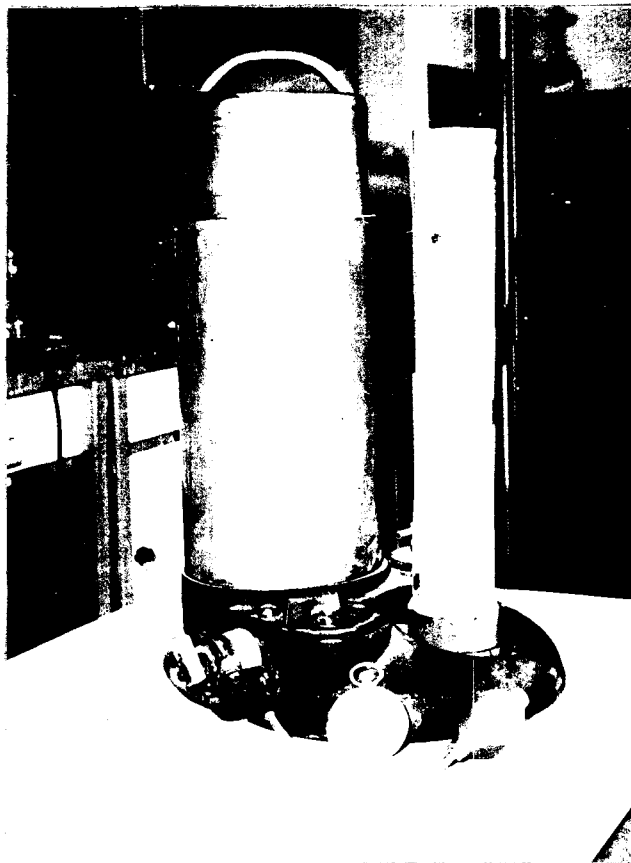


obr.č.8

Zvonový manometr - je zdrojem měřícího vzduchu o
tlaku 10 cm H₂O. Tento manometr se používá na
měření prodyšnosti keramických skořepin za
normálních teplot /obr.č.9/.

Měřícím zařízením je přípravek na měření pro-
dyšnosti za vyšších teplot, jehož konstrukční pro-
vedení je na výkrese čís.1-DP - 1037-73 /viz přílo-
ha čís.9/.

Přípravek se skládá z vlastního měřícího čidla /které je popsáno v oddíle 3.4.2/, příruby, držáku čidla a chlazení, které zajišťuje tepelnou izolaci pájených spojů, a gumové hadice přivádějící vzduch od zvonového manometru.

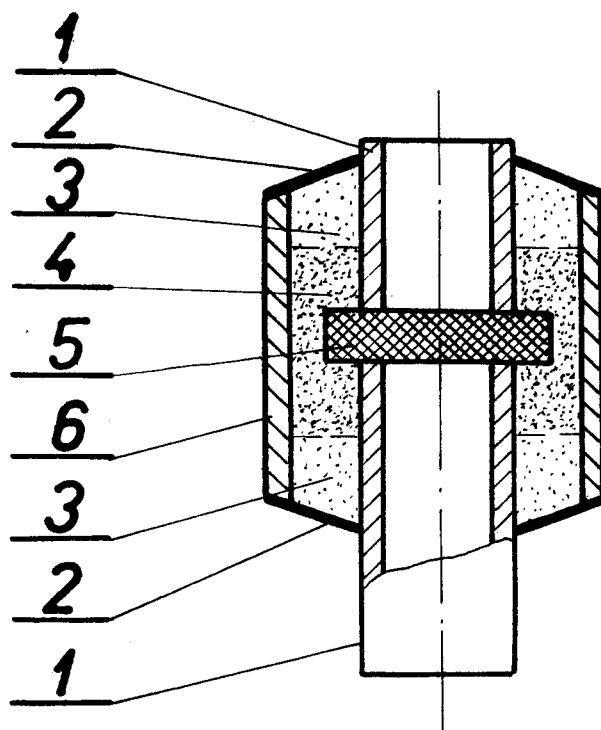


obr.č.9

3.4.2. Funkce a provedení měřícího čidla

Vzorek byl utěsněn jemně mletým FF pískem, pak korundovým tmelem a nakonec byl proveden výmaz vodním sklem + FF moučkou. Takto provedené čidlo bylo po prověřujících zkouškách těsnosti použito v přípravku pro měření prodyšnosti za vyšších teplot.

Provedení měřicího čidla je na obr.č.10.



- 1 - pyrolanová trubka
- 2 - výmaz vodní sklo + FF moučka
- 3 - korundový tmel
- 4 - FF moučka
- 5 - zkušební vzorek
- 6 - korundová trubka

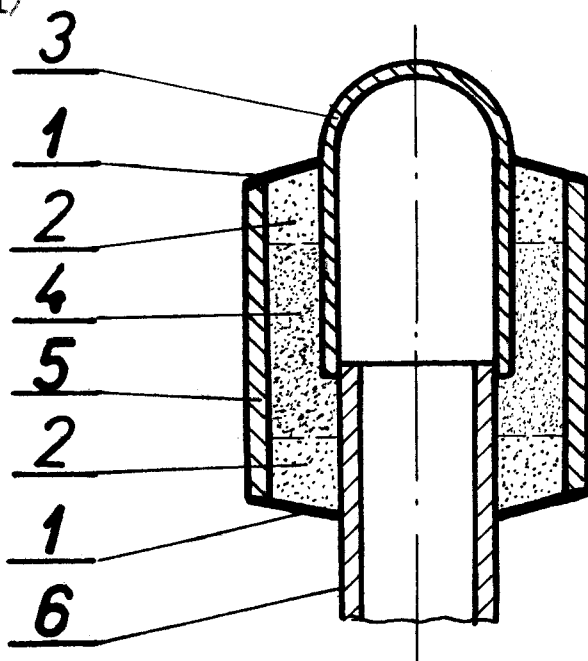
obr.č.10

3.4.3. Ověřovací zkoušky zařízení

Jak již bylo řečeno, hlavním požadavkem je těsnost měřicího čidla. Po vydusání prostoru kolem vzorku FF moučkou, korundovým tmelem a výmazem byla po vyžhání na 200°C a po zchladnutí shledána dostatečná těsnost /prodyšnost vzorku byla stejná před i po utěsnění/. Po zahřátí čidla však prodyšnost velmi

vzrostla. Důvodem mohlo být popraskání měřeného vzorku. Přeměřením prodyšnosti vzorku po zchlazení a vyjmutí z čidla byla však zjištěna stejná prodyšnost jako před utěsněním. Vzorek tedy popraskán nebyl. Dále se dalo usuzovat na to, že došlo k popraskání vydusaneho korundového tmelu. Ověření bylo provedeno následovně:

Místo zkušebního vzorku byla umístěna korundová zkumavka. Její utěsnění v čidle bylo provedeno stejným způsobem jako při použití vzorku /viz obr. č.11/



- 1 - výmaz vodní sklo + FF moučka
- 2 - korundový tmel
- 3 - korundová zkumavka
- 4 - FF moučka
- 5 - korundová trubka
- 6 - pyrolanová trubka

obr.č.11

Při měření tímto způsobem by správně měla být produšnost nulová. V čidle je ale korundový tmel a FF moučka, které určitou produšnost vykazovaly. Ale ta je proti prodyšnosti měřeného vzorku tak malá, že je možno ji zanedbat. Byla měřena doba potřebná k průchodu 100 cm³ vzduchu, ohřátého na teploty, při nichž byly pak vzorky měřeny. Naměřené hodnoty viz tab.č.1.

T/°C/	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
t/min/	58	60	64	72	87	109	141	164	192	228	264

tab.č.1

Z těchto hodnot byly spočítané fiktivní produšnosti. Ty vykazovaly celkem malé rozdílnosti v hodnotách /např. při 20°C a 600°C činil rozdíl 5%/. Z toho je patrné, že mohlo dojít k jemnému popraskání korundového tmelu, což má za následek nepatrné ovlivnění produšnosti.

Netěsnost čidla po zchlazení mohla způsobit též nestejná tepelná roztažnost materiálu čidla. Pyrolanová trubka má větší tepelnou roztažnost než vnější obal zkorundové trubky. Při ohřevu dochází k zhuštění těsnicí hmoty, která při chladnutí nemůže nabýt původního objemu. Tak vzniká netěsnost způsobující zvýšení produšnosti po zchlazení a při opakovaném měření vzorku.

Tento typ měřícího přípravku je tedy vhodný pro měření produšnosti za vyšších teplot při prvním ohřevu.

3.5. Postup měření

3.5.1. Příprava měřicího čidla a jeho sestavení

Na očištěnou pyrolanovou trubku upevníme přípravek /2 segmenty ve tvaru válcového mezikruží/ tak, aby horní okraj vnitřní trubky sahal asi do jedné třetiny trubky vnější. Asi do výšky 10 mm upěchujeme korundový tmel /pomocí kovové trubky o ϕ o málo větším než je průměr pyrolanové trubky/. Zbytek do úrovně horního okraje vnitřní trubky vyplníme upěchovanou FF moučkou a vložíme zkušební vzorek. Na něj položíme vrchní pyrolanovou trubku pro odvod plynu a zbylý prostor vyplníme upěchovanou FF moučkou asi do výše 5 mm pod okrajem vnější trubky. Zbytek doplníme upěchovaným korundovým tmelem. Potom opatrně vyndáme segmenty, které držely vnější trubku a doplníme vrstvu upěchovaného korundovaného tmelu ze spodu. Potom provedeme výmaz kaší tvořenou FF moučkou a vodním sklem dle obr.č.10. Tuto kaši necháme několik hodin zatvrdnout. Potom se změří prodyšnost a to tak, že měříme stopkami dobu nutnou k průchodu 100 cm^3 vzduchu. Toto množství je na válci zvonového manometru označeno dvěma ryskami. Pak se sjede s pecí tak, aby čidlo bylo umístěno asi uprostřed silitové trubky, kde je rovnoměrné teplotní pole. K měření teploty vzorku používáme termočlánek, který vložíme do pece tak, aby se dotýkal povrchu vzorku. Zapneme registrační přístroj sloužící k zapisování teploty, dále pak zapneme vytápění pece. Teplotu pece regulujeme autotransformátorem. Rychlost posuvu na zapisovači je 60 mm/hod., rychlost ohřevu pece 100°C za 20 minut. Měříme dobu /v min./, za kterou nám vzorkem projde 100 cm^3 vzduchu, které je určeno dvěma ryskami na válci zvonového manometru. /Tloušťka vzorku h , tlak p , průřez F a objem vzduchu V při $T = \text{konst.}$ jsou veličiny konstantní/.

3.5.2. Podmínky pro výpočet prodyšnosti za vyšších teplot.

Při měření množství prošlého vzduchu při vysokých teplotách je nutné přepočítat prošlý objem vzduchu na objem vzduchu při příslušné teplotě. Při výpočtu vycházíme ze stavové rovnice:

$$p_1 \cdot V_1 = R \cdot T_1 \quad (3)$$

$$p_2 \cdot V_2 = R \cdot T \quad (4)$$

kde $p_1 = p_2 = 100 \text{ mm H}_2\text{O}$

V_1 objem vzduchu při 20°C

V_2 objem vzduchu při teplotě $T^\circ\text{K}$

T_1 teplota studeného vzorku

$$T_1 = t_1 + 273 = 293^\circ\text{K}$$

T teplota zahřátého vzorku $/^\circ\text{K}/$

R plynová konstanta $/ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}^\circ\text{K}} /$

$$\text{platí: } V_1 \cdot T = V_2 \cdot T_1 \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \cdot T}{T_1} \quad / \text{cm}^3 / \quad (5)$$

Při vlastním výpočtu bylo nutné použít tohoto zjednodušujícího předpokladu. Na zkušební vzorek pohlížíme jako na dokonalý výměník tepla, jehož plocha /tj. plocha jednotlivých zrníček ve skořepině/ se blíží nekonečnu. Z této úvahy vyplývá, že všechny vzduch se stačí při průchodu vzorkem ohřát z 20°C na požadovanou teplotu.

T/°C/	V/cm ³ /
20	100
100	127
200	162
300	196
400	230
500	264
530	275
550	280
580	290
600	298
700	332
800	336
900	400
1000	435

tabulka č.2

Přepočet objemu vzduchu
100 cm³ na objem při teplotě T°C /hodnoty jsou zaokrouhleny na celá čísla/

4.0. Experimentální ověření vlivu teploty na prodyšnost keramických skořepin

Slévárny přesného lití v ČSSR zajímají výsledky zjištěné experimentálně při ověřování vlivu teploty na prodyšnost keramických skořepin. Aby jednotlivé závody mohly mít k dispozici zjištěné hodnoty pro svou provozní praxi, měly evidentní zájem s námi spolupracovat. Proto nám zaslaly vzorky skořepin typických pro jejich závod. Na těchto vzorcích jsem pak prováděla vlastní měření.

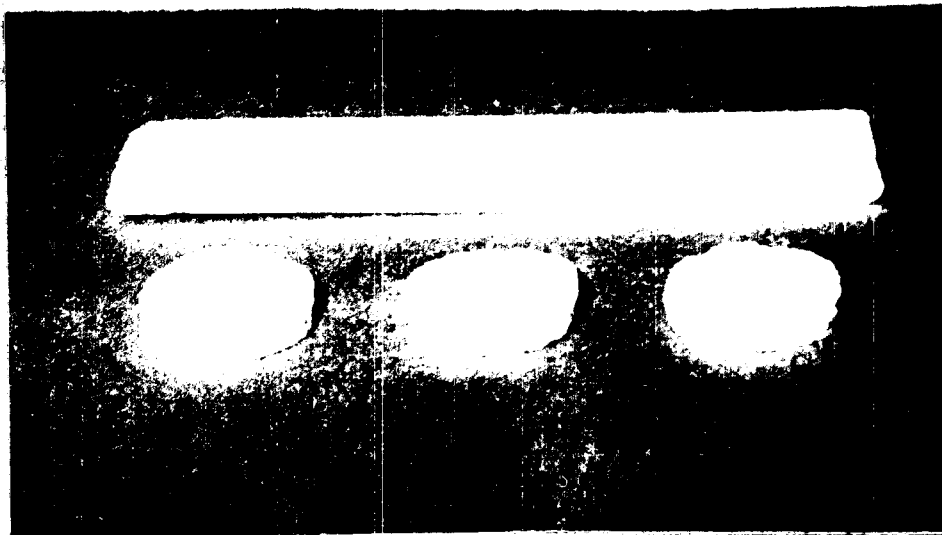
Jednalo se o čtyři závody, které označuji v dalším pro stručnost písmeny A,B,C,D, /viz tab.č.3/

A - ZPS Gottwaldov
B - 1.BS Velká Bíteš
C - Kdyňské strojírny
D - PS Uherský Brod

tabulka č.3

4.1. Výroba vzorků

Pro měření bylo použito vzorků zhotovených z úlomků standartních destiček, používaných pro zjišťování ohybové pevnosti rozměru 25 x 120 x h., obr.č.12. Tyto ploché vzorky byly vyráběny obalováním voskového korýtkového modelu, který je na obr. č.13.

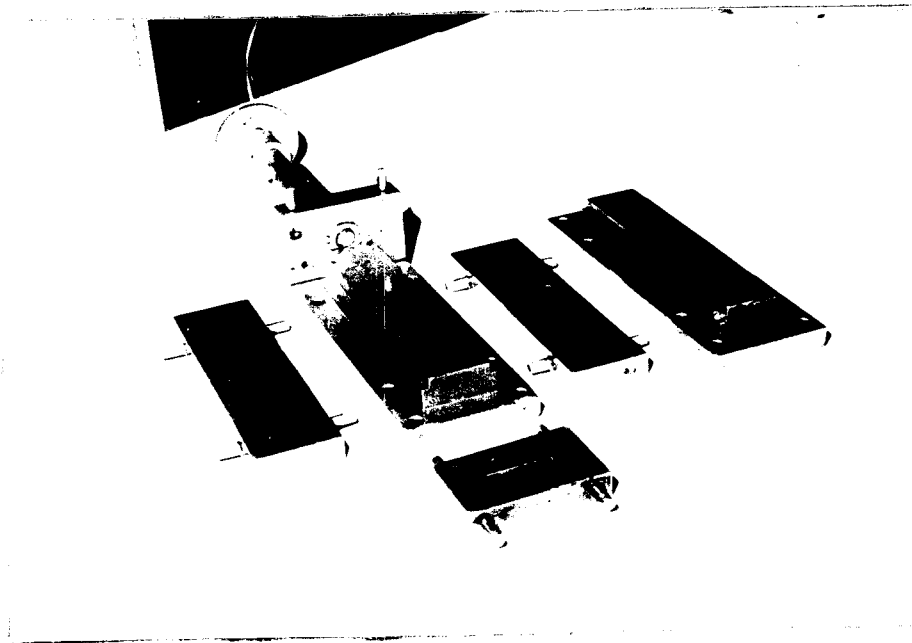


obr.č.12



obr.č.13

Tento model vznikl nastříknutím voskové modelové směsi při teplotě 86°C na nosný kovový pásek. Pro výrobu těchto vzorků se použila kovová rozebiratelná forma dle obr.č.14.



obr.č.14

Voskové modely jsem vyráběla na stolním stříkolisu gravitačním litím a dotlačováním. Po vychladnutí jsem formu rozebrala, vyjmula hotový model a zbavila jej otřepů. Při výrobě je nutné dodržovat správnou teplotu vosku a formy, aby docházelo k dobrému zabíhání.

Modely jsem odeslala uvedeným slévárnám, kde byly obalovány běžnou technologií podle normy.

Modely odeslané do ZPS Gottwaldov a l.BS Velká Bíteš byly dopravou poškozeny. Proto je nahradily vlastními.

4.1.1. Postup výroby vzorků

Pro měření byly vybrány čtyři druhy vzorků. Vzorky se od sebe lišily složením použitých surovin, počtem obalů, viskositou břečky a zrnitostí zásypového písku.

Výroba vzorků A

Nejdříve se stanovila zrnitost zásypového písku síťovým rozborem na prosévacím stroji.

Navážka písku se nasypala do sestavené řady sít prosévacího stroje. Pak se stanovila váha jednotlivých podílů zachycených na příslušných sítích a vyjádřila se v procentech viz tab.č.4 a 5. Graficky tuto závislost vyjadřuje součtová křivka v diagramu č.1 /viz příloha č.1/.

1.obal

světlost ok	0,6	0,4	0,3	0,125
∅ pískové frakce	10,0	84,5	5,0	0

tab.č.4

2.obal a další

světlost ok	0,8	0,6	0,4	0,3
∅ pískové frakce	10,0	84,0	4,5	0

tab.č.5

Vzorky byly postupně namáčeny v obalové polo-tekuté směsi /břečce/ pro 1.obal a po odkapání zasypány pískem příslušné zrnitosti. Po zasypání byl přebytečný obal stírán na čelech modelu a po jeho bocích. Sušení probíhalo na vzduchu. Hustota břečky byla stanovena na $40^{±2}$ vt. a měřena pomocí Fordova pohárku /F6/.

Další obaly vznikly namáčením v obalové břečce pro 2.obal a další a po odkapání zasypány pískem příslušné zrnitosti. Hustota břeček 40¹²vt., u 3.obalu 57 vt.. Vzorky mají 6 obalů.

Použité suroviny pro výrobu břečky:

- 1/ křemenná moučka /FF/
- 2/ vazná kapalina

Složení vazné kapaliny:

- 550 ml etylsilikát 40
- 340 ml etanol
- 108 ml destilovaná voda
- 0,2 g polyvinylacetát rozpuštěný ve 20 ml acetonu
- 1,3 ml dibutylftalát
- 0,02 g metylenová modř
- 2,5 ml HCl

Výroba vzorků B

Vzorky byly postupně máčeny v obalové břečce pro 1.obal a zasypány ve fluidním sypači křemičitým pískem T2 NS, hrany setřeny. Doba schnutí 1.obalu byla 12 hodin. Viskosita břečky 36 vt. /měřeno F6/. Další obaly vznikly máčením v obalové břečce pro 2.obal. Pak byl proveden zásyp křemičitým pískem N2 pro ostatní obaly, hrany setřeny. Doba schnutí mezi ostatními obaly byla 6 hodin. Viskosita břečky 25vt. /měřeno F6/. Vzorky mají 6 obalů.

Použité suroviny pro výrobu břečky:

- 200 ml etylsilikát 40
- 161 ml etylalkohol denaturovaný 4% etylsilikátem 40 zirkonový písek 200 mesch
- 150 ml koncentrovaná HCl
- 3850 ml pitná voda

Výroba vzorků C

Sítovým rozbořem se stanovila zrnitost zásypového písku. Závislost zachycených podílů písku v % na příslušných sítích je udána v tab.č.6 a 7. Graficky tuto závislost vyjadřuje součtová křivka v diagramu čís.2 /viz příloha č.2/.

1.obal

světlost ok	0,8	0,63	0,4	0,3	0,2	0,1
∅ pískové frakce	0,5	7,0	68,5	16,7	5,3	1,3

tab.č.6

2.obal a další

světlost ok	1,0	0,8	0,63	0,4	0,315
∅ pískové frakce	15,7	34,2	35,5	12,7	1,0

tab.č.7

Vzorky byly máčeny v obalové břečce a zasypány pískem příslušné zrnitosti. Viskosita břečky byla 38 - 40 vt. /měřeno F6/. Sušení probíhalo na vzduchu, vzorky mají 4 obaly.

Použité suroviny pro výrobu břečky:

- 1/ křemenná moučka /FF-99, 4 % SiO₂/
- 2/ vazná kapalina

Složení vazné kapaliny:

etylsilikát /17% SiO₂; 0,18 HCl/
etylalkohol

H₂O

8 ml HCl /37%/ na 1000 ml břečky

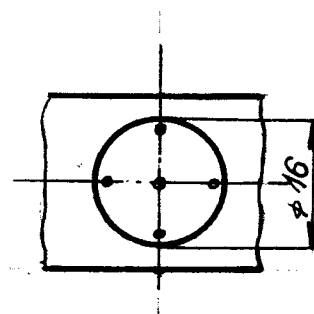
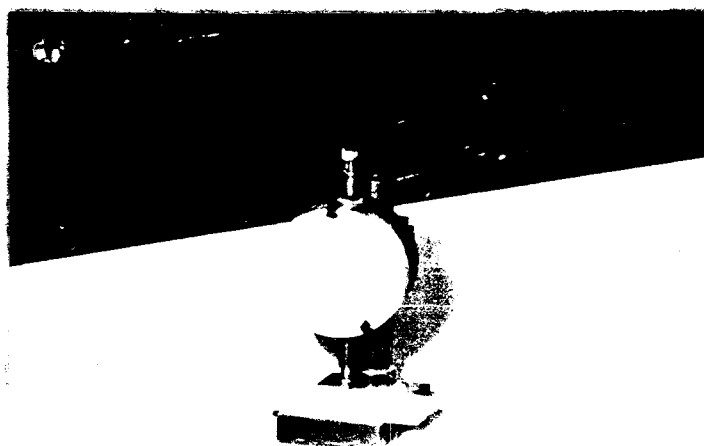
1 kg kaolinu na 15 l břečky

Výroba vzorků D

Vzorky byly postupně máčeny v běžné obalové břečce pro 1.obal a zasypány křemičitým pískem T2 NS. Viskosita břečky byla 19,5 vt. /měřeno F6/. Další obaly vznikly máčením v břečce pro 2.obal a další a zasypány křemičitým pískem T2N. Doba schnutí mezi obaly 4 hodiny. Vzorky mají 5 obalů.

Takto připravené vzorky jsem po obdržení vytavila ve vařící vodě. Po sušení byly v peci žíhány při teplotě 900°C po dobu 2 hodin. V peci byly vzorky ponechány až do vychladnutí na normální teplotu. Část vzorků zůstala nežíhaná.

Potom následovalo obroušení destiček na okrouhlé tvary. Takto připravené vzorky byly po změření tloušťky h setinovým úchylkoměrem dle obr.č.15 použity k vlastnímu měření.



/měříme v 5ti bodech/

obr.č.15

4.2. Přehled naměřených hodnot

4.2.1. Vzorky typu A - žíhané

Měření jsem prováděla na 5 vzorcích. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zapsány do tab.č.8 - 17 a grafický průběh v závislosti prodyšnosti na teplotě je zaznamenán v diagramu č.3 /viz příloha č.3/.

Vzorek č.A₁

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,50	1,02
100	4,47	0,73
200	5,12	0,8
300	6,11	0,82
400	7,01	0,83
500	8,07	0,84
530	8,21	0,85
550	8,9	0,8
580	8,95	0,82
600	8,97	0,84
700	9,07	0,93
800	9,18	0,94
900	8,72	1,17
1000	7,88	1,4

tab.č.8

h	/mm/
1	5,33
2	5,25
3	5,04
4	4,70
5	5,11
∅ h	5,08

tab.č.9

Vzorek č.A₂

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,01	1,41
100	4,05	0,9
200	4,82	0,87
300	6,17	0,91
400	7,16	0,91
500	8,20	0,92
530	8,22	0,94
550	8,55	0,93
580	9,4	0,88
600	9,5	0,9
700	8,58	1,1
800	9,02	1,06
900	8,7	1,3
1000	7,98	1,52

tab.č.10

h	/mm/
1	5,36
2	5,89
3	5,99
4	5,42
5	5,86
∅ h	5,7

tab.č.11

Vzorek č.A₃

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,6	1,13
100	4,9	0,77
200	4,95	0,96
300	5,95	0,98
400	6,85	0,99
500	7,98	0,99
530	7,75	1,05
550	8,74	0,95
580	9,1	0,95
600	8,75	1,01
700	8,62	1,14
800	8,6	1,16
900	8,35	1,42
1000	7,06	1,83

tab.č.12

h	/mm/
1	5,99
2	5,62
3	5,64
4	5,99
5	5,35
∅ h	5,91

tab.č.13

Vzorek č.A₄

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,9	1,05
100	5,43	0,71
200	5,53	0,89
300	6,26	0,95
400	7,23	0,97
500	8,1	0,99
530	8,21	1,02
550	8,25	1,03
580	8,6	1,02
600	8,6	1,05
700	8,92	1,13
800	9,15	1,12
900	8,74	1,39
1000	7,86	1,68

tab.č.14

h	/mm/
1	6,42
2	6,15
3	6,29
4	5,95
5	5,65
∅ h	6,09

tab.č.15

Vzorek č.A₅

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,23	1,2
100	4,02	0,84
200	4,83	0,9
300	5,62	0,93
400	6,69	0,92
500	7,9	0,89
530	8,35	0,88
550	8,54	0,88
580	8,7	0,9
600	8,72	0,91
700	8,41	1,07
800	7,65	1,17
900	7,25	1,47
1000	6,38	1,83

tab.č.16

h	/mm/
1	5,56
2	5,22
3	5,22
4	5,6
5	5,38
∅ h	5,37

tab.č.17

4.2.2. Vzorky typu B - žíhané

Měření jsem prováděla na 5 vzorcích. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zapsány do tab.č.18-28 a grafický průběh v závislosti prodyšnosti na teplotě je zaznamenán v diagramu č.4 /viz příloha č.4/. Na vzorku č.B₅ bylo provedeno opakované měření a to tak, že po zchlazení na 20°C byl proveden nový ohřev a opětné měření. Grafické znázornění je v diagramu č.5 /viz příloha č.5/.

Vzorek č.B₁

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	1,65	2,14
100	4,02	1,1
200	4,01	1,42
300	3,96	1,74
400	4,44	1,81
500	5,06	1,86
530	5,38	1,92
550	5,58	1,8
580	5,74	1,78
600	6,1	1,74
700	5,44	2,14
800	5,1	2,32
900	5,68	2,5
1000	5,33	2,89

tab.č.18

h	/mm/
1	7,34
2	6,92
3	7,25
4	6,91
5	6,95
φ h	7,07

tab.č.19

Vzorek č.B₂

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	1,90	1,6
100	3,66	1,08
200	3,73	1,32
300	4,24	1,42
400	4,68	1,5
500	5,34	1,5
530	5,46	1,53
550	5,52	1,52
580	5,91	1,5
600	5,75	1,58
700	5,67	1,78
800	5,80	1,99
900	5,70	2,15
1000	5,52	2,42

tab.č.20

h	/mm/
1	5,85
2	6,13
3	6,16
4	6,41
5	6,11
∅ h	6,09

tab.č.21

Vzorek č.B₃

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	1,30	2,2
100	3,11	1,17
200	3,22	1,43
300	2,92	1,92
400	3,30	1,99
500	4,04	1,86
530	4,33	1,81
550	4,33	1,85
580	4,51	1,83
600	4,44	1,95
700	4,60	2,08
800	4,57	2,1
900	4,52	2,52
1000	4,24	2,95

tab.č.22

h	/mm/
1	5,90
2	5,30
3	5,70
4	5,78
5	5,92
∅ h	5,72

tab.č.23

Vzorek č.B₄

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	1,49	1,86
100	3,74	0,94
200	3,20	1,4
300	3,17	1,71
400	3,74	1,7
500	4,24	1,73
530	4,30	1,78
550	4,45	1,74
580	4,57	1,74
600	4,40	1,88
700	4,65	1,97
800	4,65	2,01
900	4,72	2,35
1000	4,59	2,62

tab.č.24

h	/mm/
1	5,51
2	5,44
3	5,82
4	5,56
5	5,43
∅ h	5,55

tab.č.25

Vzorek č.B₅/I

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	1,49	1,86
100	3,74	0,94
200	3,20	1,4
300	3,17	1,71
400	3,74	1,7
500	4,24	1,73
530	4,30	1,78
550	4,45	1,74
580	4,57	1,74
600	4,40	1,88
700	4,65	1,97
800	4,65	2,01
900	4,72	2,35
1000	4,59	2,62

tab.č.26

h	/mm/
1	5,51
2	5,44
3	5,82
4	5,56
5	5,43
∅ h	5,55

tab.č.27

Vzorek č. B₅/II

T/°C/	t/min/	p/njP/
20	0,81	3,4
100	1,24	2,82
200	1,66	2,7
300	2,25	2,42
400	2,78	2,3
500	3,52	2,08
530	3,71	2,05
550	3,90	1,99
580	4,14	1,94
600	4,20	1,97
700	4,50	2,04
800	4,52	2,06
900	4,52	2,45
1000	4,33	2,78

tab.č.28

4.2.3. Vzorky typu C - žíhané

Měření jsem prováděla na 4 vzorcích. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zapsány do tab.č.29-36 a grafický průběh v závislosti prodyšnosti na teplotě je zaznamenán v diagramu č.6 /viz příloha č.6/.

Vzorek č.C₁

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,63	0,69
100	5,95	0,53
200	7,3	0,55
300	9,66	0,51
400	11,66	0,50
500	12,93	0,50
530	12,5	0,55
550	13,41	0,52
580	13,15	0,5
600	13,75	0,54
700	14,6	0,57
800	14,78	0,58
900	11,75	0,85
1000	11,87	0,93

tab.č.29

h	/mm/
1	4,97
2	4,98
3	4,91
4	4,89
5	5,36
∅ h	5,02

tab.č.30

Vzorek č.C₂

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,2	0,68
100	4,75	0,58
200	5,73	0,61
300	7,33	0,57
400	8,08	0,6
500	9,15	0,61
530	9,5	0,62
550	10,02	0,6
580	10,9	0,57
600	11,02	0,58
700	10,73	0,66
800	11,12	0,65
900	10,73	0,8
1000	9,83	0,95

tab.č.31

h	/mm/
1	4,20
2	4,11
3	4,32
4	4,12
5	4,64
∅ h	4,28

tab.č.32

Vzorek č. C₃

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,78	0,66
100	6,29	0,46
200	6,72	0,59
300	7,40	0,66
400	9,31	0,61
500	10,38	0,63
530	10,9	0,63
550	10,85	0,64
580	11,8	0,61
600	11,66	0,63
700	11,5	0,71
800	12,04	0,69
900	11,8	0,84
1000	10,47	1,02

tab.č.33

h	/mm/
1	4,80
2	4,84
3	5,26
4	4,74
5	5,02
∅ h	4,93

tab.č.34

Vzorek č. C₄

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,97	0,59
100	6,90	0,43
200	7,95	0,47
300	9,05	0,5
400	9,96	0,53
500	11,20	0,55
530	10,5	0,61
550	11,82	0,55
580	13,7	0,49
600	12,5	0,55
700	12,72	0,61
800	12,50	0,62
900	12,25	0,76
1000	11,38	0,9

tab.č.35

h	/mm/
1	4,65
2	4,41
3	4,62
4	4,77
5	4,61
∅ h	4,63

tab.č.36

4.2.4. Vzorky typu D - žíhané

Měření jsem prováděla na 4 vzorcích. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zapsány do tab.č.37-44 a grafický průběh v závislosti prodyšnosti na teplotě je zaznamenán v diagramu č.7 /viz příloha č.7/.

Vzorek č.D₁

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,30	0,81
100	4,98	0,68
200	6,20	0,7
300	7,22	0,73
400	8,43	0,74
500	9,3	0,76
530	9,22	0,8
550	10,01	0,75
580	10,35	0,75
600	10,53	0,76
700	10,77	0,82
800	10,98	0,83
900	10,46	1,02
1000	9,73	1,2

tab.č.37

h	/mm/
1	5,30
2	5,49
3	5,47
4	5,36
5	5,55
∅ h	5,37

tab.č.38

Vzorek č.D₂

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,59	0,88
100	4,8	0,61
200	5,36	0,69
300	6,37	0,70
400	7,33	0,71
500	8,20	0,73
530	8,40	0,74
550	8,65	0,73
580	9,34	0,7
600	9,25	0,74
700	9,65	0,79
800	9,48	0,81
900	9,36	0,98
1000	8,72	1,13

tab.č.39

h	/mm/
1	4,64
2	4,61
3	4,33
4	4,52
5	4,61
φ h	4,54

tab.č.40

Vzorek č.D₃

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,38	0,7
100	4,35	0,68
200	5,6	0,68
300	6,74	0,68
400	7,62	0,71
500	8,6	0,72
530	9,15	0,7
550	9,24	0,71
580	9,45	0,72
600	9,46	0,74
700	9,33	0,83
800	9,42	0,84
900	8,83	1,02
1000	7,55	1,33

tab.č.41

h	/mm/
1	4,89
2	4,43
3	4,71
4	5,23
5	4,21
φ h	5,69

tab.č.42

Vzorek č.D₄

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	2,23	1,1
100	4,03	0,79
200	4,65	0,87
300	5,68	0,87
400	6,80	0,85
500	6,90	0,83
530	8,02	0,86
550	8,32	0,84
580	8,51	0,85
600	8,50	0,88
700	8,71	0,95
800	8,65	0,94
900	8,41	1,18
1000	7,63	1,41

tab.č.43

h	/mm/
1	4,81
2	4,74
3	5,48
4	5,43
5	4,45
∅ h	4,98

tab.č.44

4.2.5. Vzorky typu A - nežíhané

Měření bylo provedeno na 2 vzorcích. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zapsány do tab.č.45-48. Grafický průběh v závislosti prodyšnosti na teplotě byl zaznamenán v diagramu č.8 /viz příloha č.8/.

Vzorek č.A₆

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,35	0,8
100	5,23	0,64
200	6,05	0,71
300	6,89	0,76
400	7,78	0,76
500	8,6	0,81
550	8,93	0,79
600	9,1	0,87
700	8,86	0,89
800	8,92	1,01
900	8,08	1,32
1000	6,98	1,66

tab.č.45

h	/mm/
1	5,57
2	5,41
3	5,36
4	5,01
5	5,20
∅ h	5,31

tab.č.46

Vzorek č.A₇

T/°C/	t/min/	p/njp/
20	3,12	0,84
100	4,65	0,72
200	5,24	0,81
300	6,30	0,82
400	7,36	0,81
500	8,47	0,82
550	8,85	0,83
600	7,98	0,98
700	8,29	1,04
800	7,55	1,13
900	8,24	1,28
1000	7,30	1,53

tab.č.47

h	/mm/
1	5,27
2	4,95
3	5,25
4	5,52
5	5,12
∅ h	5,25

tab.č.48

4.3. Diskuse naměřených hodnot

4.3.1. Vzorky typu A,C,D - žíhané

Při posouzení a zhodnocení vlivu prodyšnosti keramických skořepin za studena a za vyšších teplot vycházíme z naměřených hodnot a z nich sestavených grafů /diagramy č.1,2,3,6,7/. K vyjádření závislosti $p = f / T /$ bylo použito systému lomených čar.

V počátečním ohřevu /rozmezí 20^o-100^oC/ je u všech vzorků patrný značný pokles hodnot prodyšnosti, který by mohla způsobit jednak vlhká těsnicí hmota /korundový tmel/, jednak obsah vody ve vzorku a jeho přeměna ve vodní páru při ohřevu. Dochází k přírůstku objemu měřícího vzduchu a tím se prodlouží i měřený čas t . Vliv obsahu vodní páry v měřícím vzduchu na hodnotu prodyšnosti vylučujeme /viz kap.č.5.0./ Od 200^o do 500^o dochází k mírnému stoupání prodyšnosti, v oblasti teplot 500^o-600^o bylo naměřeno kolísání prodyšnosti. Kolísání přisuzujeme objemovým změnám provázejícím přeměnu křemene β na α , které jsou popsány v kap.2.1.. Zvýšení prodyšnosti není tak výrazné jak uvádí Šklennik-Ozerov [3] a vyskytuje se též při teplotách nižších než udává teorie. Může se tu usuzovat na vliv přesnosti měření /viz kap.č.5.0./, které bylo odhadnuto cca 15%. Od 600^o-1000^o prodyšnost stoupá.

Nižší hodnoty prodyšnosti u vzorků C /KS Kdyně/ než u vzorků A /ZPS Gottwaldov/ jsou způsobeny jemnější zrnitostí zásyrového písku než u vzorků A.

Z výsledků vyplynulo, že obecně hodnoty prodyšnosti za normálních a zvýšených teplot nejsou stejné. Prodyšnost pro úsek pracovních teplot /teplot, při kterých se odlévá/ můžeme tedy vyjádřit vzorcem:

$$P_{800^{\circ}-950^{\circ}} = k \cdot P_{20^{\circ}}, \text{ kde hodnota } k \text{ je udána v tab.}\check{c}.49 \quad (6)$$

tab.č.49

vzorek	k
A - ZPS Gottwaldov	0,9 - 1,1
C - Kdyňské strojírny	1,0 - 1,3
D - PS Uherský Brod	1,0 - 1,3

4.3.2. Vzorky typu B - žíhané

Vycházíme opět z naměřených hodnot a z nich sestavených grafů /diagramy č.4,5/.

Tyto vzorky se od předchozích liší tím, že byla v zásypu použita zirkonová moučka. Zirkon prodělává krystalografické změny při vyšších teplotách než při kterých se odlévá./viz kap.2.1. obr.č.3/. Kolísání prodyšnosti mezi 500° - 600° je možné vysvětlit jako v oddíle 4.3.1., objemovou změnou křemene, který se spolu se zirkonovou moučkou vyskytuje v zásypu. Jinak vlivy způsobující pokles v rozmezí 20° až 100° usuzují stejně jako v oddíle 4.3.1..

Při opakovaném ohřevu téhož vzorku /diagram č.5/ se projevuje odlišnost v hodnotách prodyšnosti, které si vysvětlují vznikem netěsností v měřicím čidle, jejichž vznik byl popsán v oddíle 3.4.3..

Prodyšnost pro úsek pracovních teplot můžeme opět vyjádřit vzorcem:

$$P_{800^{\circ}-950^{\circ}} = k \cdot P_{20^{\circ}}, \text{ kde hodnota } k \text{ je udána v tab.}\check{c}.50$$

tab.č.50

vzorek	k
B - 1.BS Velká Bíteš	1,1 - 1,3

4.3.3. Vzorky typu A - nežíhané

Při vyhodnocování vycházíme z diagramu č.8. U těchto vzorků je poněkud jiný průběh závislosti prodyšnosti na teplotě než u vzorků vyžíhaných.

Ve skořepině zůstaly po vytavení ve vařící vodě nevytavené částice vosku. Při ohřevu dochází k natavování částic, které ucpávají póry skořepiny. Tím dochází v rozmezí 20^o-100^oC ke snížení prodyšnosti. Při dalším ohřevu se nevytavené částice vosku postupně spalují a tím stoupá prodyšnost. Dále je možno říci, že průběh grafů je ekvidistantní ke grafům vyžíhaných vzorků A. Proto je možné též usuzovat na obdobný charakter příčin změn prodyšnosti jako u vyžíhaných vzorků.

5.0. Chyby měření a výpočtu

Při zjišťování závislosti prodyšnosti na vzrůstající teplotě musíme vzít v úvahu, že při vlastním měření i vyhodnocování vznikají určité chyby. Tyto chyby potom více či méně ovlivňují výsledek měření.

Je to např. chyba vzniklá netěsností těsnící hmoty, která je chybou největší a z ověřovacích zkoušek zařízení činí cca 10%. Při měření se nepočítá s odpory při nestejném průřezu přívodních hadic třením zvonu manometru, dále pak subjektivní chybou při odečítání měřícího objemu vzduchu pomocí dvou rysek na zvonovém manometru.

Dále je tu určitý vliv obsahu vodní páry v měřícím vzduchu. K měření používáme stále stejné množství vzduchu o objemu 100 cm^3 a přibližně stejné vlhkosti. V místnosti je teplota 20°C a při této teplotě je vzduch nassáván do zvonového manometru. Vzduch ohříváme na teploty vyšší, při kterých je rozdíl měrných hmot suchého a vlhkého vzduchu velmi malý /asi 1%/ . Změna objemu vzduchu při ohřevu vlivem obsahu je tedy asi také 1% , což je hodnota k ostatním chybám měření téměř zanedbatelná.

Při vlastním vyhodnocování výsledků se objevuje chyba vlivem nepřesného odečítání na log.pravítku, která však má na celkový výsledek vliv nepatrný.

Uvážíme-li vlivy všech možných chyb, můžeme říci, že celkovou chybu je možno odhadnout cca 15%.

6.0. Závěr a zhodnocení

Úkolem této diplomové práce bylo pokusit se provést úpravy na stávajícím zařízení pro měření prodyšnosti za vyšších teplot za účelem dosažení větší těsnosti měřicího čidla. Dále pak u zkoušených vzorků stanovit vztah mezi prodyšností za vyšších teplot a teplot normálních.

Je možno říci, že řadou provedených měření byla použitá metodika měření prodyšnosti za vyšších teplot dostatečně ověřena. Z provedených měření vyplynul jednoduchý empirický vztah pro hodnotu prodyšnosti skořepin v rozmezí teplot, při nichž je do skořepin odléváno:

$$P_{800 \pm 950^{\circ} \text{K}} \cdot P_{20^{\circ}},$$

(6)

přičemž hodnota k se pohybuje v rozmezí 0,9-1,3. Platí ovšem pro vzorky použité v této práci.

Můžeme tedy provést jednoduchá měření prodyšnosti za normálních teplot. Pomocí vztahu (6) pak spočítáme prodyšnost za teplot pracovních, aniž bychom ji museli měřit, což je v běžných provozních podmínkách těžko proveditelné.

Současně bych chtěla poděkovat s. prof. Ing. Odstrčilovi a s. Ing. Kouřsalovi za cenné rady i za pomoc při vypracování této diplomové práce, jakož i s. Vorlovi za pomoc při výrobě modelů.

Čením si též spolupráce těch pracovníků slévárenských podniků, s kterými jsme spolupracovali. Děkuji jim za porozumění a ochotu.

Helena Pecharová

7.0. Seznam použité literatury

1. Doškář: Přesné lití do keramických forem
2. Doškář: Novodobé způsoby lití kovů
3. Šklennik, Lití po vyplavljajemym modeljam Ozerov:
4. Petržela: Slévárenské formovací látky
5. Kraus: Slévárenství
6. Horák: Technická fyzika
7. Kejzlar: Diplomová práce VŠST-1961
8. Štrobach: Diplomová práce VŠST-1972
9. Eisenmann: Diplomová práce VŠST-1967
10. Čejchan: Diplomová práce VŠST-1965
11. Sdělení n.p. ZPS Gottwaldov
1.BŠ Velká Bíteš
Kdyňské strojírny
PS Uherský Brod

o přípravě vzorků.

8.0. Seznam příloh

- 1/ Diagram č.1
/Zrnitost zás.písku u vzorků A-ZPS Gottwaldov/
- 2/ Diagram č.2
/Zrnitost zás.písku u vzorků C-KS Kdyně/
- 3/ Diagram č.3
/Závislost $p = f / T /$ - vzorky A-ZPS Gottwaldov/
- 4/ Diagram č.4
/Závislost $p = f / T /$ - vzorky B-1.BS V.Bíteš/
- 5/ Diagram č.5
/Závislost $p = f / T /$ - opakované měř.vzorku B/
- 6/ Diagram č.6
/Závislost $p = f / T /$ - vzorky C-KS Kdyně/
- 7/ Diagram č.7
/Závislost $p = f / T /$ - vzorky D-PS Uher.Brod/
- 8/ Diagram č.8
/Závislost $p = f / T /$ - nežíhané vzorky A/
- 9/ Výkres 1-DP-1037-73
/Měřicí přípravek/.