

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské metalurgie Školní rok: 1991/92

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Petra Rakuse**
obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Ověřování kombinovaných skořepinových forem pro výrobu přesných odlitků ze slitin hliníku.

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s druhy, složením a vlastnostmi keramických skořepinových forem se zvláštním zaměřením na rozbor pojivového systému při použití netradičních materiálů (lupek, sádra).
2. Seznámení s dosavadními výsledky katedry při vývoji výroby kombinovaných skořepinových forem pro odlévání Al slitin.
3. Návrh složení a postupu výroby kombinované skořepinové formy na bázi lupku a sádry při využití vhodných úprav složení vazné kapaliny.
4. Hodnocení vlastností kombinovaných skořepinových forem připravených podle navrženého postupu včetně odlití zkušebních odlitků a jejich vyhodnocení.
5. Shrnutí dosažených výsledků a formulace návrhů pro možnost uplatnění kombinovaných skořepinových forem v provozních podmínkách.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Odbor strojírenské metalurgie
STROJNÍ PRÁCE
461 17 LIBEREC

KSM/SM

V 33/92S

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, schemata

Rozsah průvodní zprávy: cca 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

1. DOŠKÁŘ, J. a kol.: Výroba přesných odlitků . SNTL, Praha 1976.
2. ŠKLENNIK, J.I. a kol.: Litje po vyplavljajemym modeljam. Moskva, 1984.
3. HOLUBEC, Z.: Možnosti výroby odlitků z Al slitin v kombinovaných skořepinových formách na bázi lupku a sádry. VŠST, Liberec 1991.
4. HOLEČEK, P.: Diplomová práce, VŠST 1991.

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zdeněk Holubec, CSc.
Konzultant:

Zadání diplomové práce: 31. 10. 1991

Termín odevzdání diplomové práce: 29. 5. 1992



Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci

dne 14.11. 1991

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

strojírenská metalurgie

katedra strojírenské metalurgie

OVĚŘOVÁNÍ KOMBINOVANÝCH SKOŘEPINOVÝCH FOREM PRO VÝROBU
PŘESNÝCH ODLITKU ZE SLITIN HLINÍKU

KSM - 409

PETR RAKUS

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing.Zdeněk Holubec Csc.
VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran	: 93
Počet tabulek	: 22
Počet obrázků	: 28
Počet příloh	: -
Počet výkresů	: -

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075943

V Liberci 10.května 1992

PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci 10.května 1992

Petr Rakus

OBSAH

	strana
1. Úvod	8
2. Technologie přesného lití do keramických skořepinových forem	10
2.1. Charakteristika metody	10
2.2. Výroba voskového modelu a sestavení stromečku	10
2.2.1. Výroba vlastního modelu	10
2.2.2. Konstrukce modelového stromečku	12
2.2.2.1. Uspořádání stromečku pro odlévání slitin hliníku	12
2.3. Obalování stromečku	13
2.3.1. Postup obalování stromečku	13
2.3.2. Technika vlastního obalování stromečku	14
2.3.3. Sušení obalů	14
2.3.4. Vytavování modelů	15
2.3.5. Žíhání skořepinových forem	16
2.3.6. Odlévání slitin do skořepinových forem	17
2.3.7. Uvolňování odlitku z forem	17
3. Přehled materiálů pro výrobu keramických skořepinových forem	20
3.1. Žáruvzdorné materiály /ostřiva/	20
3.1.1. Materiály s polymorfními přeměnami	23
3.1.2. Materiály bez polymorfních přeměn	24
3.1.2.1. Pálené lupky	24
3.1.2.2. Molochit, syntrel	25
3.2. Pojiva /vazné kapaliny/	26
3.2.1. Hydrolyzovaný etylsilikát	26
3.2.2. Podmínky hydrolýzy	27
3.2.3. Výpočet jednotlivých složek pro přípravu vazné kapaliny na bázi ETS	28
3.3. Posypové materiály	31
4. Vlastnosti keramických skořepinových forem	32
4.1. Pevnost skořepinových forem	32

4.2.	Prodyšnost skořepinových forem	34
4.3.	Tepelná dilatace skořepinové formy	34
4.4.	Vlivy některých činitelů působících na pevnost a prodyšnost skořepinových forem	35
5.	Kombinované skořepinové formy, jejich vlastnosti a možnosti použití při výrobě odlitků z hliníkových slitin	38
5.1.	Použití keramických forem a forem ze sádrových směsí pro výrobu odlitků ze slitin hliníku	38
5.2.	Výsledky měření dilatačních vlastností keramických skořepin, forem ze sádrových směsí a kombinovaných skořepin	39
5.3.	Měření pevnosti skořepinových forem	42
5.4.	Shrnutí zkušeností z laboratorní i poloprovozní realizace návrhu kombinované skořepinové formy	45
6.	Návrh složení a postupu výroby kombinovaných skořepinových forem	46
6.1.	Základní požadavky na řešení	46
6.2.	Ověřované varianty přípravy kombinovaných skořepinových forem	47
6.3.	Složení sádrové směsi SS-KSM	49
6.4.	Složení a příprava vazné kapaliny na bázi ETS 40	49
6.5.	Výroba a zpracování kombinované skořepiny	50
6.5.1.	Obalování voskového modelu	50
6.5.2.	Sušení obalů	51
6.5.3.	Oddělování skořepiny od modelu	51
6.5.4.	Žíhání vzorků kombinovaných skořepin	51

7.	Hodnocení pevnosti a dilatačních vlastností kombinovaných skořepin	53
7.1.	Hodnocení pevnosti skořepinových forem v ohybu	53
7.1.1.	Příprava zkušebních vzorků	53
7.1.2.	Stanovení pevnosti v ohybu	55
7.2.	Hodnocení dilatačních vlastností skořepinových forem	61
7.2.1.	Příprava zkušebních tělísek	61
7.2.2.	Postup měření	62
7.2.3.	Stanovení dilatačních vlastností	62
7.3.	Diskuse výsledků měření vlastností kombinovaných skořepin	69
7.3.1.	Pevnostní vlastnosti	69
7.3.2.	Dilatační vlastnosti	70
7.4.	Využití výsledků hodnocení vlastností skořepin k návrhu zkušební kombinované skořepinové formy	71
8.	Ověřování kombinované skořepinové formy při odlévání zkušebních odlitek z Al-slitiny	72
8.1.	Výroba voskového stroměčku	72
8.2.	Příprava obalových formovacích směsí /břeček/	75
8.3.	Výroba kombinovaných skořepinových forem	76
8.3.1.	Obalování voskových stroměčků	76
8.3.2.	Sušení obalů	77
8.3.3.	Vytavování modelů	77
8.3.4.	Žíhání skořepinových forem	77
8.4.	Odlévání	79
8.5.	Vytloukání odlitek	79
8.6.	Hodnocení zkušebních odlitek	81
8.6.1.	Hodnocení rozměrové přesnosti	81
8.6.2.	Hodnocení jakosti tvarových odlitek	89

8.7.	Shrnutí zkušeností z ověřování kombinované skořepinové formy	89
9.	Shrnutí a závěry z provedených prací	91
10.	Závěr	92
11.	Seznam použité literatury	93

1. ÚVOD

Vývoj přesného lití

Umělecká díla zaniklých kultur a národů dokazují, že lití metodou vytavitelného modelu je známo již několik tisíciletí.

Umělecké lití dávnověku je shodné s moderní technologií přesného lití jen v principu, např. v tom, že používal také vytavitelný model na výrobu nedělené formy.

V 19. století, kdy se na výrobu odlitků používaly všeobecně dělené pískové formy, upadla tato metoda téměř v zapomenutí; koncem století se uplatnila výroba forem vytavitelným modelem v zubní technice /korunky, zubní protézy/ a v bižuterii.

Teprve 2. světová válka je nástupem průmyslového využití přesného lití. Ukázalo se, že přes všechna zdokonalení nelze litím do dělených pískových forem vyrábět tvarově velmi složité odlitky s úzkými výrobními tolerancemi a s velkou jakostí povrchu.

Dnes se přesné lití vytavitelným modelem úspěšně využívá v těchto průmyslových odvětvích:

Ve strojírenství, zejména ve výrobě energetických zařízení, v leteckém průmyslu, ve zbrojním průmyslu, v textilním průmyslu, ve výrobě psacích a počítačích zařízení, v elektrotechnice, ve sdělovací technice, v optickém průmyslu, v potravinářství, v lékařství, a konečně i umělecké lití moderní doby využívá pokroku dosaženého v přesném lití vytavitelným modelem.

Jak je patrné, tak se metody přesného lití vytavitelným modelem využívá čím dál více. Roste počet oborů, které využívají této metody a přesných odlitků vyrobených touto technologií.

Avšak s rychlým vývojem průmyslu roste i náročnost a složitost přesných odlitků. Zároveň jsou na ně kladeny tvrdé požadavky na rozměrovou, tvarovou přesnost, kvalitu povrchu a různé další požadavky.

Proto se hledají a zkoumají různé způsoby výroby přesných odlitků, s čímž je spojen i výzkum materiálů používaných na výrobu forem. Hledají se různé kombinace složení materiálů a kombinace různých druhů materiálů pro výrobu forem.

Jedním takovýmto směrem je cvěrcování možnosti výroby přesných odlitků v kombinovaných skořepinových formách.

Na tento výzkum navazuje zadání mé diplomové práce. V této práci se zabývám možností výroby přesných odlitků v kombinovaných skořepinových formách na bázi lupku a sádky. Úkolem této práce je bezprostředně navázat na výsledky katedry, zabývající se touto technologií.

Cíl diplomové práce:

Cílem mé diplomové práce je:

1. Návrh složení a postupu výroby kombinované skořepinové formy
2. Ověření vlastností navržených skořepinových forem
3. Odlití zkušebních odlitků a jejich vyhodnocení
4. Formulace návrhů pro možnost uplatnění kombinovaných skořepinových forem v provozních podmínkách

Touto prací chci přispět k rozšíření poznatků o této moderní technologii.

2. TECHNOLOGIE PŘESNÉHO LITÍ DO KERAMICKÝCH SKOŘEPINOVÝCH FOREM

2.1. Charakteristika metody

Tato metoda umožňuje vyrobit odlitky s vysokou rozměrovou a tvarovou přesností, vysokou jakostí povrchu, minimálními přídávky na opracování, odlitky tvarově složité.

Splnění těchto požadavků do značné míry umožňuje použití vytavitelných modelů, pomocí nichž lze vyrobit formy bez dělicí roviny.

Vlastní postup výroby odlitků touto slévárenskou technologií z následujících operací:

- a/výroba voskových modelů a sestavení stromečku
- b/výroba skořepinové formy obalováním stromečku v keramické kašovitě směsi
- c/vytavení modelů
- d/žíhání forem
- e/odlévání
- f/vytlučení odlitků z forem
- g/konečná úprava odlitků

Tato metoda umožňuje výrobu odlitků z různých slitin jak železa tak neželezných kovů.

2.2. Výroba voskového modelu a sestavení stromečku

2.2.1. Výroba vlastního modelu

Na voskové modely jsou kladeny tyto požadavky:

- malá smrštitelnost a nízká roztažnost za vyšších teplot z důvodu neporušení formy při vytavování
- stabilita, pevnost a tvrdost k omezení deformací při změnách teploty
- dostatečná pružnost a odolnost proti otěru

- přesná reprodukovatelnost dutiny modelové formy
- nelepivost na stěny kovových modelových forem
- snadná vyjímateľnost z formy
- co nejmenší zbytky vosku po vytavení ze skořepiny
- nízký obsah popela
- odolnost vůči působení obalových hmot
- žádoucí viskozita
- odolnost proti oxidaci

Z uvedeného je zřejmé, že žádný jednoduchý vosk nemůže splnit najednou všechny výše uvedené požadavky. Z tohoto důvodu se používají voskové směsi sestávající z kombinace různých vosků. Jako příklad složení voskové modelové hmoty lze uvést směs:

- 50 %....parafin R48/50
- 40 %....stearin technický A
- 8 %....ceresin žlutý Z45/56
- 2 %....montánní vosk

Příprava voskové hmoty

Suroviny se taví v duplikátovém kotli ve vodní lázni s regulací teploty /max. 90°C/. Nejdříve se taví surovina s nižším bodem skápnutí, pak postupně ostatní. Hmota se zahřívá do odpaření vody, která je v ní obsažená /hmota přestane pěníť a prskat/. Po vytemperování na teplotu 70-80°C a odstátí se přidává do regenerované vratné hmoty.

Regenerace vratné modelové hmoty

Po vytavení vosku z keramické formy se tento zahřívá na 110°C až do odpaření vody. Teplota nemá překročit 120°C, protože vosková hmota pak oxiduje, tmavne, měkne a stává se lepivou.

Výroba vytavitelných modelů

Používá se regenerovaná hmota s 10 % nové modelové hmoty. Taví se v duplikátovém kotli a udržuje se na teplotě 70-80 C. Modelová hmota se dávkuje do vstřikovacího zařízení /např. UP 11/, kde se v míchačce zamíchá s cca 10 % vzduchu a vytvoří se napěněná modelová hmota, ta se tlakovým vzduchem přepustí do vedlejší nádoby, odkud je vstřikovací hubicí vstříknuta do formy. Napěněná pastovitá hmota se udržuje při teplotě 48-50 C pomocí teplé vody. Jako dělicí prostředek se používá dibutylftalát. Formy se používají ocelové nebo ze slitin hliníku. Odlité hmoty se vyjímají z formy pomocí vyhazovače, hrotují se a opravují drobné závady. Složité dělené modely se spojují zatavením horkou špachtlí.

2.2.2. Konstrukce modelového stromečku

Hotové modely se sestavují do stromečku zatavením na vtokovou soustavu. Současně při návrhu tvaru voskového stromečku se musí vycházet i z poznatků v optimálním plnění formy, usměrněném tuhnutí a dalších aspektů slévárenské technologie. Tyto parametry jsou závislé na druhu odlévaného kovu.

2.2.2.1. Uspořádání stromečku pro odlévání slitin Al

Lití odlitků ze slitin hliníku má v porovnání s litím ocelových odlitků zvýšené požadavky na klidné plnění forem. Je to dáno značným sklonem hliníkových slitin k pění při lití a dále k tvoření nerozpustného oxidu hlinitého. Při malém rozdílu měrné hmotnosti oxidu hlinitého a hliníkové slitiny se Al_2O_3 mechanicky zamíchá v tavenině, dostane se do odlitku a zhorší mechanické, slévárenské vlastnosti a opracovatelnost řeznými nástroji /v případě dalšího opracování/.

Vtoková soustava má zajistit:

a/klidné plnění formy tekutým kovem bez tvoření víru, pění a přílišného snížení lící teploty

b/dokonalé vyplnění formy bez narušení jejich

stěn

c/něměnnost vlastností slévaného kovu
d/usměrněnost tuhnutí odlitku ve formě,
zamezení staženin, ředin a pod., jak již bylo výše nazna-
ženo.

Pro hliníkové slitiny je nejvhodnější
rozšiřující se vtoková soustava, kde plocha průřezů zá-
řezů je větší než plocha průřezu doplňující soustavy,
která je pak větší než plocha průřezu vtokového kůlu.

Doporučený poměr :

$$S_k : S_s : S_z = 1 : 1,1 : 1,5$$

S_k plocha průřezu licího kůlu

S_s plocha průřezu doplňujícího kanálu

S_z celková plocha průřezů zářezů odlitku

/u standartních stromečků součet plochy
průřezů a zářezů odlitku v jedné etáži/

Rozšiřující se soustava zajišťuje plynulé plnění formy
bez již výše popsaného tvoření pěny.

Na jednotlivé části vtokové soustavy se modely připojují
pájením /nejčastěji elektrickou odporovou páječkou/.

2.3. Obalování stromečku

2.3.1. Postup obalování stromečku

Stromeček se postupně namáčí do obalové břechky
připravené z vazné kapaliny /viz.kap. 64/ a mletého
žáruvzdorného ostřiva, načež se posypává žáruvzdorným ma-
teriálem. Jednotlivé vrstvy se musí nechat dokonale vy-
schnout. Postup se opakuje tolikrát, až má obal požadovanou
tloušťku na níž záleží pevnost skořepiny a její rozměro-
vá stálost. Počet obalů může být v rozmezí 3-10, obvykle
však 5 obalů.

Na první obal se jako posyp volí písek jemnější
frakce /do 0,5 mm/, na další obaly hrubší frakce /okolo
1 mm/

Před obalováním je nutné odstranit z povrchu voskového stromečku zbytky dělicího prostředku, jinak první obal dokonale nepřilne. Proto se omyje stromeček v benzínu a po osušení případně ještě v alkoholu. Též je možno před prvním namočením v břečce stromeček ponořit přímo ve vazné kapalině z důvodu lepší přilnavosti na vosk.

2.3.2. Technika vlastního obalování stromečku

Voskové stromečky zbavené nečistot a vytemperované na teplotu pracoviště se namočí do obalovací kašovitě hmoty /břečky/, jejíž viskozita má předepsanou hodnotu : pro první obal se volí 50-60 sec. pro Fordův pohárek ϕ d=6mm, pro další obaly 45-50 sec.

Stromečky se namáčejí pomalým ponořením, při současném otáčení a naklánění tak, aby obalová hmota stromeček rovnoměrně pokryla a aby se nevytvořily vzduchové polštáře, či zde neulpěly bubliny.

Stromeček se vyjme z břečky v okamžiku, kdy se přestanou vylučovat vzduchové bubliny, a nechá se okapat přebytečná břečka.

Posypávání se provádělo původně gravitačně v proudu volně padajícího materiálu. Tento způsob je dnes nahrazen fluidním posypáváním, tj. ponořením namočeného stromečku do vzduchem zčeřeného posypového materiálu. Tento způsob zaručuje rovnoměrnější posyp.

2.3.3. Sušení obalů

Sušení obalů je jednou z nejdůležitějších operací, která ovlivňuje postup vytvrzování keramické formovací směsi v jednotlivých obalech.

Mechanismus tuhnutí keramického obalu spočívá buď v odpaření disperzního prostředí z kapalného pojidla, které vyvolá stavovou změnu solu v gel, nebo vyvoláním této změny chemickými činidly a teprve pak odpařením

disperzního prostředí z pojidla. Koloidní částice solů se snaží zaujmout polohu nejmenší energie, odpařováním disperzního prostředí se koloidní částice přibližují. Jakmile zaujmou polohu nejmenší energie, klesne potenciál elektrické dvojvrstvy na tzv. kritickou hodnotu a sol se hned mění v gel. To je podstata tvrdnutí obalů sušením.

Vzniklý gel je tvořen velmi jemnou strukturou molekul kyseliny křemičité a křemičitými zrny. Pojivový účinek je tedy vyvolán souvislou vrstvičkou oxidu křemičitého na zrnech žáruvzdorného materiálu. Vazná vrstvička má amorfni strukturu.

Nejčastější způsoby sušení jsou:

- a/ v prostředí vzduch - páry amoniaku
- b/ v prostředí vlhký vzduch
- c/ v prostředí suchý vzduch

Rychlost schnutí obalů ovlivňují tyto faktory:

- 1/ Těkavost disperzního prostředí vazné kapaliny, z níž byla obalová hmota připravena.
- 2/ Koncentrace koloidní disperze SiO_2 i jeho hydrátů v tekutém pojidle.
- 3/ Klimatické podmínky v sušicím prostředí
- 4/ Velikost zrna posypového materiálu

2.3.4. Vytavování modelů

Po nanesení posledního obalu a dokonalém usušení skořepiny se z ní musí vytavitelný, nejčastěji voskový model odstranit.

Vytavování modelu se provádí několika způsoby:

a/ Vytavování za vysoké teploty

Obalené stromečky se vloží do pece vyhřáté na teplotu nejméně 750°C , jako pracovní teplota se uvádí $900-1100^\circ\text{C}$, takže se spojí vytavení modelové hmoty s vyžeháním skořepiny.

b/ Vytavování za nízké teploty

- v roztavené hmotě stejného složení jako má hmota modelů, ohřátá na teplotu 2x vyšší než je její teplota tavení

-v lázni z nízkotavitelné slitiny, např. slitiny cínu, antimonu, vizmutu

-ve vroucí vodě

c/ Vytavování v autoklávu

V současné době se většinou přechází od vytavování modelů v horké vodě k vytavování v syté vodní páře v tlakových nádobách. Tlak páry se pohybuje v rozmezí 0,3-0,6 MPa při teplotě 135 - 165°C.

d/ Vytavování dielektrickým ohřevem

Skořepiny se zvlhčí vodou a umístí se v poli vysokofrekvenčních oscilací. Vlhká skořepina se rychle ohřeje, vosk těsně u skořepiny se odtaví a vytvoří se dilatační spára, která umožní rozpínání vosku bez popraskání skořepiny.

e/ Vytavování horkým vzduchem

Proud horkého vzduchu se vede do středu vtokového kúlu voskového stromečku, který se tak protaví dřív než se ohřeje celý model odtavený z vnitřku. Zabrání se tím dilataci modelu a potrhání skořepiny.

2.3.5. Žihání skořepinových forem

Při žihání se převede amorfnní forma vazné vrstvičky SiO_2 na formu krystalickou a odstraní se všechny těkavé látky /zbytky vosku/.

K žihání skořepin se u nás používají nejčastěji elektrické odporové pece. Teploty se od uložení skořepiny

do pece až po konečnou teplotu žíhání řídí druhem skořepiny a odlévaným materiálem.

Skořepiny o nízkém koeficientu tepelné roztažnosti, které neprocházejí při ohřevu polymorfními přeměnami, snášejí tepelné rázy a mohou se vkládat do pece již vyhřáté na vyšší teploty. Musí však být dostatečně vysušeny. Jde o skořepiny na bázi lupku, molochitu, atd.

Naproti tomu skořepiny z křemenného materiálu vyžadují pomalejší ohřev a opatrné ohřívání v oblasti pevné krystalické přeměny /573°C/. Tato překrystalizace by mohla při prudkém chřevu přes teplotu polymorfní přeměny vyvolat popraskání formy.

2.3.6. Odlévání slitin do skořepinových forem

Odlévání taveniny se provádí nejčastěji do forem předeřtých předchozím žíháním, z důvodu omezení tepelného šoku formy, při němž by mohlo dojít k porušení formy. Minimální teplota formy z křemenných materiálů před litím by měla činit 600°C.

Jedná-li se o zasypanou skořepinu provádí se žíhání skořepiny již v zásypu.

Při odlévání do skořepin s nekřemenným ostřivem lze tuto teplotu snížit.

2.3.7. Uvolňování odlitků z forem

Uvolňování odlitků ze skořepin záleží na tvaru odlitků a jejich sestavě na stromečku.

Často stačí údery ručním kladivem na vtokovou soustavu; velmi se však osvědčilo mechanizované zařízení s vibračním kladivem.

Po předběžném hrubém odstranění keramického obalu následuje odstranění zbytků keramiky - čištění. Odlitky se čistí chemicky nebo mechanicky.

1/ Chemické čištění

a/ loužení odlitků v tavenině NaOH

- b/ loužení odlitků v roztocích hydroxidů
- c/ čištění v kyselých lázních

Chemické způsoby odstraňování keramiky z přesných odlitků mají tyto výhody a nedostatky.

- Výhody:
- umožňují odstranit keramiku z těžko přístupných míst, kde by se s mechanickým způsobem nevystačilo
 - mořený odlitek má hladší povrch, který je měkkčí než otryskaný
 - póry, trhliny a jiné vady odlitků jsou dobře rozeznatelné, kdežto po otryskání se zjišťují obtížně
 - zároveň s keramikou se odstraní v některých případech i okuje
 - úbytek materiálu je menší než při otryskání

Nedostatky :

- rozpuštění keramiky ve vodních roztocích alkálií nebo kyselin probíhá pomalu a odlitky se musí dočišťovat mechanicky
- zbytky lázní z pórů odlitků se špatně odstraňují a hrozí nebezpečí pozdějšího zkorodování odlitku
- všechny způsoby chemického čištění jsou náročné na vybavení pracoviště i na dodržování zásad bezpečnosti práce

2/ Mechanické čištění odlitků

a/ cmílání - tento způsob se v praxi neujal

b/ tryskání - při této metodě se využívá kinetické energie proudu kovové drtě. Během této operace lze vytvořit povrch o požadované hrubosti - drsnosti povrchu. Toto je závislé na hrubosti tryskacího materiálu.

Čištění odlitků z neželezných slitin

Zbytky keramické formy se dají ze slitin Cu,

Zn, Al, apod. dají odstranit prakticky jen otryskáváním
drtí vápence, zirkonu nebo drtí z plastických nebo jiných
měkkých hmot, a to jen nízkým tlakem vzduchu;

Po tomto stručném přehledu postupu výroby odlit-
ků v keramických skořepinových formách se v další kapi-
tole podrobně zaměřím na jednotlivé složky keramických
formovacích směsí, jejich vlastností a jejich vliv na
způsob přípravy skořepinových forem.

3. PŘEHLED MATERIÁLU PRO VÝROBU KERAMICKÝCH SKOŘEPINOVÝCH FOREM /1,2,3/

3.1. Žáruvzdorné materiály /ostřiva/

Vývoj v přesném lití metodou vytavitelného modelu směřuje k výrobě větších odlitků z materiálů o vysokém bodu tavení, velmi často z řady nejnovějších žárupevných slitin, které se taví a lijí stále se zdokonalující vakuovou technikou. Tento vývoj vyžaduje formovací hmoty, z nichž lze vyrobit skořepiny o vysoké pevnosti a únosnosti v žáru, které nereagují s vlévanými slitinami a minimálně se objemově mění během výrobního procesu a mají vyhovující prodyšnost.

Skořepiny s nízkou pevností a únosností v žáru jsou vhodné na výrobu drobných a lehkých odlitků. Při větším objemu kovu skořepina v důsledku vyšší tepelné kapacity měkne a deformuje se. Výsledkem je zdeformovaný odlitek. Jinak může při velké hmotě odlitku kov také pronikat do stěn skořepiny a odlitek bude pro špatnou kvalitu povrchu nepotřebný. Skořepiny s nízkou pevností jsou snadno erodovány vlévaným kovem a jejich uvolněné částičky mohou být příčinou zadravených odlitků.

Nejsou-li skořepiny netečné vůči vlévanému kovu a kovovým oxidům, jsou vzniklé reakční produkty také příčinou nekvalitního odlitku.

Skořepiny se strmou expansí křivkou nedovolují výrobu odlitků s úzkými rozměrovými tolerancemi; takové skořepiny se musí žíhat velmi opatrně, jinak popraskají, mají nízkou prodyšnost a jsou někdy i drobivé. Při lití do málo prodyšných forem, za normálních atmosférických podmínek, nemohou plyny z roztaveného kovu a uzavřený vzduch uniknout stěnami skořepiny, kov nemůže dokonale formu vyplnit a odlitky budou nezaběhlé, se špatnou jakostí povrchu.

Základní vlastnosti skořepin, jako je žáruvzdornost,

tepelná roztažnost a netečnost vůči vlévanému kovu, jsou určeny především charakterem žáruvzdorného materiálu v obalové hmotě, méně již kapalným pojivem. Proto jsou pro výběr vhodného materiálu směrodatné tyto ukazatele:

- 1/ bod tavení
- 2/ tepelná roztažnost
- 3/ netečnost vůči vlévanému kovu

Jako žáruvzdorné materiály na výrobu skořepin se používají oxidy, křemičitany, hlinitany, silicidy, karbidy, boridy, nitridy i intermetalické sloučeniny.

Poněvadž však vedle uvedených materiálových vlastností je nutné, aby vhodný žáruvzdorný materiál byl k dispozici v dostatečném množství, a aby měl pro účely přesného lití vyhovující zrnitost a přijatelnou cenu, redukuje se jejich řada jen na některé oxidy a křemičitany.

Tabulka 3-1: Vlastnosti oxidů

oxidy	měr.hmot./kgdm ⁻³	tep.roztaž. 300-1000°C	bod tavení [°C]
SiO ₂	2,65	1,54	1560
TiO ₂	4,25	0,25 - 0,92	1820
Al ₂ O ₃	4,00	0,21 - 0,97	2040
ZrO ₂	5,70	0,21 - 1,10	2715
BeO	3,00	0,21 - 1,00	2750
MgO	3,60	0,25 - 1,45	2800

Měrné hmotnosti uvedené v tab.3-1 nerozhodují o základních vlastnostech skořepiny, pouze o rozdílu její hmotnosti. Mají však význam pro výrobce přesných odlitků, protože určují stabilitu obalových hmot. Rychle sedimentující formovací hmoty působí potíže v provozu, a proto je výhodnější žáruvzdorný materiál s nízkou měrnou hmotností. Z tabulky vyplývá, že pro výrobu keramických skořepin vyhovují SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂, BeO.

BeO je však velmi toxický. Proto se využívá jen pro speciální účely. ZrO_2 musí být stabilizován oxidy některých kovů, aby měl vyhovující roztažnost.

Křemičitany, které se používají jako surovina pro keramické výrobky jsou zahrnuty v tab. 3-2. Z tabulky je vidět, že zejména z hlediska tepelné dilatace vyhovují z řady křemičitanů jen mullita zirkon. Sillimanit je velmi vhodný materiál na výrobu forem pro přesné lití neželezných kovů a jejich slitin.

Tabulka 3-2 : Křemičitany, které se používají jako surovina pro keramické výrobky

materiál	bod tavení [°C]	teoretická měr. hmotnost [g/cm ³]	tepelná roztah. [%]
Cordierit ($2MgO \cdot SiO_2$)	1470	2,5	0,08-0,3
Forsterit ($2MgO \cdot SiO_2$)	1910	-	1,2
Sillimanit ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$)	1545 ⁺	3,25	0,43
Mullit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)	1855	-	0,16-0,55
Spinel ($MgO \cdot Al_2O_3$)	2050	3,6	0,97
Steatit ($MgO \cdot SiO_2$)	1545	-	1,1
Zirkon ($ZrSiO_4$)	2095	4,7	0,16-0,63

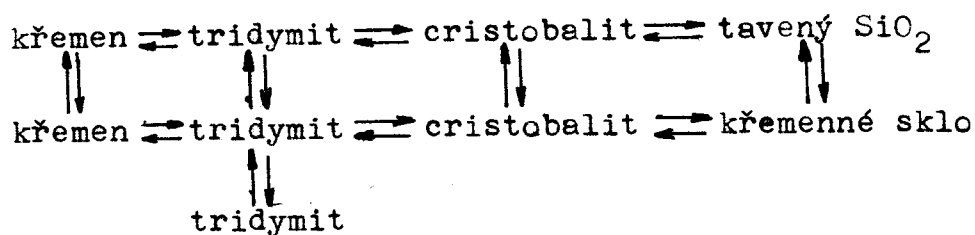
+ Nejde o tavení v pravém slova smyslu, ale o přeměnu na krystalický mullit $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ a sklovitě tekoucí fázi bohatou na SiO_2 .

3.1.1. Materiály s polymorfními přeměnami

Z hodnot uvedených v tab.3-1 vyplývají především určitá omezení pro použití křemene jako ostřiva keramických formovacích směsí. Má nižší žáruvzdornost, proto je jeho použití omezeno do teplot 1540°C , a vysoký koeficient tepelné roztažnosti. Kromě toho prodělává několik krystalografických přeměn spojených s náhlými objemovými změnami.

Základní a nejrozšířenější forma křemene je α -křemen. Tento je stálý při normálních teplotách. Při teplotě 573°C se přeměňuje na β -křemen. Tato modifikace SiO_2 je stálá v oblasti teplot $573-870^{\circ}\text{C}$.

Polymorfie SiO_2 má složitý charakter. V některých teplotních oblastech může existovat i několik modifikací. Mechanismus těchto přeměn je schématicky znázorněn následovně :



Vodorovnými šipkami jsou vyznačeny směry přeměn, které probíhají při ohřevu nebo při ochlazování. ++ Svislé šipky označují rychlé přeměny, které při ohřevu nebo při ochlazování.

++ Probíhají pomalu, jen při zvláštních podmínkách.

Nejzávažnější důsledky těchto polymorfních přeměn ovlivňujících vlastnosti formovacích směsí jsou změny měrné hmotnosti a již zmíněné změny objemu vyplývající z roztažnosti křemenných zrn při ohřevu povrchových vrstev formy. Ty mohou způsobit popraskání vlastní skořepiny.

3.1.2. Materiály bez polymorfních přeměn

Z technické literatury i z praktického používání ve slévárnách přesného lití je známá řada materiálů bez polymorfních přeměn jako např. tavený křemen /křemené sklo/, pálený kaolín /prodáváný jako molochit - dovoz z Anglie, syntral - výrobek ČSFR/, korund, zirkon.

Z molochitu, respektive syntralu, lze vyrobit skořepinu s pevností $R_{mo} = 3 - 6$ MPa. Pokud je však pevnost skořepinové formy vyšší jak 2 MPa, pak se to odráží v jejím obtížném odstraňování z dutin, žeber, apod.

Tuto operaci lze částečně zmechanizovat otryskáváním ocelovou drtí, což však zhoršuje kvalitu povrchu odlitku. Tato nevýhoda spolu s vysokou cenou jsou důvodem, proč v a.s. MESIT - Uherské Hradiště byl zahájen vývoj samonosné skořepiny na bázi tuzemského lupku./5/

3.1.2.1. Pálené lupky

Jedná se o šamotové ostrivo, které neprodělává polymorfní přeměny a je cenově výhodné. Skládá se z SiO_2 a nejméně 30 % Al_2O_3 , všechny ostatní příměsi jsou pokládány za znečišťující a jejich množství závisí na čistotě výchozích surovin.

Změnám poměrů SiO_2 a Al_2O_3 odpovídají fázové změny a tím i vlastnosti hmoty.

Chemické složení a fyzikální vlastnosti stanovuje norma ČSN 72 13 00 - pálené lupky. Slévárenské lupky jsou dodávány v C 342 HR.

Chemické složení pálených lupků :

Al ₂ O ₃		.35 - 42%
Ti O ₂		.1,2 -2,5%
Fe ₂ O ₃		.1,5 -3 %
Ca+Mg		.asi 1 %
alkálie		.asi 0,5%
Si O ₂		.zbytek do 100 %

Pálené lupky mají nižší teplotní dilatace než u křemene a je srovnatelná s již dříve uvedenými materiály /molochit, atd./

3.1.2.2. Molochit, syntral

Jde o pálený kaolín /mullit/, jehož chemické složení je : SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃+TiO₂+CaO+MgO+K₂O+Na₂O

Molochit /syntral/ je v podstatě mullit s jednotlivými částicemi v obálce amorfního SiO₂.

Chemické složení syntralu /Západočeské keramické závody n.p. Horní Bříza/, respektive molochitu 200 /Velká Británie/:

ztráty žíháním	0,86% respektive	0,21%
SiO ₂	55,8 %	53,31%
Al ₂ O ₃	38,74 %	42,62%
Fe ₂ O ₃	0,96 %	1,03%
TiO ₂	1,04 %	0,15%
CaO	0,49 %	0,35%
MgO	0,29 %	0,3 %
K ₂ O	1,5 %	1,83 %
Na ₂ O	0,15 %	0,09 %

Po zhodnocení uvedených poznatků a s přihlédnu-

tím k zaměření práce na keramické formy pro odlévání slitin neželezných kovů /v úzké součinnosti se slévárnou přesného lití a.s. MESIT -Uherské Hradiště/ se dále zaměřuji na použití molochitu ,páleného lupku a v malém rozsahu mletého křemene.

3.2. Pojiva /vazné kapaliny/

Pojivo /vazná kapalina/ spolu se žáruvzdorným materiálem, jež je v něm rozptýlen, tvoří vlastní kašovitou směs /břečka/ do níž se namáčejí voskové modely. Pojivo musí mít tyto základní vlastnosti :

- a/ nesmí snižovat žáruvzdornost formy a musí být netečné při žíhání formy k žáruvzdornému materiálu a při odlévání k roztavenému kovu
- b/ musí dát formě po ztuhnutí dostatečnou pevnost jak po vysušení, tak po vyžíhání.

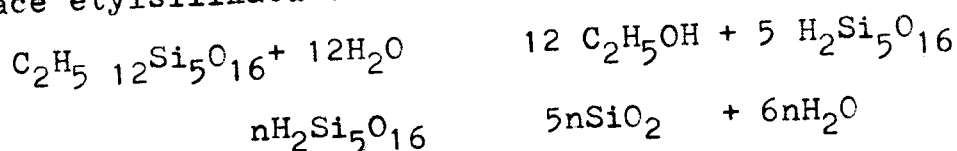
Jako pojiva formovacích hmot na skořepinové formy se používají především koloidní roztoky SiO_2 . Nejběžněji používaným pojivem je hydrolyzovaný etylsilikát.

3.2.1. Hydrolyzovaný etylsilikát

Polymerní etoxypolysiloxany s obsahem 40% SiO_2 , které se běžně používají pro přípravu kapalných pojiv, jsou směsí etoxyskupin, v níž převažuje dodekaetoxypentasiloxan. Prodávají se pod obchodním označením ETYLSILIKÁT 40, SILESTER 0, DYNASIL 40, atd. V této podobě jsou poměrně stále skladovatelné. Jejich alkoholický roztok dává s vodou a vhodným hydrolyzačním katalyzátorem velmi stabilní kapalně pojivo.

Při hydrolytickém štěpení etoxypolysiloxanu /hydrolyze etylsilikátu 40/ vznikají molekuly kyseliny polykřemičité a celý systém se chová navenek jako alkoholický koloidní roztok SiO_2 /alkosol/.

Hydrolýza a s ní současně probíhající dehydratace etylsilikátu 40 :



Obsah SiO_2 v solu se pohybuje obvykle mezi 10 - 20%. Stabilita solů je omezená, časem přechází v gel, což spočívá v seskupování částic. Tento pochod je principem vytvrzování směsí.

3.2.2. Podmínky hydrolýzy

a/ vliv katalyzátoru

Etylsilikát 40 není ve vodě rozpustný, je však rozpustný v alkoholu, stejně jako voda. Hydrolýza probíhá v přítomnosti katalyzátoru. Nejčastěji se používají kyselé katalyzátory HCl , H_2SO_4 , zřídka alkalické.

Množství katalyzátoru, rychlost přidávání /rozředěno destilovanou vodou/ a teplota hydrolyzujícího systému ovlivňují charakter kapalného pojiva. V silně zreagované etoxyskupiny zůstávají delší dobu nedehydratované. V roztoku jsou polymerové molekuly, dosahující 4 OH skupin a 7 atomů Si. Při nižší koncentraci se poměr snižuje na 2 skupiny OH a 7 atomů Si, atd.

Rychlým růstem molekul a disperzní fáze mohou být OH skupiny uzavřeny do nitra obrovité trojrozměrné molekuly, uzavřené polymerovými řetězy.

V slabě kyselém prostředí je dehydratace úplná.

b/ stupeň hydrolýzy

Je dán množstvím použité vody na hydrolýzu. Poměr mezi množstvím použité vody a množstvím etylsilikátu

se pohybuje od 9,5 - 26 %. Použitím většího množství vody než je nutné k rozštěpení molekul etoxypolysiloxanů vzniknou soly ve smíšeném prostředí, což se projeví pomalejším schnutím, nižší pevností obalů a zkrácením životnosti pojiva.

c/ vliv teploty

Teplota rozhoduje o životnosti a vlastnostech alkosolů SiO_2 a jeho hydrátů. Se vzrůstající teplotou se zkracuje doba přeměny solu v gel a snižuje se životnost vazné kapaliny. Teplota nemá při hydrolyze překročit 40°C . Probíhá-li však hydrolyza při nízké teplotě, nenastane gelace ani po dlouhé době /samovolně/.

d/ koncentrace SiO_2 v etylsilikátu

Se stoupající koncentrací SiO_2 v etylsilikátu vzrůstá i rychlost hydrolyzy, zároveň stoupá i teplota hydrolyzátu. Nadměrná rychlost hydrolyzy je příčinou nedokonalé dehydratace, podobně jako v případě vysoké koncentrace katalyzátoru.

Jak již bylo uvedeno, dodávané etylsilikáty obsahují kolem 40 % SiO_2 .

3.2.3. Výpočet jednotlivých složek pro přípravu vazné kapaliny na bázi ETS /3/

V citované literatuře jsem získal postup pro výpočtovou přípravu hydrolyzy ETS, který v této práci uvádím jednak pro doplnění poznatků, jednak pro možnost posouzení konkrétních používaných postupů hydrolyzy. Obvykle se určuje množství pro přípravu vazné kapaliny z 1 kg ETS :

voda - X /kg/, /l/, , /ml/
rozpouštědlo - R /kg/, /l/, /ml/
HCl - K /ml/

Nezbytné předpoklady pro výpočet :

a/způsob sušení obalů

I. voda - sušení v prostředí : vzduch - páry amoniaku

II, voda - sušení v prostředí : vlhký vzduch

III. voda - sušení v prostředí : suchý vzduch

/obr.3-1/

b/potřebná pevnost obalů /skořepiny/

c/skutečný obsah SiO_2 v ETS

d/obsah etoxy skupin, HCl v ETS

Hodnota $m = \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$ se volí v závislosti na způsobu sušení

I. $m = 0,25 - 0,35$

II. $m = 0,6 - 0,7$

III. $m = 1,0$

-1. Určení množství vody X :

a/ pomocí nomogramu - množství vody na levé stupnici

b/ výpočtem - $X = 0,004 \cdot a \cdot m$ (3 - 1)

kde a . . . obsah etoxy skupin v ETS [%]

m . . . množství molů vody na 1 etoxy skupinu

-2. Určení množství rozpouštědla - ředidla R :

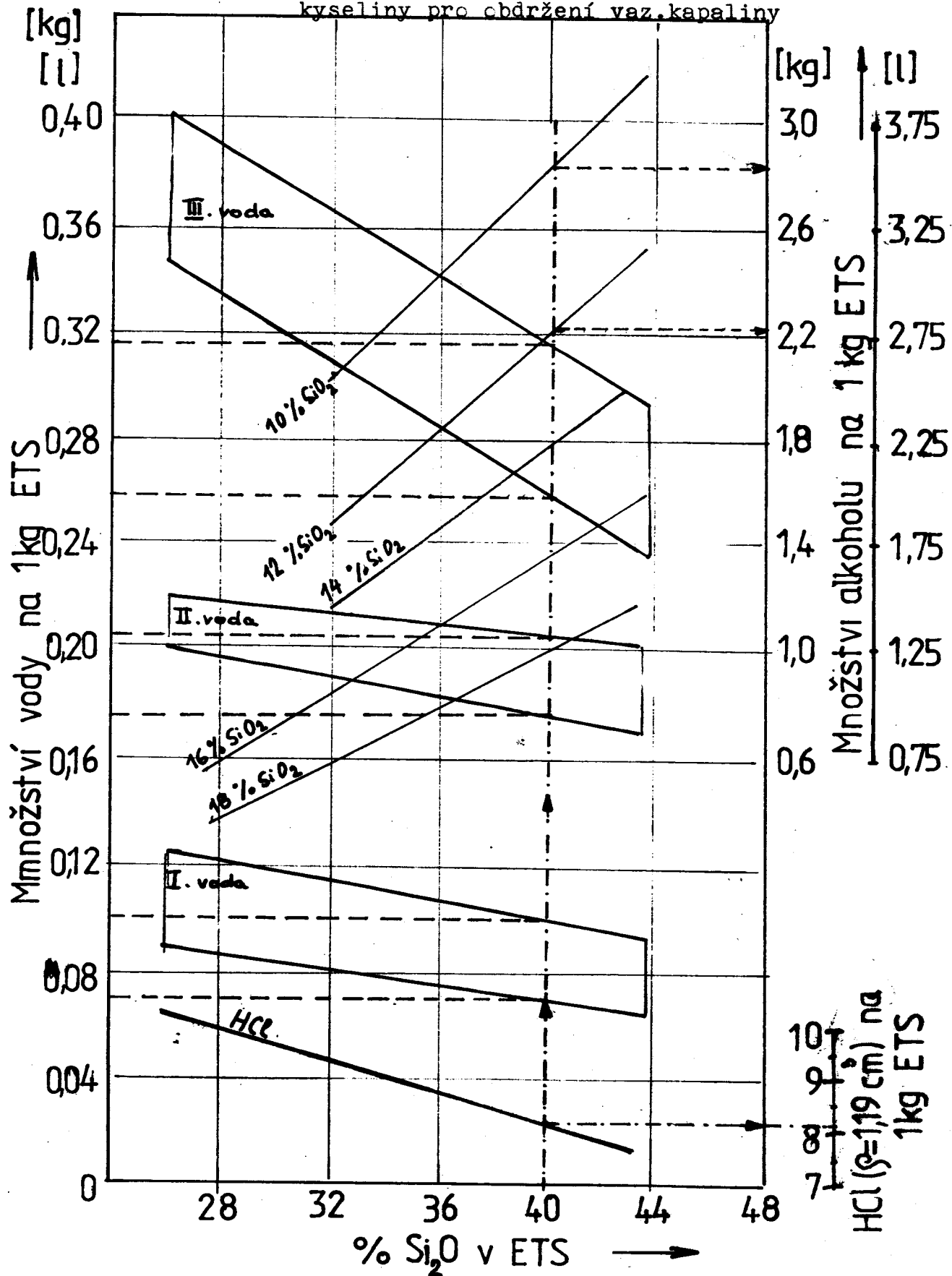
vychází se ze stanovení konečného obsahu SiO_2 v hotové vazné kapalině - na stupnici vpravo u nomogramu, od průsečíku na přímce pro příslušný obsah SiO_2 ve vazné kapalině

-výpočtem :

$$R = \frac{\text{SiO}_2(\text{ETS})}{\text{SiO}_2(\text{vaz.kap.})} - (1 + X) \quad (3 - 2)$$

kde SiO_2 ETS . . . obsah SiO_2 v ETS [%]

Obrázek 3-1 : Ncmogram stanovení alkoholu, vody a
kyseliny pro obdržení vaz. kapaliny



SiO₂ vaz. kap. obsah SiO₂ ve vazné kapalině [%]
 X množství vody stanovené před-
 chozím výpočtem [kg]

Poznámka : Při konečném určení množství rozpouštědla je
 nutno vzít v úvahu obsah vody v něm a pomocí
 toho upravit obsah vody pro hydrolýzu ETS

-3. Určení množství kyseliny HCl - K :

a/ pomocí nomogramu :

od průsečíku na přímce HCl - na dolní stup-
 nici vpravo kyseliny = 1,19 g.cm⁻³

b/ výpočtem : K = 0,114.a (3 - 3)

3.3. Posypové materiály

Jsou součástí při tvorbě skořepiny po nanese-
 ní vrstvy keramické obalové směsi na model, případně na
 předchozí keramický obal. Jejich účelem je zabránit sté-
 kání nanesené vrstvy kašovité směsi, ovlivnit mechanické
 a technologické vlastnosti skořepiny /pevnost, prodyšnost/
 i její celkovou tloušťku.

Nejčastěji se používají zrnité materiály -
 křemen, moločit, případně lupek. Jejich zrnitost se volí
 podle pořadí vytvářeného obalu.

Na první obal posyp zrnitosti do 0,3 mm

Na další obaly posyp zrnitosti od 0,5 do 1,0 mm

O některých dalších netradičních materiálech pro
 výrobu skořepinové formy, především kombinovaných, bude
 pojednáno v dalších kapitolách mé práce.

4. VLASTNOSTI KERAMICKÝCH SKOŘEPINOVÝCH FOREM /2,3/

Vlastnosti materiálů na výrobu forem ovlivňují vlastnosti připravené keramické skořepinové formy v jednotlivých fázích její výroby a použití, jejichž odchylky od předepsaných hodnot jsou v přímé souvislosti s potížemi ve výrobě.

K základním vlastnostem patří:

- pevnost vysušené skořepiny v ohybu - určuje její spolehlivost při manipulaci s ní,
- pevnost vyžíhané skořepiny - určuje přípustný hydrostatický tlak litého kovu, s čímž souvisí i rozměry a hmotnost odlitku,
- prodyšnost - rozhoduje o povrchové kvalitě odlitku a dokonalém vyplnění formy kovem,
- tepelná dilatace skořepinové formy jako celku
 - je důležitou hodnotou proto, že objemové změny skořepin ve výrobě ovlivňují výslednou přesnost odlitků.

4.1. Pevnost skořepinových forem

Ve ztuhlé skořepinové formě následkem dilatace modelů, a také při vytavování nebo při vyžíhání, vznikají napětí tahová, tlaková, ohybová, kluzová. Jestliže tato napětí dosáhnou meze pevnosti skořepiny, tak se v ní objeví praskliny, trhliny - nejvíce vyskytující se defekt. Tavenina v průběhu lití a po něm, do vytvoření pevné ztuhlé vrstvy, působí uvnitř na formu tlakem, který ji může porušit. A proto musí mít skořepinová forma dostatečnou pevnost i tvrdost, aby mohla odolávat tlaku taveniny, vymílání při proudění taveniny.

Zvláště důležitá je pevnost a tvrdost skořepiny v horkém stavu. Po ztuhnutí odlitku by forma měla být poddajná aby nebránila smršťování kovu při chladnutí a

tím omezila tvoření vnitřních pnutí, vedoucích nezřídka k deformacím, případně vzniku trhlin v odlitcích.

Potřeba pevnosti formy v horkém stavu a její poddajnosti si navzájem odporují. Zabránit vzniku trhlin je umožněno snížením pevnosti skořepiny do možné meze nebo zvýšením teploty formy s tím, aby se zpomalilo tuhnutí kovu.

Po vychladnutí odlitku by forma měla být snadno rozrušitelná, aby se bez obtíží dala odstranit z odlitku bez jeho porušení.

Pevnost skořepiny v ohybu se vypočítá ze vzta-
hu :

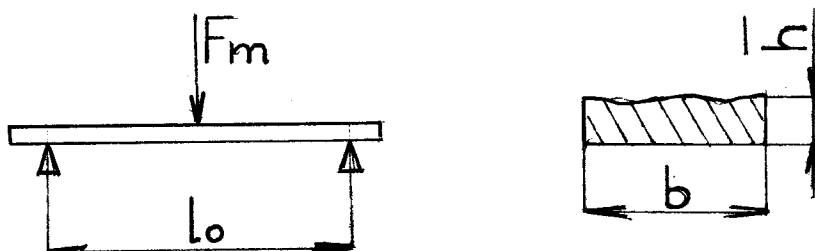
$$R_{mo} = \frac{3 \cdot F_m \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{MPa}] \quad (4-1)$$

F_m zatěžovací síla [N]
 l_0 vzdálenost hrotů [mm]
 b šířka vzorku [mm]
 l délka vzorku [mm]
 h tloušťka vzorku [mm]
 n počet měření

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} \quad (4-2)$$

R_{mo} se pohybuje v rozmezí 3 - 10 [MPa]
 rozměry zkušebních tělísek 125 x 25 x h [mm]

Obrázek 4-1 Schéma určení pevnosti v ohybu skořepinových forem



4.2. Prodyšnost skořepinových forem

Prodyšnost skořepinové formy je její schopnost propouštět plyny a páry při lití. Závisí na množství pó-
rů ve skořepině a na tom, do jaké míry jsou vzájemně
propojeny.

Prodyšnost keramických forem pro přesné lití
ve srovnání s prodyšností dělených pískových forem je
nepatrná. Málo prodyšné formy mohou způsobit potíže v pro-
cesu výroby přesných odlitků. Poněvadž při lití do málo
prodyšných skořepin za normálních atmosférických podmí-
nek nemohou plyny z roztaveného kovu a uzavřený vzduch
uniknout stěnami skořepiny, kov nemůže dokonale formu
vyplnit a odlitky budou nezaběhlé se špatnou jakostí po-
vrchu.

Právě s ohledem na velmi nízké hodnoty prodyšno-
sti skořepin je měření technicky náročné a obtížné.

4.3. Tepelná dilatace skořepinové formy

Při odlévání kovu do skořepinové formy je vysta-
vena forma dlouhodobému působení teploty vyšší než je
teplota likvidu taveniny. Následkem toho se forma během
tohoto procesu objemově mění, což může být příčinou pro-
vozních potíží při výrobě přesných odlitků. Hodnota te-
pelné roztažnosti závisí především na chemickém složení
žáruvzdorných materiálů, popř. jejich chemickotepelném
zpracování. Je důležitá zejména při volbě velikosti pří-
davek na smrštění při výrobě matečného modelu, v úzké
souvislosti se znalostí součinitele smrštění kovu nebo
slitiny, z nichž se odlitek vyrobí. Průběh křivky roztaž-
nosti v souvislosti s krystalizačními přeměnami je důle-
žitý zejména u nejpoužívanějšího formovacího materiálu,
křemene, při určení správného režimu vypalování skořepin.

K měření tepelné roztažnosti se obvykle použí-
vají různé typy dilatometrů, nejčastěji křemenné s vodo-
povným uspořádáním, v nichž se proměřují zkušební vzorky

připravené stejným postupem jako vlastní skořepinové formy.

Dilatace vzorku při zvolených podmínkách ohřevu, obvykle odporovou pecí, se registrují a vyhodnocují. Podrobněji bude tato zkouška popsána v experimentální části.

4.4. Vlivy některých činitelů působících na pevnost a prodyšnost skořepinových forem

Změny v kvalitě skořepiny, v její pevnosti, prodyšnosti, popř. tepelné roztažnosti mohou vést k poruchám a obtížím při výrobě.

Vzhledem k tomu, že se v Československu používá na výrobu skořepinových forem především křemenný materiál a etylsilikát, je kontrola formovacích hmot zaměřena na sledování vlastností surovin pro tuto technologii.

Na pevnost skořepin má vliv :

- tvar a velikost zrna žáruvzdorné moučky v obalové hmotě, v menší míře také tvar a velikost posypového materiálu,
- koncentrace koloidního oxidu křemičitého v obalové hmotě,
- množství pojiva v obalové hmotě,
- technologie obalování a sušení.

Pro křemennou moučku /kvarcit/ všeobecně platí, že hrubá moučka dává skořepinám menší pevnost v chybu než jemná. Podle literatury pevnost skořepin ovlivňuje posypový materiál s nízkým rozsahem zrnitosti jen málo. Jestliže je však rozsah zrnitosti široký, je pevnost velmi ovlivněna. V rozmezí zrnitosti křemenného písku 0,06 - 0,5 mm nezávisí pevnost skořepiny na zrnitosti posypového materiálu, pokud má posyp nízký rozsah velikosti zrna. S přísadou jemnějších podílů pevnost poněkud

stoupne. Pro husté obalové hmoty z křemenné moučky s dlouhou výtokovou dobou není vhodný jemný posypový písek, poněvadž na obalu špatně drží a nezaručuje dokonalou soudržnost jednotlivých obalů. Skořepiny z tavých obalů nemají vysokou pevnost.

Na prodyšnost skořepin má vliv :

- velikost a tvar žáruvzdorné moučky a posypového materiálu,
- koncentrace a typ kapalného pojidla,
- teplota a doba žíhání skořepin.

Vliv zrnitosti posypového materiálu na skořepiny - s rostoucí velikostí zrna posypu roste prodyšnost skořepin až určité hodnotě velikosti zrna posypu. S dalším růstem zrna posypu prodyšnost poklesne, a to zejména u hustších obalových hmot. Pokles prodyšnosti skořepin s hrubým posypem se vysvětluje tak, že jsou mezi jednotlivými zrny větší volné prostory, do nichž při opakovaném namáčení do obalové hmoty snadno hmota pronikne, zejména jestliže je vyskóznější, nevyteče, volné prostory mezi zrny zcela vyplní.

Zvyšováním teploty a prodlužováním doby žíhání se pevnost skořepin zvyšuje. Také prodyšnost se zvyšuje s prodlouženou dobou žíhání za předpokladu, že v obalové hmotě nejsou látky snižující teplotu tavení žáruvzdorné moučky. V takovém případě by došlo ke snížení prodyšnosti forem.

Využití materiálů na bázi SiO_2 k výrobě forem pro přesné lití je v ČSFR velmi rozšířené, protože tento materiál je z dostupných tuzemských surovin, které jsou oproti zahraničním materiálům levné. Těchto materiálů se využívá především k výrobě přesných odlitků ze slitin železa a již méně pro výrobu odlitků z barevných kovů, zejména hliníku. Zde mají klasické keramické skořepinové formy na bázi SiO_2 - vzhledem k překrystalizaci

křemene a s ní spojenými změnami průběhu dilatací a dále k obtížnostem při čištění odlitků- omezené použití.

Proto se hledají stále nové materiály a jejich kombinace, které by vyhovovaly svými vlastnostmi požadavkům výroby přesných odlitků ze slitin hliníku metodou vytavitelného modelu - dostatečná pevnost, prodyšnost, minimální objemové změny a též snadnost při čištění odlitků. Touto problematikou se zabývá i Katedra strojírenské metalurgie při VŠST Liberec, která ověřovala možnosti výroby odlitků z hliníkových slitin v kombinovaných skorepinových formách na bázi lupku a sádry.

Na její výsledky navazují při řešení mé diplomové práce.

5. KOMBINOVANÉ SKOŘEPINOVÉ FORMY, JEJICH VLASTNOSTI
A MOŽNOSTI POUŽITÍ PŘI VÝROBĚ ODLITKU Z HLINÍ-
KOVÝCH SLITIN

Možnost netradiční přípravy skořepinových forem pro přesné lití slitin hliníku byla z podnětu slévárny a.s. MESIT - Uherské Hradiště ověřována na Katedře strojírenské metalurgie VŠST v Liberci. Postup řešení, dosažené výsledky včetně návrhu složení a postupu přípravy kombinované skořepiny na bázi lupku a sádry, jakož i výsledky prvních laboratorních odlití do těchto forem jsou shrnuty v pracích /4,6/. Z těchto prací uvádím proto jen základní charakteristiky, z nichž dále vycházím ve své experimentální části.

5.1. Použití keramických forem a forem ze sádrových
směsí pro výrobu odlitků ze slitin hliníku

Keramické formy - jsou realizovány jako formy skořepinové pomocí vytavitelných modelů. Namáhání těchto forem je vzhledem k nižším licím teplotám, hustotě i některým dalším vlastnostem hliníku a jeho slitin nižší než při odlévání slitin železa, což však neznamená, že tato technologie je bezproblémová - obtížné odstraňování směsi z odlitku.

Formy ze sádrových směsí - jsou realizovány jako formy plné /blokové/, v převážné většině vyráběné pomocí trvalého modelu. Vzhledem ke specifickým vlastnostem sádry jako hlavní složky těchto směsí a celkově časově náročnému a pracnému postupu výroby forem ze sádrových směsí je jejich použití zatím omezeno na některé speciální druhy odlitků.

Ve snaze omezit nepříznivé vlastnosti klasických keramických skořepin na bázi SiO_2 byla zaměřena pozornost na možnost nahrazení SiO_2 - mletého křemenného ostřiva páleným lupkem, tj. tuzemským, cenově přijatelným materiálem bez polymorfních přeměn. Řeší se tím

současné i náhrada některých dovážených nekřemenných ostřiv /5/.

V této souvislosti vznikl i návrh na využití některých předností sádrových směsí a tím vytvoření kombinované skořepinové formy na bázi lupku a sádry jako ne-tradiční řešení metody vytavitelného modelu.

Výběr vhodného složení formovacích směsí a návrh výroby kombinované skořepinové formy se opíral o výsledky:

- a/ měření dilatačních vlastností
- b/ měření pevnostních vlastností
- c/ měření některých technologických vlastností

V dalším uvedu podrobněji poznatky o bodech a/,b/.

5.2. Výsledky měření dilatačních vlastností keramických skořepin forem ze sádrových směsí a kombinovaných skořepin

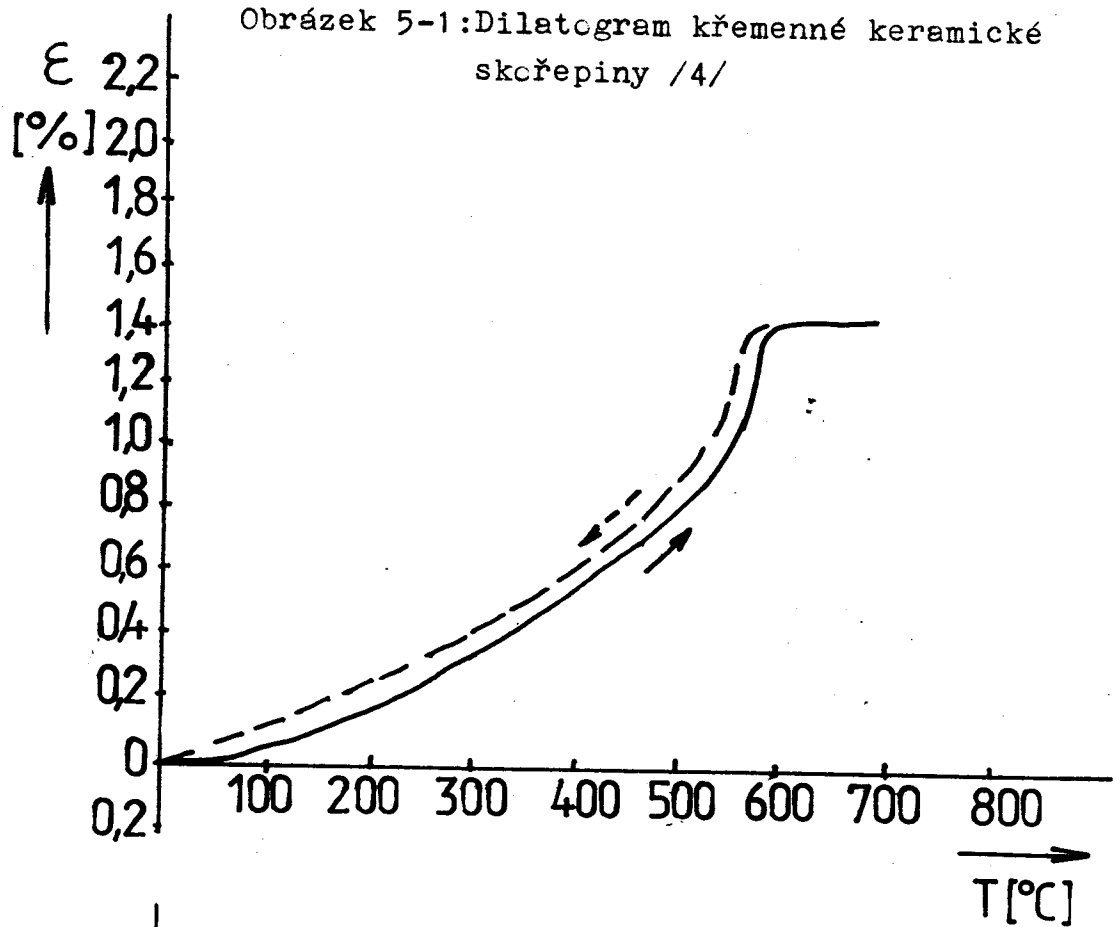
Zatímco u keramické formy dochází při jejím ohřevu vždy k roztahování, jehož průběh je odlišný podle druhu použitého materiálu /především ostřiva/, nastává u forem ze sádrových směsí a sádry zpočátku prvotní roztahování, ale od teploty 200°C naopak smršťování, které je mezi $T = 400 - 500^{\circ}\text{C}$ velmi prudké. Po ochlazení na pokojovou teplotu je smrštění až 0,3% /podle druhu sádry a jejího obsahu ve směsi/

Měření dilatace bylo provedeno na laboratorním křemenném dilatometru. Postup měření je uveden v literatuře /4/.

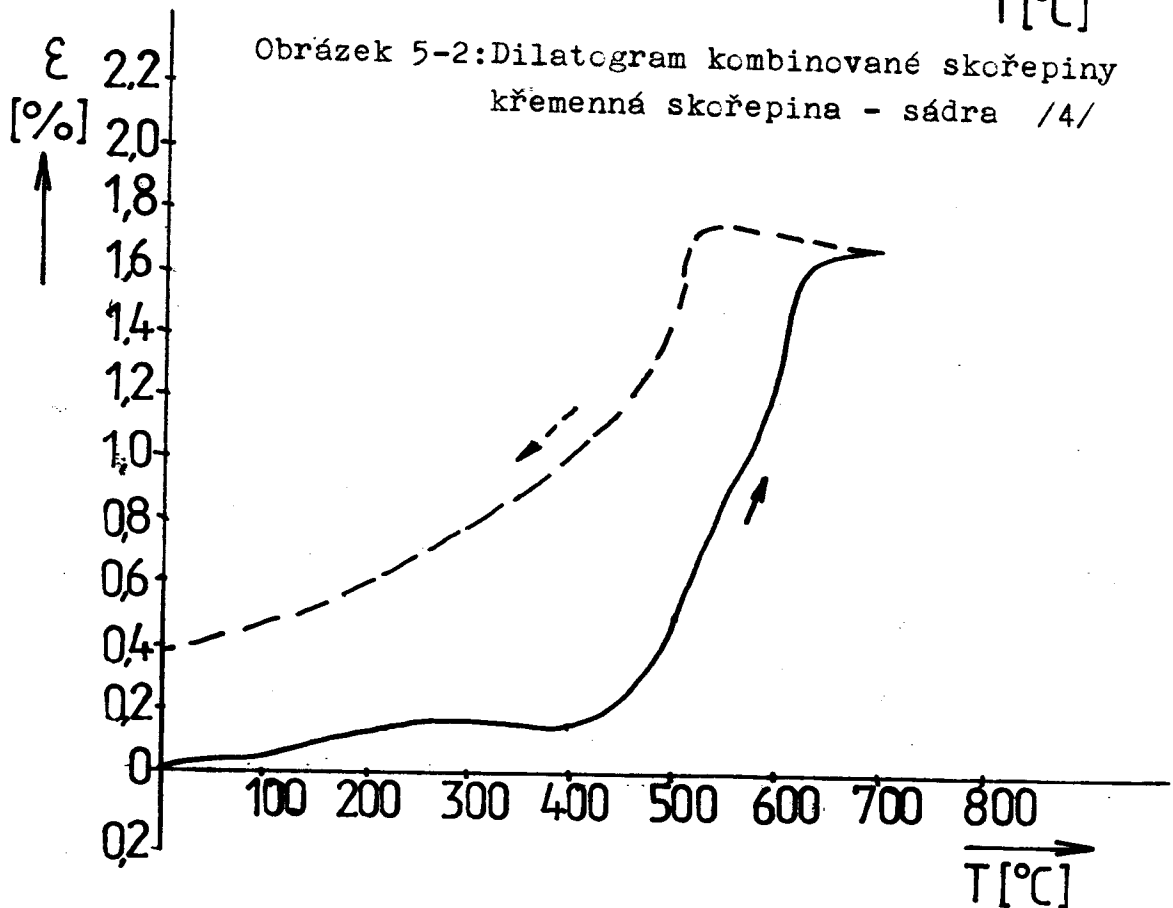
Z obr. 5-1 a 5-2 vyplývá zaměření prací při výběru optimálního složení formovacích směsí s co nejmenšími rozdíly v dilatačních vlastnostech :

- snížení celkové kladné dilatace /roztahování/ při ohřevu u keramické směsi; tomu vyhovuje požadavek zadání úkolu na použití mletého páleného lupku jako ostřiva pro přípravu keramické skořepiny,

Obrázek 5-1: Dilatogram křemenné keramické skořepiny /4/



Obrázek 5-2: Dilatogram kombinované skořepiny křemenná skořepina - sádra /4/



- snížení celkové záporné dilatace /smrštění/
při ohřevu u sádry a sádrových směsí a přiblížení průběhu celkové dilatace formy a těchto směsí průběhu dilatace keramické skořepiny.

Při návrhu složení a přípravy sádrové směsi na kombinovanou skořepinovou formu byl brán v úvahu jak požadavek na využití lupkové keramické skořepiny dle postupu vypracovaného a ověřeného v a.s. MESIT, tak dostupnost jednotlivých složek směsi.

Byly vybrány tyto materiály:

- sádra polská ...dostupná, poměrně dobré dilatační vlastnosti,
- křemenná moučka..typu FF nebo SUK, její obsah je nutný k ovlivnění průběhu dilatačních vlastností sádry,
- molochitjako práškovitý je používán ve slévárně MESIT k přípravě keramické břěčky,
- lupekmletý pálený lupek je ověřován k použití na skořepinové formy pro odlévání slitin Al.

Složení sádrové směsi, která byla v konečné fázi doporučena k použití je:

sádra polská		30 %
křemenná moučka		50 %
lupek		20 %

Sádrová obalovací kaše byla připravena rozmícháním sádrové směsi ve vodě při poměru V/P = 0,6.

Keramická obalovací směs obsahovala :

- mletý pálený lupek
- vaznou kapalinu /dle předpisu MESIT/

Kombinovaná skořepinová forma byla připravována obalováním voskového modelu.

1. obal - keramická obalovací břečka
posyp:lupek /0,2 - 0,3 mm/
2. obal - sádrová obalovací kaše
posyp:lupek /0,6 - 0,8 mm/
3. obal - keramická obalovací břečka
posyp:lupek /0,6 - 0,8 mm/
4. obal - sádrová obalovací kaše
posyp:lupek /0,6 - 0,8 mm/
5. obal - keramická obalovací břečka
posyp:lupek /0,6 - 0,8 mm/

Dilatogramy kombinované skořepiny a jejich srovnání s dilatogramy lupkové skořepiny jsou na obr.5-3. Z nich vyplývá, že z hlediska dilatací bylo dosaženo požadovaného výsledku.

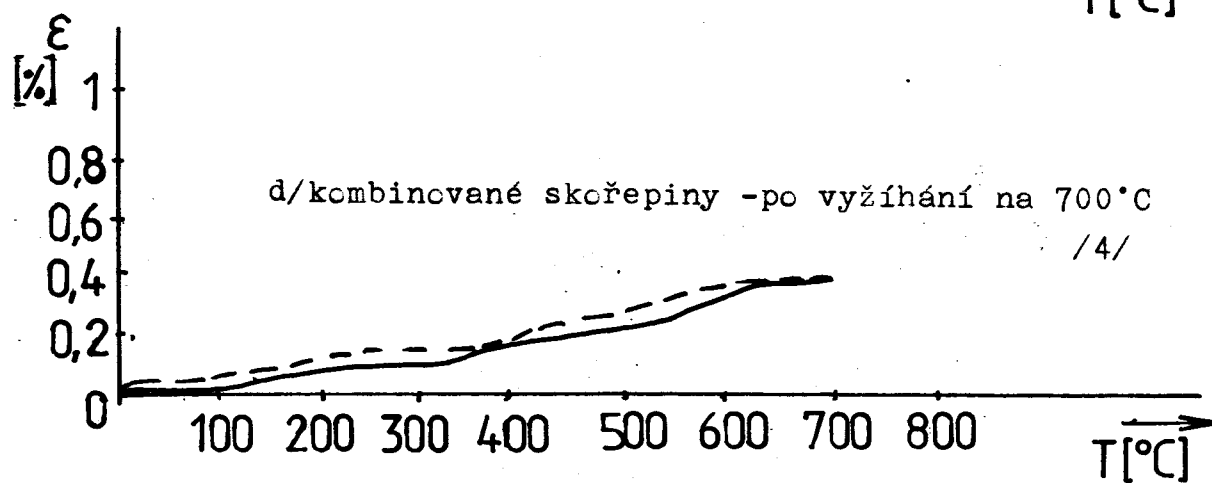
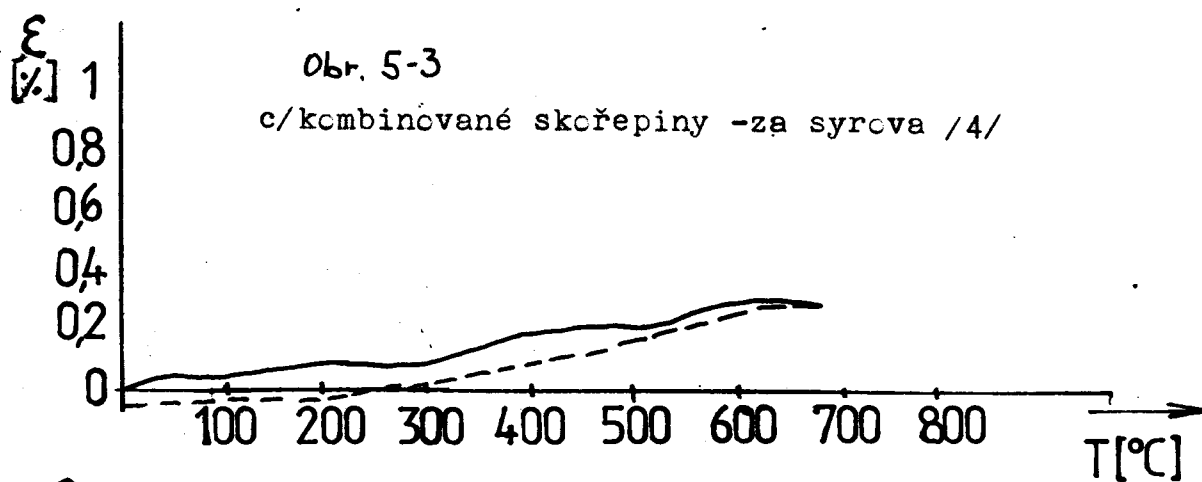
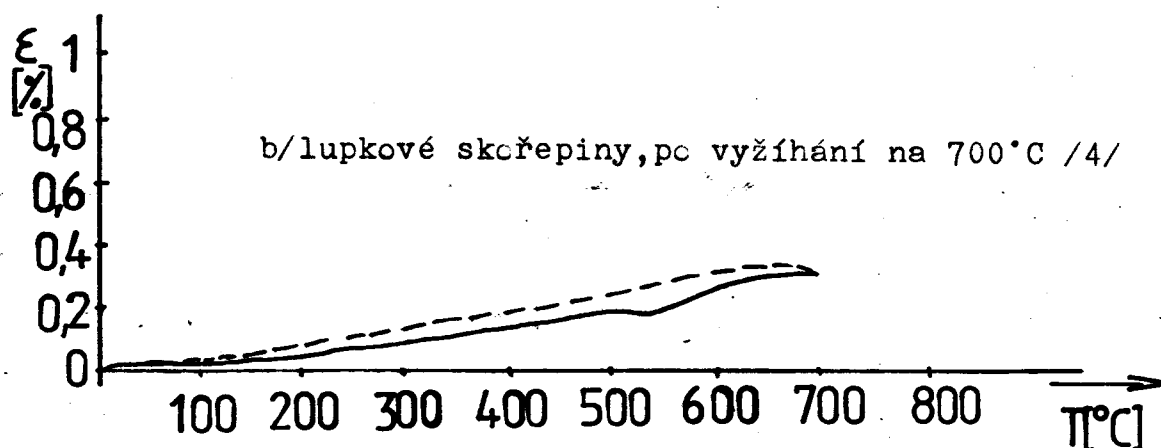
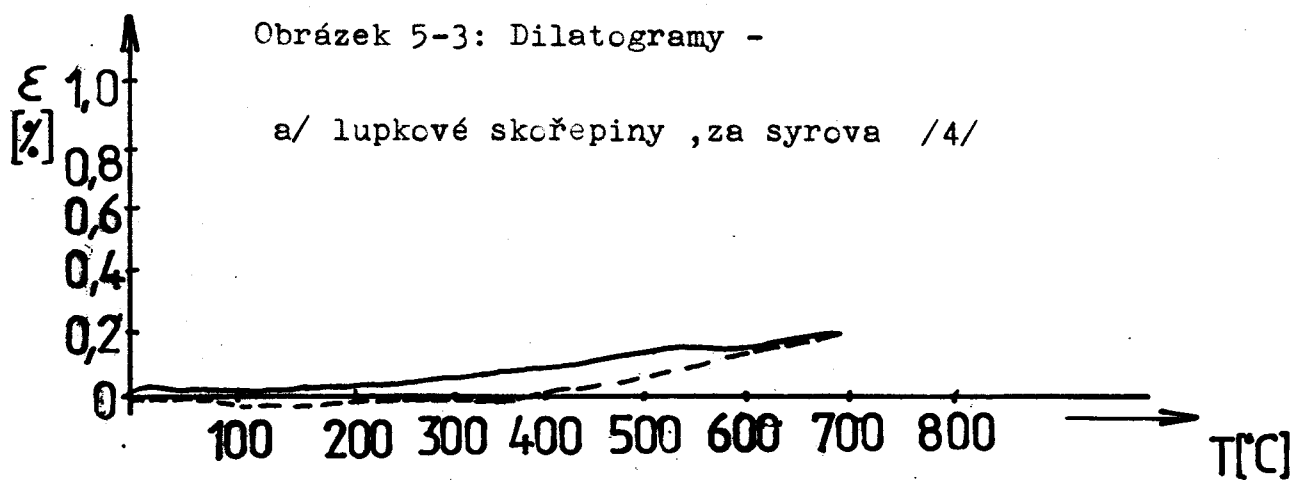
5.3. Měření pevnosti skořepinových forem

Měření pevnosti v ohybu u skořepinových forem je jednou z již zavedených metod hodnocení odolnosti těchto forem při jejich provozu. Proto byla v plném rozsahu použita i při hodnocení kombinované keramické skořepiny.

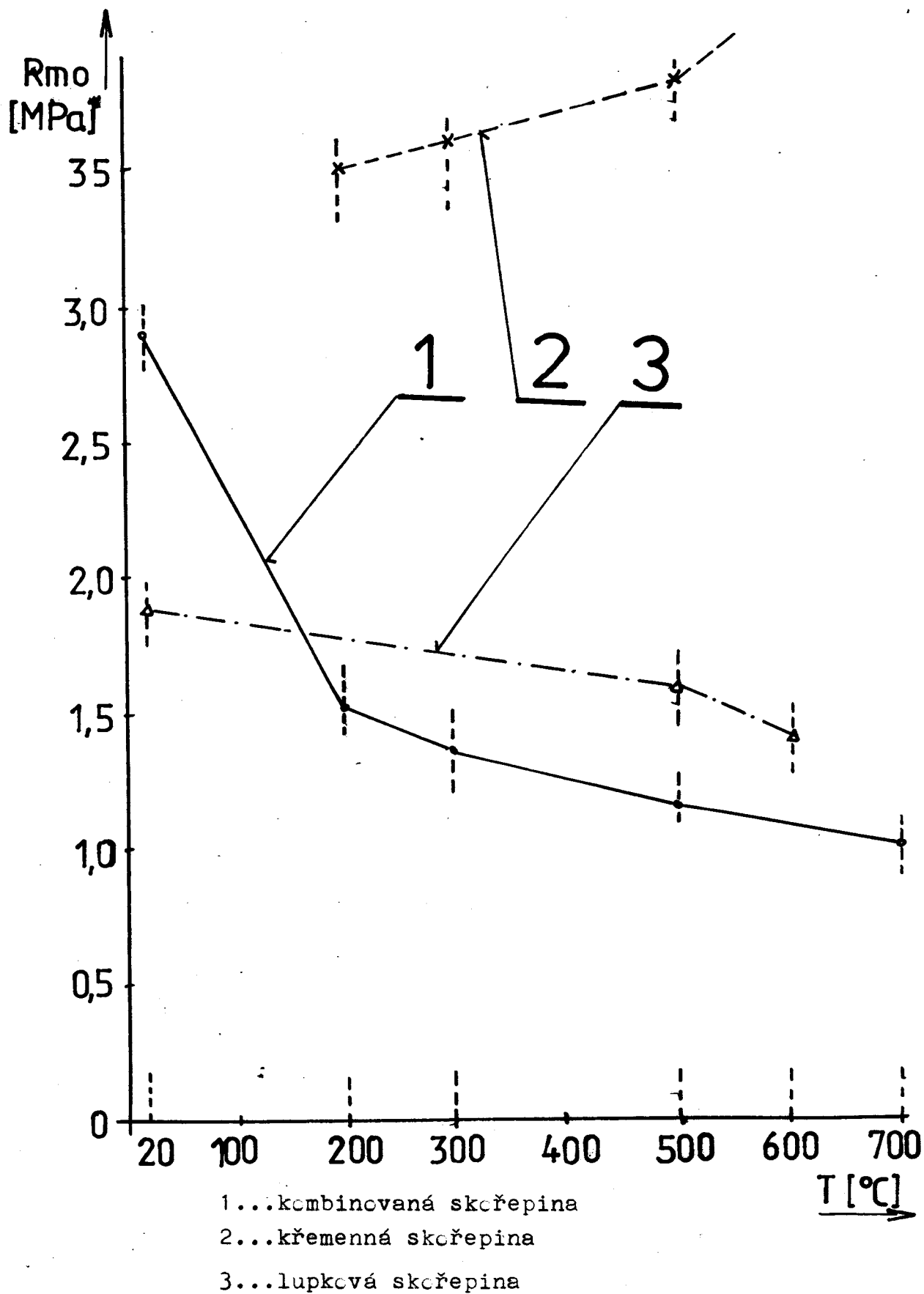
Zkušební tělíska - destičky o rozměrech 125 x 25 x h [mm], kde h je tloušťka skořepiny podle počtu obalů.

Po nanesení pěti obalů a po vysušení na volném vzduchu při pokojové teplotě po dobu 24 hodin, byla zkušební tělíska oddělena bez vytavování modelu, upravena a část z nich tepelně zpracována žíháním při různých teplotách. Po vychladnutí byla spolu se vzorky nežíhanými lámána za normální teploty na laboratorním přístroji pro zkoušku pevnosti skořepin v ohybu. Rmc se vypočetlo ze vztahu 4-1. Z těchto hodnot bylo vytvořeno grafické znázornění závislosti pevnosti na teplotě./viz obr.5-4/

Obrázek 5-3: Dilatogramy -



obr. 5-4 : Pevnost jednotlivých skořepin /4/



5.4. Shrnutí zkušeností z laboratorní i poloprovozní realizace návrhu kombinované skořepinové formy

Jak vyplývá z citovaných prací přinesla první ověřování návrhu kombinované skořepinové formy při odlévání odlitků ze slitin hliníku uspokojivé výsledky, zejména pokud jde o příznivé dilatační vlastnosti formy a snadné odstranění skořepiny z dutin odlitku.

Hlavním problémem, který zatím brání širšímu využití v provozních podmínkách, je nutnost přípravy obou rozdílných obalovacích formovacích směsí, přičemž sádrová obalovací kaše má podstatně kratší dobu zpracovatelnosti než keramická břečka. Dále je nutno pro pro potřeby obalování modelů sádrovou kaší připravit v dostatečném množství, které se však využije pro vytvoření obalů jen z malé části. Značná část bez využití ztvrdne a přechází v podstatě do odpadu.

Proto byl ze strany a.s. MESIT - Uherské Hradiště vysloven požadavek využít vaznou kapalinu pro keramickou obalovou směs i pro obalovou sádrovou kaši. Na tento úkol je zaměřena vlastní experimentální část této práce.

6.0. NÁVRH SLOŽENÍ A POSTUPU VÝROBY KOMBINOVANÝCH
SKOŘEPINOVÝCH FOREM

6.1. Základní požadavky na řešení

Na základě úvah vycházejících z poznatků získaných prostudováním odborné literatury, výsledků dosažených katedrou strojírenské metalurgie, zkušeností získaných během předdiplomní praxe v a.s. MESIT - Uherské Hradiště, pod vedením Ing. J. Cilečka, a požadavků uvedených v závěru předcházející kapitoly, byla navržena k ověření nová koncepce přípravy kombinovaných skořepinových forem pro odlévání odlitků ze slitin hliníku.

Základním vodítkem při řešení bylo dodržení těchto dílčích předpokladů:

1. skořepina bude vytvářena obalovacím způsobem, ponořováním sestaveného modelu do dvou různých druhů obalovacích kašovitých směsí,
2. pro přípravu obou druhů obalovacích kašovitých směsí - keramická na bázi molochitu nebo lupku i sádrové ze sádrové směsi KSM - bude použita vazná kapalina získaná hydrolyzou etylsilikátu 40,
3. posyp nanesených obalů bude stejným druhem posypového materiálu - molochit, lupek - který se liší zrnitostí,
4. úpravou postupu přípravy vazné kapaliny hydrolyzou etylsilikátu bude ověřována možnost ovlivnění vlastností kombinované skořepiny,
5. vytvoření podmínek pro použití kombinovaných skořepinových forem v provozních podmínkách bude ověřována možnost přípravy obalovací sádrová kaše postupným přidáváním jednotlivých složek směsi do vazné kapaliny při dodržení předepsaného složení směsi.

6.2. Ověřované varianty přípravy kombinovaných skořepinových forem

Pro porovnání vlastností různých druhů kombinovaných skořepin byla připravena serie celkem pěti variant složení a postupu přípravy forem. Jejich přehled je uveden v tab.6-1.

Tabulka 6-1 : Přehled navržených variant kombinovaných skořepinových forem

varianta		Složení jednotlivých obalů /vrstev					objem H ₂ O ve vazné kapalině [ml/l]
		1.obal	2.obal	3.obal	4.obal	5.obal	
I.	B	M	SS-KSM	M	SS-KSM	M	100 -
	P	MI	MII	MII	MII	MII	
II.	B	M	SS-KSM	M	SS-KSM	M	200 -
	P	MI	MII	MII	MII	MII	
III.	B	L	SS-KSM	L	SS-KSM	L	100
	P	LI	LII	LIII	LIII	LIII	
IV.	B	L	SS-KSM	L	SS-KSM	L	200
	P	LI	LII	LIII	LIII	LIII	
V.	B	SS-KSM	SS-KSM	SS-KSM	SS-KSM	SS-KSM	100
	P	MI	MII	MII	MII	MII	

Označení :

B - obalovací břecha - L . . . lupková

M . . . molochitová

SS - KSM . . . ze sádrové směsi

- P - posyp obalů - $M_{I,II}$ molochit
 zrnitost : I...0,17 - 0,3 mm
 II...0,5 - 1,0 mm
- $L_{I,II,III}$. . . lupek
 zrnitost : I...do 0,3 mm
 II...0,3 - 0,6 mm
 III...0,6 - 0,8 mm

U všech variant je k vytvoření obalovací břečky použita vazná kapalina na bázi etylsilikátu.

Složení, které bude dále podrobněji popsáno, se liší dvěma různými procentuálními zastoupeními H_2O ve vazné kapalině : u variant I, III, V je použito vazné kapaliny na bázi ETS se 100 ml H_2O / liter vaz. kapaliny, u variant II, IV je tento obsah H_2O ve vazné kapalině 200 ml / liter vaz. kapaliny.

Z tab. 6-1 je zřejmé, že složení variant I, II je totožné a složení variant III, IV je také stejné.

Varianta I byla zvolena jako pokračování ověřovacích prací na předdiplomní práci ve slévárně a.s. MESIT Uherské Hradiště /z podnětu Ing. Cilečka/.

Varianta II úzce navazuje na variantu I při použití vazné kapaliny s dvojnásobným množstvím vody.

Varianty III, IV byly zvoleny z důvodu poměrně příznivých vlastností lupku, jeho nižší ceny ve srovnání s molochitem a dostupnosti na tuzemském trhu.

Varianta V byla zvolena za účelem zjištění základních vlastností skořepiny vytvořené pouze ze sádrové směsi. U této varianty jsem zvolil složení vazné kapaliny se 100 ml H_2O na 1 liter vazné kapaliny.

U variant I, II, III, IV je na 2. a 4. obal použita sádrová směs. U této směsi předpokládám, vzhledem k sádře v ní obsažené, že napomůže ke snadnějšímu rozrušení skořepiny při vytloukání odlitku.

6.3. Složení sádrové směsi SS-KSM

Sádrová směs použitá pro výrobu kombinovaných skořepinových forem byla připravena dle předpisu katedry strojírenské metalurgie.

Tato směs obsahuje: 30%sádra polská GA12
50%křemenná moučka SUK
20%lupek

Homogenizace se provádí v suchém stavu na laboratorním rychlomísiči.

6.4. Složení a příprava vazné kapaliny na bázi etylsilikátu 40

Vazná kapalina byla připravována dle předpisu, používaného v a.s. MESIT. Získá se mícháním jednotlivých složek v uvedených množstvích:

500 ml etylsilikátu /ETS 40/
400 ml etylalkoholu /líh denaturovaný/
100 ml destilované vody
4 ml 30%HCl

složení ředícího roztoku: na 100 ml etylalkoholu
1,6 ml 30%HCl

ředicí poměr : 1,5 dílu vazné kapaliny
1 díl ředícího roztoku

Ředící roztok zajišťuje obsah SiO_2 ve vazné kapalině kolem 12% a byl zvolen z důvodu ovlivnění vlastností skořepiny - předpokládáné snížení pevnosti skořepiny.

Postup vlastního namíchání vazné kapaliny

Do připravené nádoby se nalije stanovené množství etylalkoholu, pak se přidá okyselená destilovaná voda. Tento vzniklý roztok se míchá a za stálého míchání se přidává etylsilikát /ETS 40/. Po této operaci se kapalina okamžitě zakalí. K jejímu vyčerení dojde po určité době.

Poznámka: Při hydrolýze se uvolňuje teplo, které kapalinu ohřívá. Teplota nesmí překročit 40°C, jinak je nutno kapalinu chladit.

6.5. Výroba a zpracování kombinované skořepiny

V této serii ověřování uvedených 5 variant byly připravovány kombinované skořepiny pro zkoušku pevnosti skořepin v ohybu, pro měření dilatací a dále speciální zkušební formy pro studium procesu tuhnutí v rámci diplomové práce T. Budského /8/.

6.5.1. Obalování voskového modelu

Jednotlivé varianty jsou uvedeny v tab.6-1.

1. obal - keramická obalovací břečka
viskozita - 15 s
posyp : podle použité varianty
sušení: 2 - 4 hodiny
2. obal - sádrovací obalovací kaše
viskozita - 15 s
posyp : podle tab.6-1
sušení: 16 hodin
3. obal - keramická obalovací kaše
viskozita - 15 s
posyp : podle tab.6-1
sušení: 6 - 8 hodin
4. obal - sádrová obalovací kaše
viskozita - 15 s
posyp : podle tab.6-1
sušení: 16 hodin
5. obal - keramická obalovací břečka
viskozita - 15 s
posyp : podle tab.6-1

sušení - 16 - 24 hodin

Viskozita obalové břechky je měřena Fordovým pohárkem ϕ 6 mm. Hodnota viskozity 15 s byla zvolena na základě návrhu Ing. Čilečka.

Snahou je úspora formovacího materiálu, zkrácení času při míchání břechek na minimum.

6.5.2. Sušení obalů

Sušení obalů probíhá po stanovenou dobu pro jednotlivé nanesení vrstvy /obaly/ v prostředí o teplotě 20 ± 2 °C a vlhkosti 75 ± 10 %.

6.5.3. Oddělování skořepiny od modelu

Vzhledem k uspořádání modelů pro vzorky na výrobu zkušebních destiček pro zkoušku pevnosti v ohybu i pro dilataci nebylo použito vytavování modelu, nýbrž pouhé oddělení získané skořepiny od modelu.

6.5.4. Žíhání vzorků kombinovaných skořepin

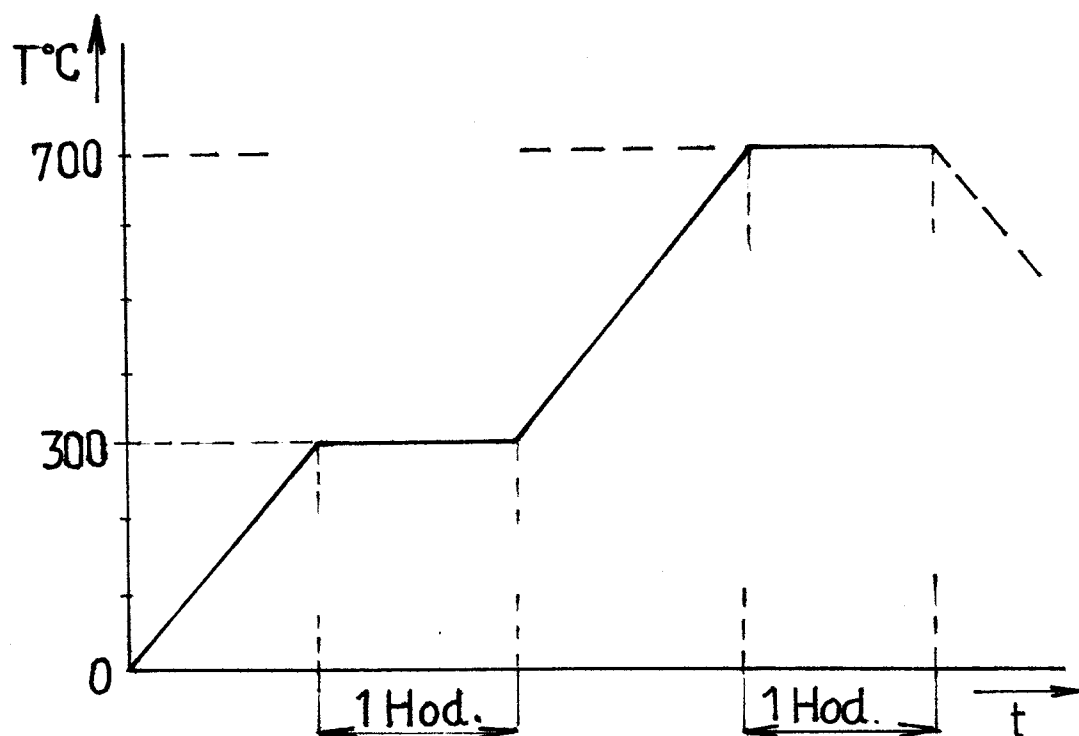
Vzorky skořepin byly žíhány pro možnost srovnání vlastností kombinované skořepiny za syrova a po vyžíhání. Byla zkoušena polovina vyrobených vzorků za syrova a polovina vzorků po vyžíhání.

Skořepinové formy se vloží do chladné pece, plynule se zahřejí na teplotu 300 °C, s výdrží na této teplotě 1 hodinu. Pak se plynule ohřejí na teplotu 700 °C. Výdrž na této teplotě je opět 1 hodinu. Vzorky se nechají vychladnout ve vypnuté peci.

obr. 6-1 Žíhací diagram

Tento diagram je uveden na následující straně.

obr. 6-1 Žíhací diagram



Ochlazování v peci.

Po těchto operacích se provede hodnocení vlastností skořepin /pevnost, prodyšnost/. Metody ověřující tyto vlastnosti kombinovaných skořepinových forem jsou stručně popsány v následující kapitole.

7. HODNOCENÍ PEVNOSTI A DILATAČNÍCH VLASTNOSTÍ
KOMBINOVANÝCH SKOŘEPIN

7.1. Hodnocení pevnosti skořepinových forem v ohybu

Nejběžnějším způsobem zjišťování pevnosti skořepin v ohybu je lamiací zkouška. Zkušební tělíska se připravují opakovaným nanášením obalovací hmoty a zasypáváním voskových modelů tvaru korýtka /viz. obr. 7-1 kap. 7/ technologií shodnou s provozní. Tyto se pak podrobují vlastní zkoušce.

Za tímto účelem bylo připraveno celkem 50 zkušebních destiček /viz. obr. 7-1 kap. 7/ následujícím způsobem :

- 10 vzorků - kombinovaná skořepina MOL-KSM; 100 ml H_2O
- 10 vzorků - kombinovaná skořepina MOL-KSM; 200 ml H_2O
- 10 vzorků - kombinovaná skořepina LUP-KSM; 100 ml H_2O
- 10 vzorků - kombinovaná skořepina LUP-KSM; 200 ml H_2O
- 10 vzorků - kombinovaná skořepina SS-KSM; 100 ml H_2O

Část vzorků byla zkoušena za syrova a část tepelně zpracována, a to vyžeháním na teplotu $700^{\circ}C$ plynulým ohřevem v elektrické odporové peci s výdrží na teplotě $300^{\circ}C$ hodinu a poté s výdrží na teplotě $700^{\circ}C$ hodinu a s ochlazením též v peci /typ MV-2/. Lámání jednotlivých trámečků proběhlo třikrát a to jednou na vzdálenosti podpor 100 mm a dvakrát na vzdálenosti podpor 50 mm.

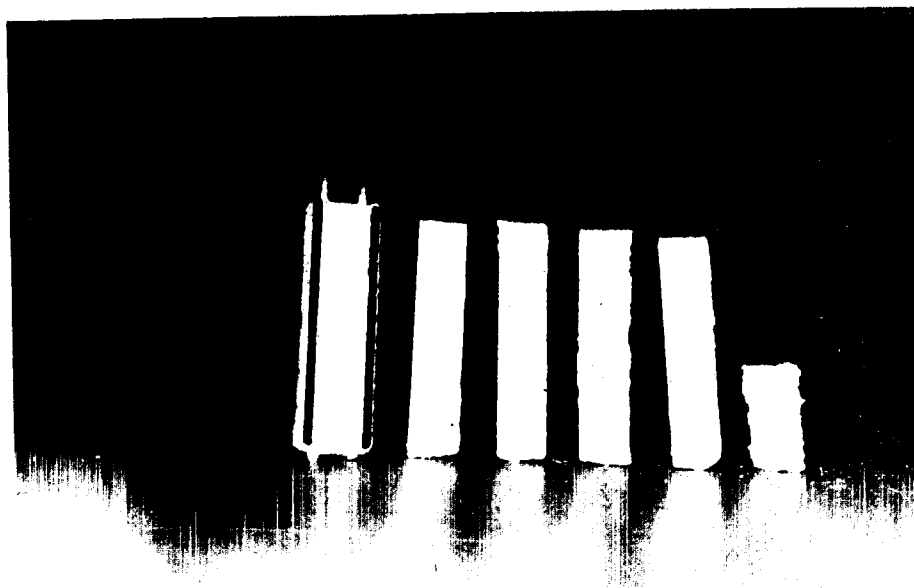
7.1.1. Příprava zkušebních vzorků

Pro přípravu zkušebních trámečků bylo použito celkem 25 voskových modelů /korýtek/, přičemž z každého korýtko byl získán pár trámečků.

Důležité je, těsně po nanesení jednotlivých obalů, seškrábnout z fazetky korýtko nanesenou formovací hmotu, čímž vznikne spára, jež usnadní pozdější vyjímání.

Po dokonalém zaschnutí /min. 4 hodiny po nanese-

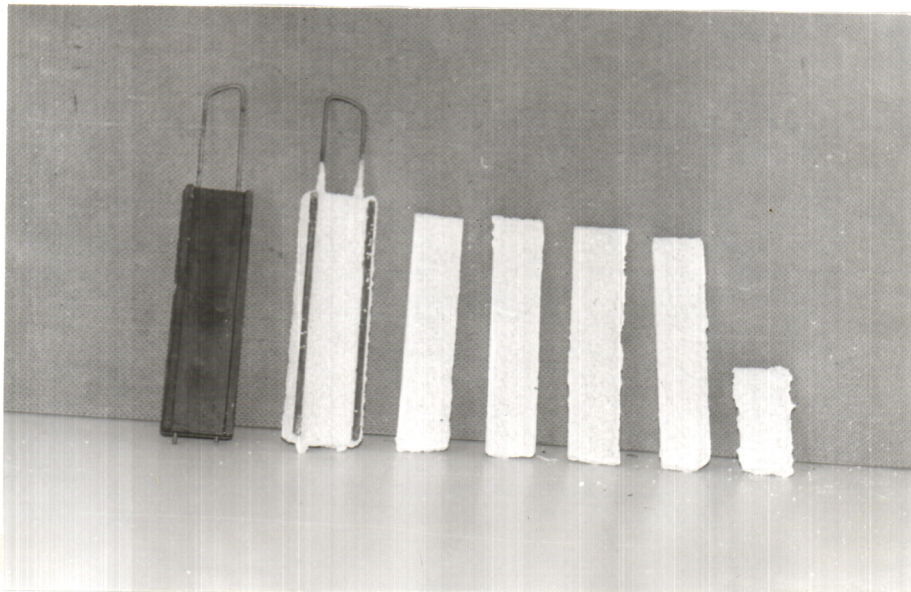
Obrázek 7-1 : Voskový model a vzorky pro hodnocení pevnosti skořepinových forem v ohybu



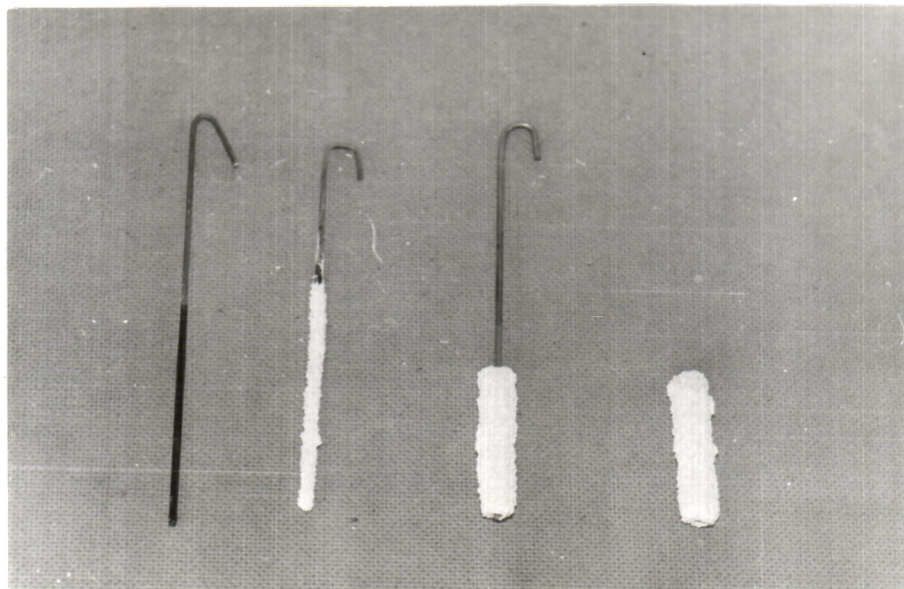
Obrázek 7-5 : Vzorky pro hodnocení dilatačních vlastností skořepinových forem



Obrázek 7-1 : Voskový model a vzorky pro hodnocení pevnosti skořepinových forem v ohybu



Obrázek 7-5 : Vzorky pro hodnocení dilatačních vlastností skořepinových forem



ní posledního obalu/ se trámečky vyjmou tím způsobem, že se seřízne jedna strana ležiny korýtko nožem a lehkým páčením provede vyloupnutí.

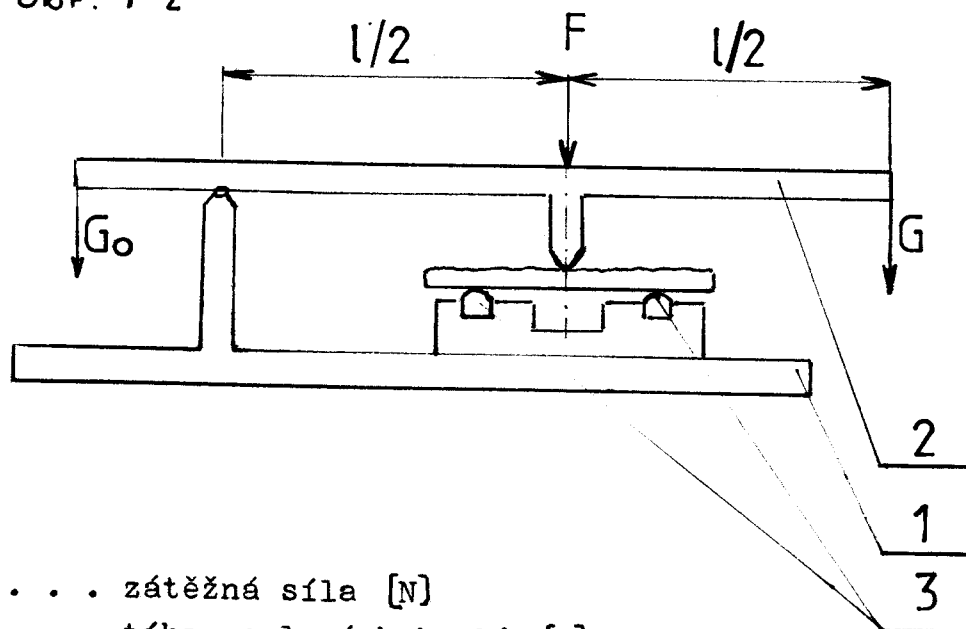
Dále následuje vyžihání způsobem popsaným v kap. 6.5.4.

7.1.2. Stanovení pevnosti v ohybu

K měření pevnosti skořepin v ohybu bylo použito mechanického zařízení pracujícího na principu jednoramenné páky /poměr 1:2/.

Vzorky byly kladeny hladkou stranou na výkyvně uložené podpory /vzdálenost podpor 100 a 50 mm/ a vystaveny statickému zatížení od plynule se měnící síly, dané hmotností sypaných ocelových broků /viz.obr.7.2./.

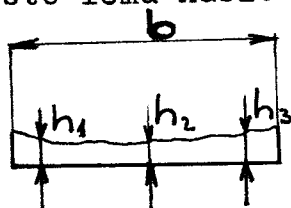
obr. 7-2



- F zátěžná síla [N]
- G tíha ocelových broků [N]
- G₀ tíha vyvažovacího závaží [N]
- 1 stojan mechanismu
- 2 kombinovaná páka
- 3 výkyvně uložené podpory

Tloušťka vzorku byla proměřována na 3 místech po

přelomení v místě lomu následovně.



Průměrná tloušťka trámečku byla stanovena ze vzorce

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \text{ [mm]} \quad (7-1)$$

pevnost v ohybu ze vzorce

$$R_{mo} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ [MPa]} \quad (7-2)$$

b šířka zkušebního trámečku [mm]

l vzdálenost podpor [mm]

L délka zkušebního trámečku 125 mm

F zátěžná síla

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 7-1 2,3,4,5,6

tab.7-1 : varianta I. - za syrova

č.m.	b	h1	h2	h3	h	Fm	Rmo	l
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]
1	25	5,2	5,8	6,2	5,73	8,35	1,52	100
2	25	6,3	6,2	6,6	6,367	21,3	1,57	50
3	25	7,6	7,75	7,8	7,72	28,8	1,45	50
4	25	7,0	7,5	6,95	7,15	23,6	1,38	50
5	25	7,0	7,5	7,2	7,23	25,0	1,43	50
6	25	8,0	7,6	7,8	7,8	27,5	1,35	50
- po vyzhání na 700°C								
1	25	7,2	7,4	7,55	7,38	10,55	1,16	100
2	25	7,8	7,2	7,4	7,47	11,45	1,23	100
3	25	6,6	7,0	7,0	6,87	8,8	1,12	100
4	25	7,8	7,2	8,2	7,73	10,8	1,08	100
5	25	8,4	7,6	7,9	7,8	12,4	1,22	100
6	25	8,0	9,0	8,2	8,4	29,6	1,25	50

tab.7-2 : varianta II. - za syrova

č.m.	h1 [mm]	h2 [mm]	h3 [mm]	h [mm]	Fm [N]	Rmo [MPa]	b [mm]	l [mm]
1	8,1	7,7	7,5	7,76	14,3	1,42	25	100
2	6,85	6,9	7,2	6,98	13,5	1,66	25	100
3	7,1	7,0	7,7	7,26	13,5	1,51	25	100
4	7,7	8,05	7,6	7,78	28,95	1,43	25	50
5	6,95	6,6	7,2	6,91	24,25	1,52	25	50
6	8,0	8,2	8,6	8,26	24,55	1,10	25	50
7	8,7	8,0	7,8	8,16	26,4	1,19	25	50
- po vyžihání na 700°C								
1	6,9	7,4	8,0	7,43	10,7	1,16	25	100
2	8,3	8,7	8,0	8,33	10,45	0,9	25	100
3	8,4	7,2	7,4	7,66	20,55	1,05	25	50
4	8,0	7,9	8,2	8,03	20,45	1,27	25	50
5	6,9	6,8	8,0	7,23	20,4	1,17	25	50
6	7,6	6,9	7,5	7,33	23,49	1,3	25	50
7	9,2	9,0	8,4	8,86	27,5	1,05	25	50

tab.7-3 : varianta III. - za syrova

č.m.	h1 [mm]	h2 [mm]	h3 [mm]	h [mm]	Fm [N]	Rmo [MPa]	b [mm]	l [mm]
1	7,3	7,3	7,2	7,26	6,25	0,71	25	100
2	6,7	6,1	6,8	6,53	4,65	0,65	25	100
3	6,6	6,7	7,6	6,96	6,25	0,77	25	100
4	7,5	8,0	7,3	7,6	13,80	0,72	25	50
5	8,2	7,3	8,5	8,00	12,45	0,58	25	50
6	6,6	6,8	7,15	6,85	12,25	0,78	25	50
7	7,4	7,8	7,3	7,5	12,00	0,64	25	50
- po vyžihání na 700°C								
1	7,0	6,9	7,2	7,03	3,00	0,36	25	100
2	8,1	7,95	8,2	8,08	3,4	0,31	25	100
3	7,0	6,7	7,4	7,03	2,65	0,32	25	100
4	7,3	7,4	7,0	7,23	3,35	0,38	25	100
5	7,9	8,1	8,2	8,067	7,1	0,32	25	50

pokrač.tab.7-3

č.m.	h1 [mm]	h2 [mm]	h3 [mm]	h [mm]	Fm [N]	Rmc [MPa]	b [mm]	l [mm]
6	5,7	5,9	6,0	5,867	5,25	0,45	25	50
7	8,3	7,8	7,6	7,9	7,5	0,36	25	50

tab.7-4 : varianta IV. - za syrova

č.m.	h1 [mm]	h2 [mm]	h3 [mm]	h [mm]	Fm [N]	Rmc [MPa]	b [mm]	l [mm]
1	7,8	8,2	8,5	8,167	7,9	0,71	25	100
2	7,45	7,45	7,65	7,517	15,35	0,81	25	50
3	7,3	7,15	7,3	7,25	14,95	0,85	25	50
4	8,3	7,9	8,2	8,13	15,00	0,68	25	50
5	8,6	8,25	8,3	8,38	14,40	0,615	25	50
6	8,55	8,2	8,6	8,45	16,70	0,702	25	50
7	8,2	8,5	8,2	8,3	17,50	0,762	25	50
- po vyžehání na 700°C								
1	8,4	8,1	8,8	8,43	4,55	0,384	25	100
2	9,4	8,4	8,55	8,78	9,05	0,35	25	50
3	7,9	8,0	8,2	8,03	4,2	0,39	25	100
4	8,5	8,55	8,4	8,48	10,9	0,30	25	50
5	8,2	8,0	8,1	8,1	8,9	0,41	25	50
6	7,7	8,0	7,8	7,83	8,35	0,41	25	50
7	7,8	7,4	8,1	7,767	9,15	0,45	25	50

tab.7-5 : varianta V. - za syrova

č.m.	h1 [mm]	h2 [mm]	h3 [mm]	h [mm]	Fm [N]	Rmc [MPa]	b [mm]	l [mm]
1	9,0	7,5	7,6	8,03	9,75	0,907	25	100
2	7,55	5,85	7,6	7,0	10,8	1,3	25	100
3	7,8	7,9	8,1	7,93	27,25	1,2	25	100
4	7,4	7,2	7,8	7,46	20,6	1,11	25	50
5	7,1	6,95	6,6	6,883	16,75	1,06	25	50
6	7,6	7,4	7,5	7,5	23,5	1,25	25	50
7	7,5	7,2	7,7	7,46	17,15	0,92	25	50

pokrač.tab.7-5 : - po vyžehání na 700°C

č.m.	h1 [mm]	h2 [mm]	h3 [mm]	h [mm]	Fm [N]	Rmo [MPa]	b [mm]	l [mm]
1	7,4	6,5	6,6	6,83	3,05	0,392	25	100
2	6,6	6,4	7,4	6,8	3,65	0,473	25	100
3	7,2	7,5	7,2	7,3	8,05	0,483	25	50
4	6,6	6,75	6,7	6,68	7,1	0,477	25	50
5	7,55	7,3	7,8	7,56	7,4	0,389	25	50
6	7,7	7,2	7,8	7,56	8,9	0,46	25	50
7	7,8	7,6	7,8	7,73	10,1	0,507	25	50

Tabulka 7-6 : Průměrné hodnoty pevnosti skořepinových forem v ohybu - za syrova

varianta	I MOL-SS-KSM	II MOL-SS-KSM	III L-SS-KSM	IV L-SS-KSM
množ.H ₂ O	100	200	100	200
Rmo: $\bar{x}$	1,45	1,405	0,692	0,732
[MPa] $\sqrt{n}$	0,075	0,179	0,067	0,0743
$\sqrt{n-1}$	0,083	0,193	0,072	0,0802

varianta	V SS-KSM
množ.H ₂ O	100
Rmo: $\bar{x}$	1,106
[MPa] $\sqrt{n}$	0,143
$\sqrt{n-1}$	0,154

- po vyžehání na 700°C

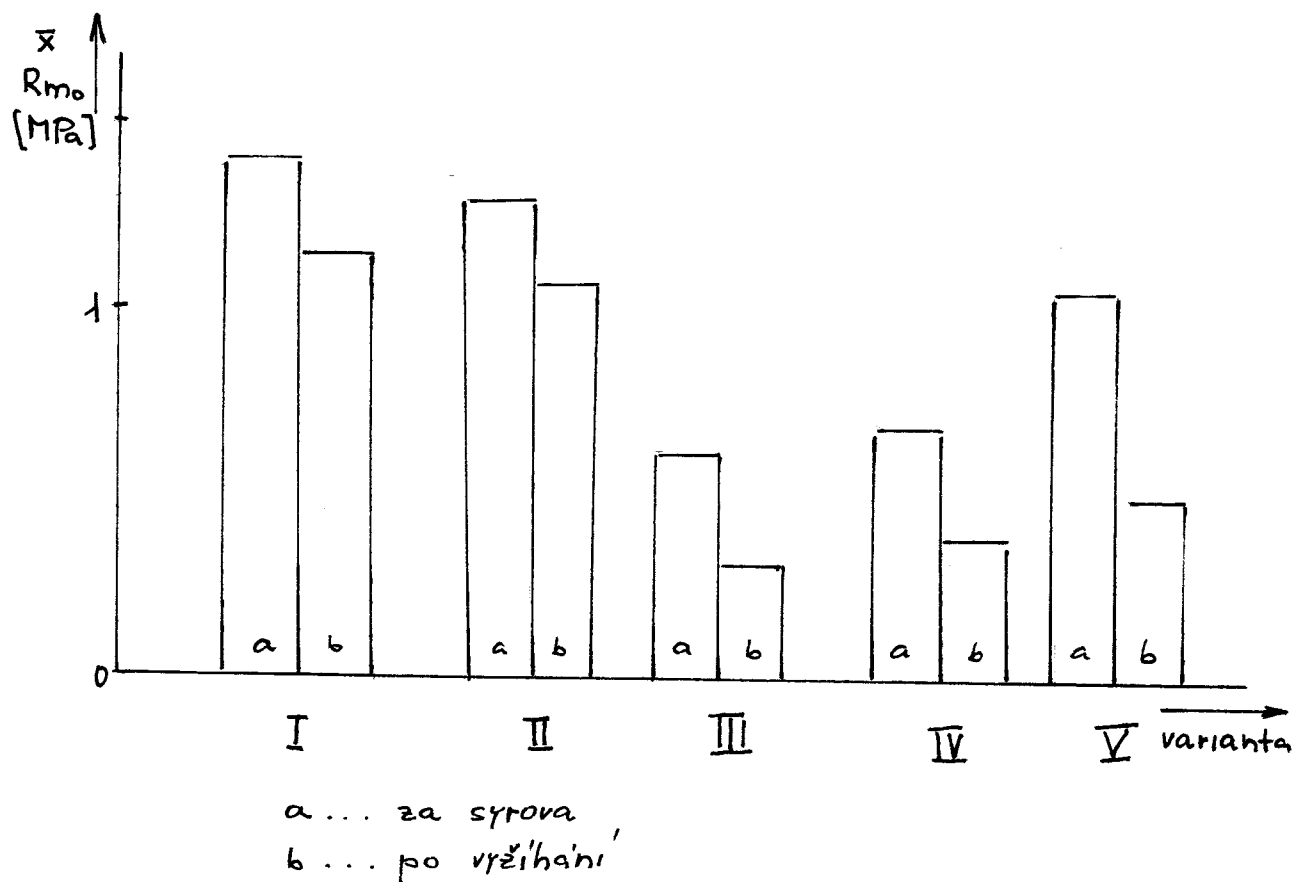
varianta	I MOL-SS-KSM	II MOL-ss-KSM	III L-SS-KSM	IV L-SS-KSM
množ.H ₂ O	100	200	100	200
Rmo: $\bar{x}$	1,176	1,128	0,352	0,384
[MPa] $\sqrt{n}$	0,0618	0,129	0,043	0,044
$\sqrt{n-1}$	0,0677	0,139	0,046	0,048

pokrač. tab. 7-6 :

varianta	V
	SS-KSM
množ. H ₂ O	100
R _{mo} : $\bar{x}$	0,454
[MPa] σ_n	0,042
σ_{n-1}	0,045

Grafické porovnání středních hodnot pevnosti jednotlivých skořepinových forem je znázorněno pomocí sloupkového diagramu 7-3

Obrázek 7-3: Grafické porovnání středních hodnot pevnosti



7.2. Hodnocení dilatačních vlastností skořepinových forem

Měření dilatací bylo realizováno na laboratorním křemenném dilatometru v laboratoři KSM /viz.obr.7-4 kap. 7/.

Pro snímání dilatací je v tomto dilatometru použit indukční snímač typ č.99 427 /výrobce ZPA Nová Paka/, dále je zde využito elektrického odporového ohřevu s možností nastavení a regulace maximální teploty, jež je snímána pomocí termočlásku NiCr-Ni.

Pro tato měření bylo vyrobeno 25 zkušebních tělísek z výše uvedených druhů skořepin, tj. 5 tělísek z jednoho druhu kombinované skořepiny /viz.obr.7-5 kap. 7/. Zkušební tělíska z jednotlivých skořepin byla měřena jednak za syrova a jednak po vyžhání na teplotu 700°C.

7.2.1. Příprava zkušebních tělísek

Pro přípravu zkušebních tělísek bylo použito celkem 25 kovových tyček ϕ cca 2,5 mm, odmaštěných v etylalkoholu a obalených voskem /viz obr. 7-5 kap. 7/. Takto vytvořené modely byly opatřeny postupně jednotlivými druhy obalů stejným způsobem jako v kap.2. Po dokonalém zaschnutí poslední vrstvy /4 hodiny/ byla zkušební tělíska připravena následujícím způsobem :

a/ vytvořená vrstva byla z obou krajů odstraněna obroušením pomocí kotoučové brusky na požadovaný rozměr - zhruba 48 - 50 mm,

b/ takto vzniklá válcovitá tělíska byla, po předchozím nahřátí na lihovém kahanu obou obnažených konců a natavení vosku, stažena,

c/ část tělísek určená k tepelnému zpracování byla vložena do elektrické odporové pece typ MV-2 a žíhána na teplotu 700°C /postupným ohřevem podle žíhacího diagramu v kap.6.5.4./; po vyžhání byla ochlazena v peci.

7.2.2. Postup měření

Do měřicí hlavice dilatometru bylo vloženo zkušební tělísko, jež bylo postupně ohříváno na teplotu 800°C konstantní rychlostí /20°C/min /. Zapisovačem TZ 4200 byla sledována závislost změny délky na čase a závislost změny teploty na čase.

Zapisovačem ENDIM 2000/1 byla sledována závislost změny délky na teplotě. Po dosažení teploty 800°C byl vypnut přívod proudu a následovalo pozvolné ochlazování vzorku v peci.

Celkový pohled na uspořádání křemenného dilatometru je na obr. 7-4

7.2.3. Stanovení dilatačních vlastností

Ze záznamu zapisovače jsem vyhodnotil velikost absolutních dilatací 1 jednotlivých vzorků a přepočtl je na hodnoty vyjádřené v % podle vztahu

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (7-3)$$

kde l_0 je počáteční délka vzorku /mm/

pohybovala se v rozmezí 48 - 50 mm a byla před každým měřením stanovena.

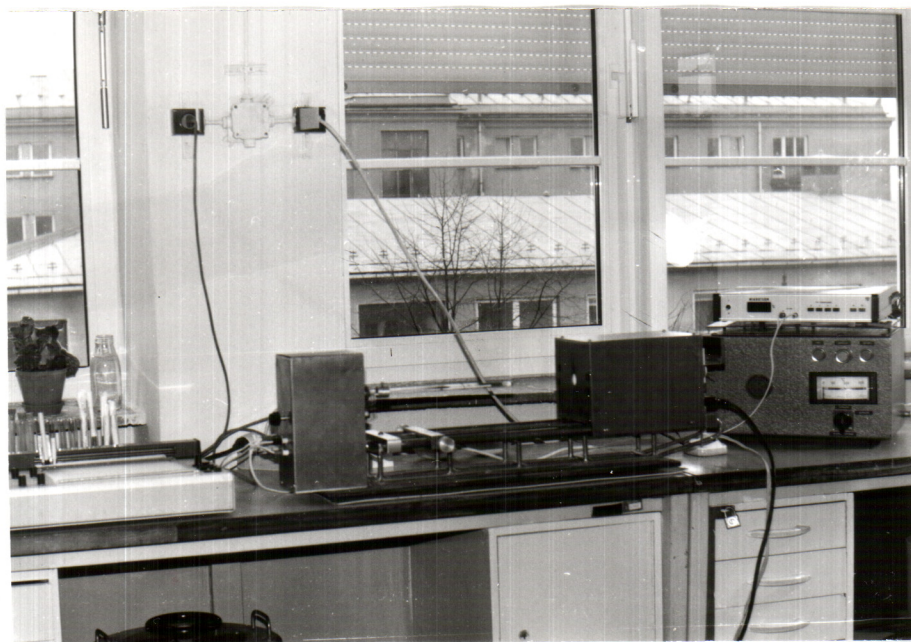
Takto zpracované průběhy poměrných dilatací s teplotou pro jednotlivé druhy skořepin jsou na obr.

7-6÷10 . Z těchto grafů jsem pro srovnání získal hodnoty poměrných dilatací při teplotě 800°C, které uvádím v tabulce 7-7.

Tabulka 7-7 : Hodnoty poměrných dilatací

varianta	I	II	III	IV	V
$\varepsilon_{800} [\%]$ za syrova	0,1	0,12	0,15	0,14	0,13
$\varepsilon_{800} [\%]$ po vyžhání	0,15	0,14	0,17	0,16	0,15

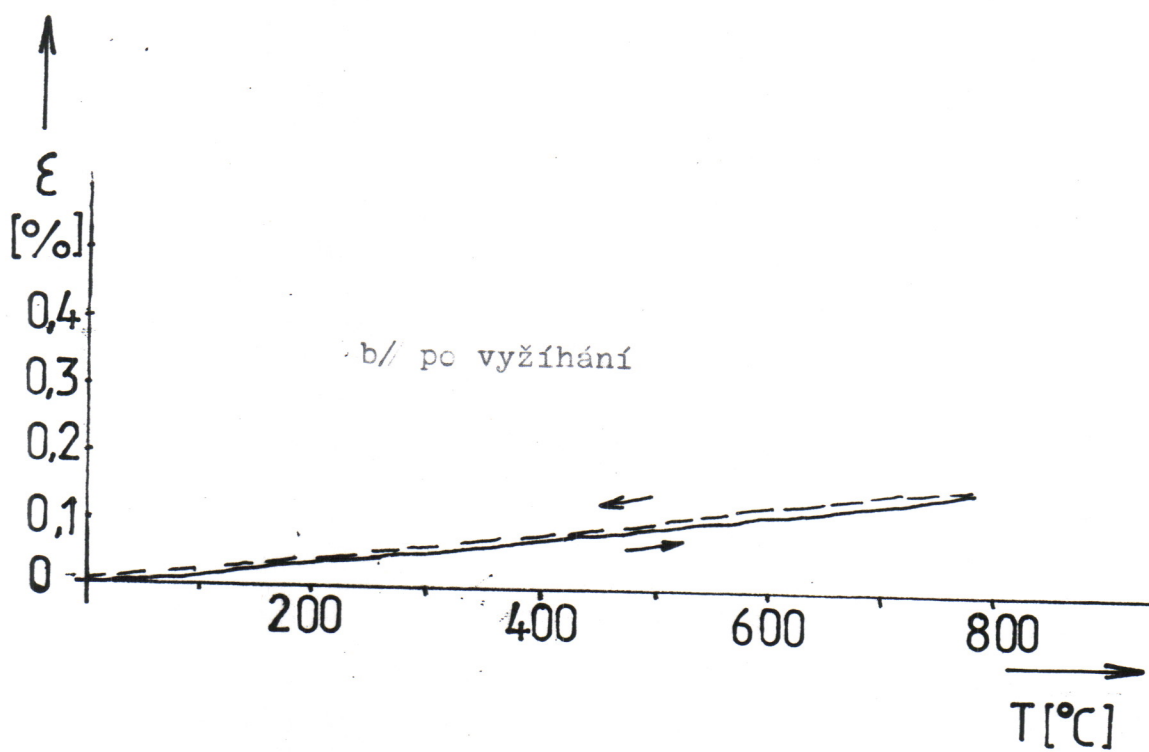
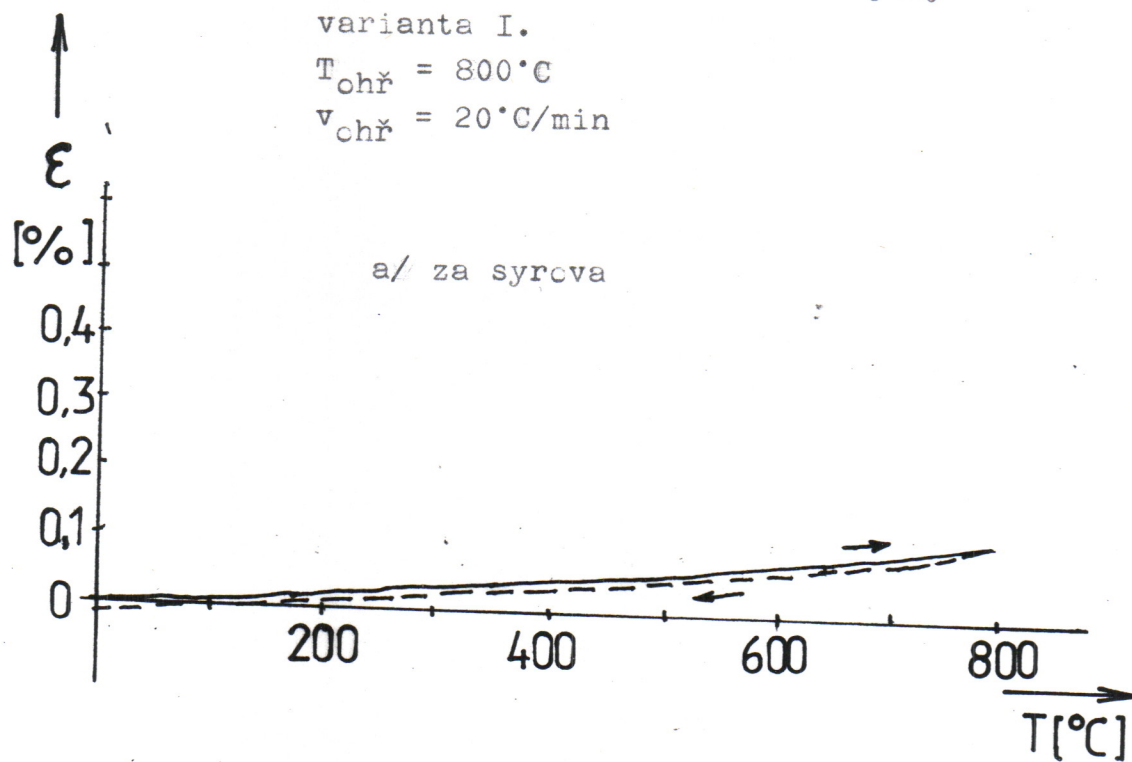
Obrázek 7-4 : Celkové uspořádání křemenného dilato-
metru v laboratoři KSM



obr.7-6 : Dilatogram kombinované skořepiny
varianta I.

$T_{\text{ohř}} = 800^{\circ}\text{C}$

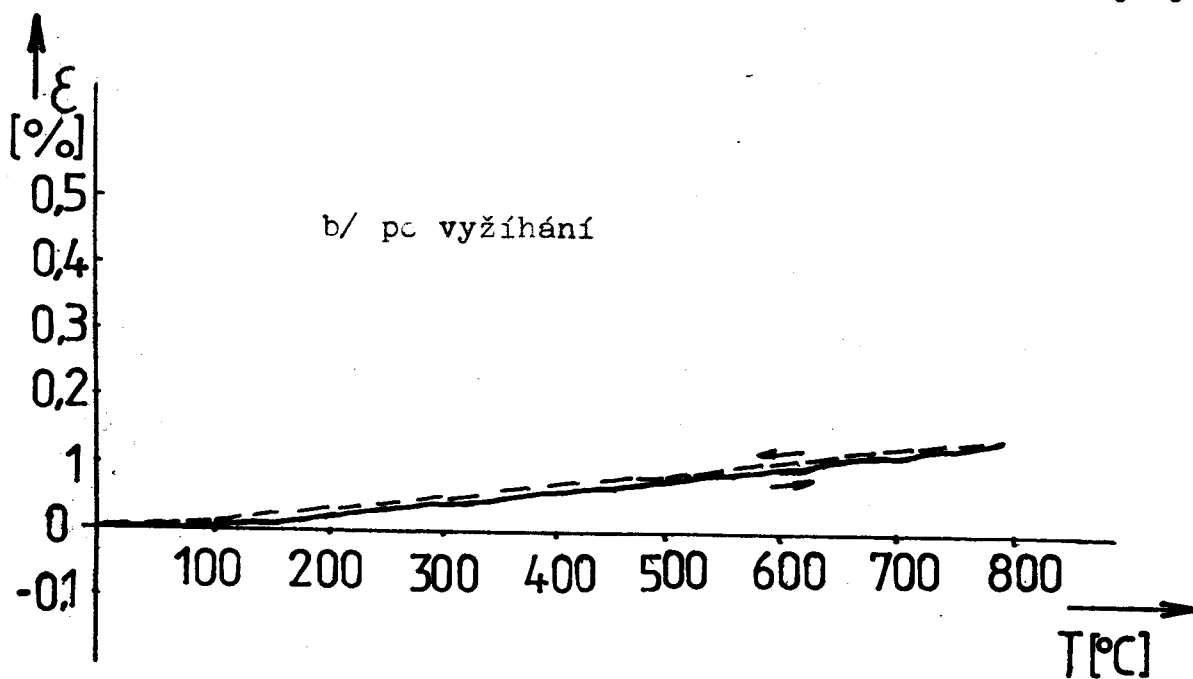
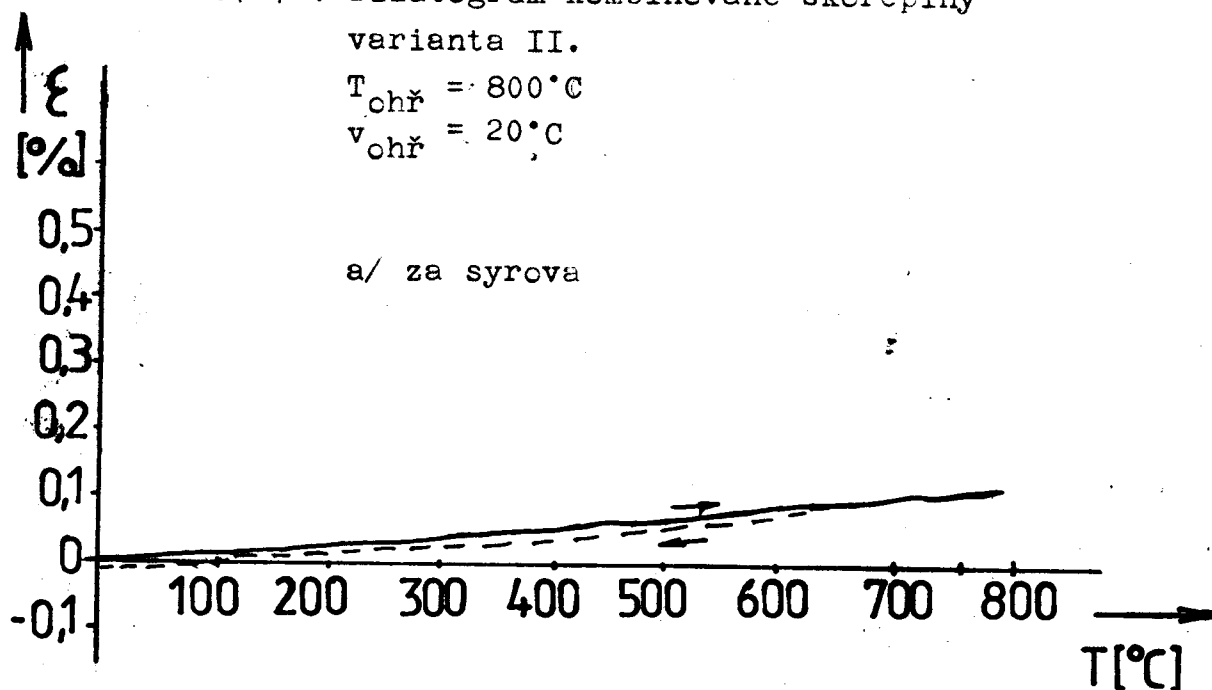
$v_{\text{ohř}} = 20^{\circ}\text{C}/\text{min}$



obr.7-7 : Dilatogram kombinované skořepiny
varianta II.

$T_{\text{ohř}} = 800^{\circ}\text{C}$

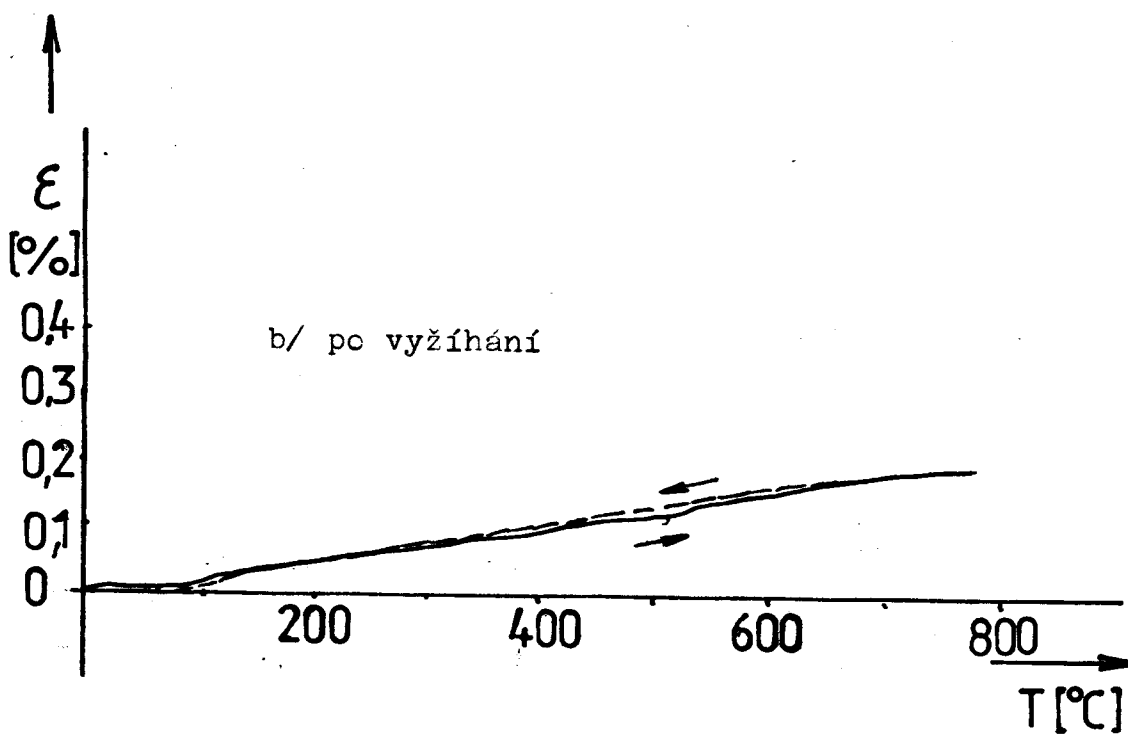
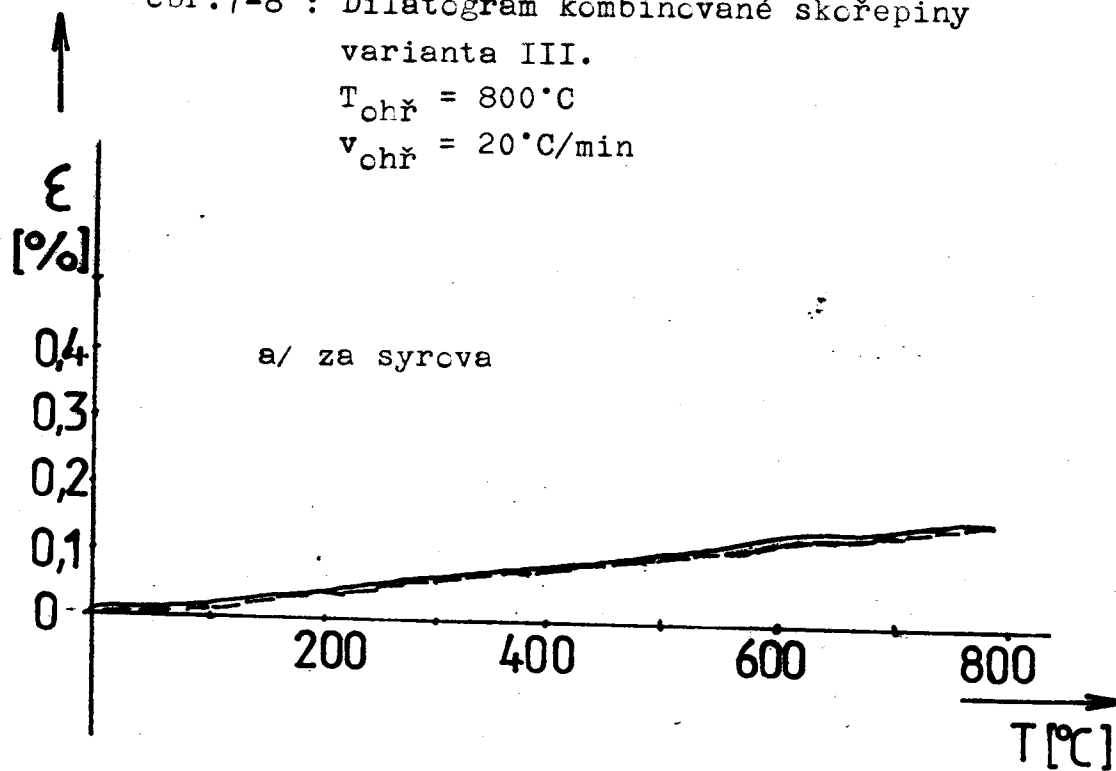
$v_{\text{ohř}} = 20^{\circ}\text{C}$



cbr.7-8 : Dilatogram kombinované skořepiny
varianta III.

$T_{\text{ohř}} = 800^{\circ}\text{C}$

$v_{\text{ohř}} = 20^{\circ}\text{C/min}$

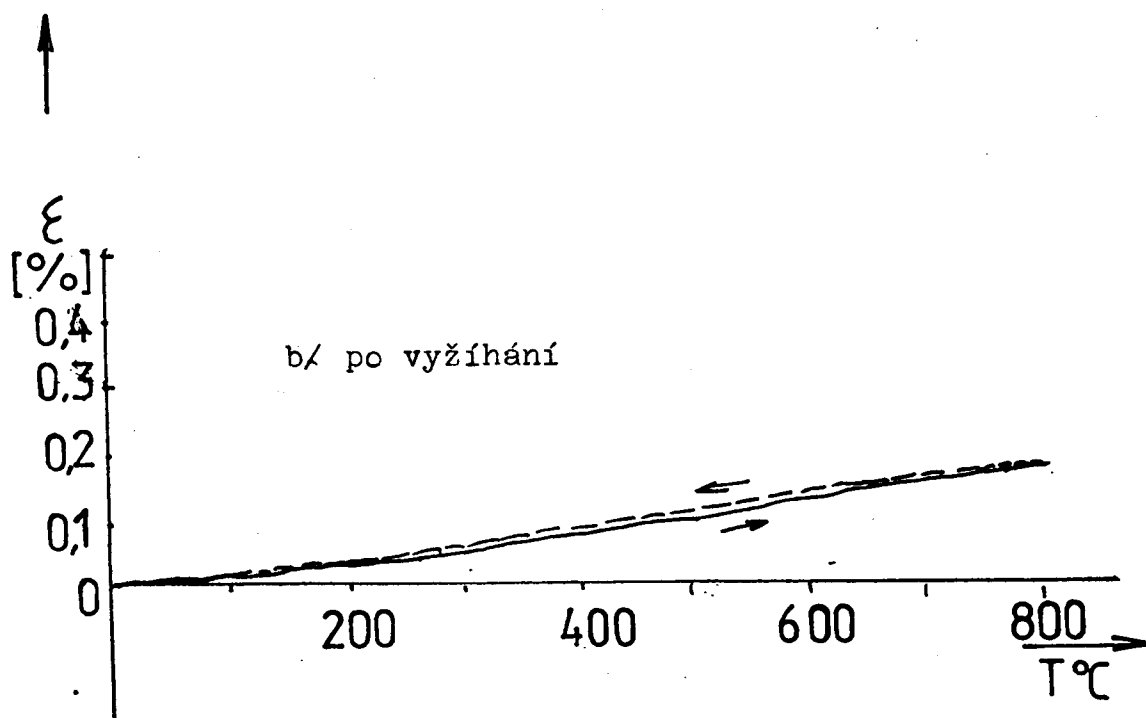
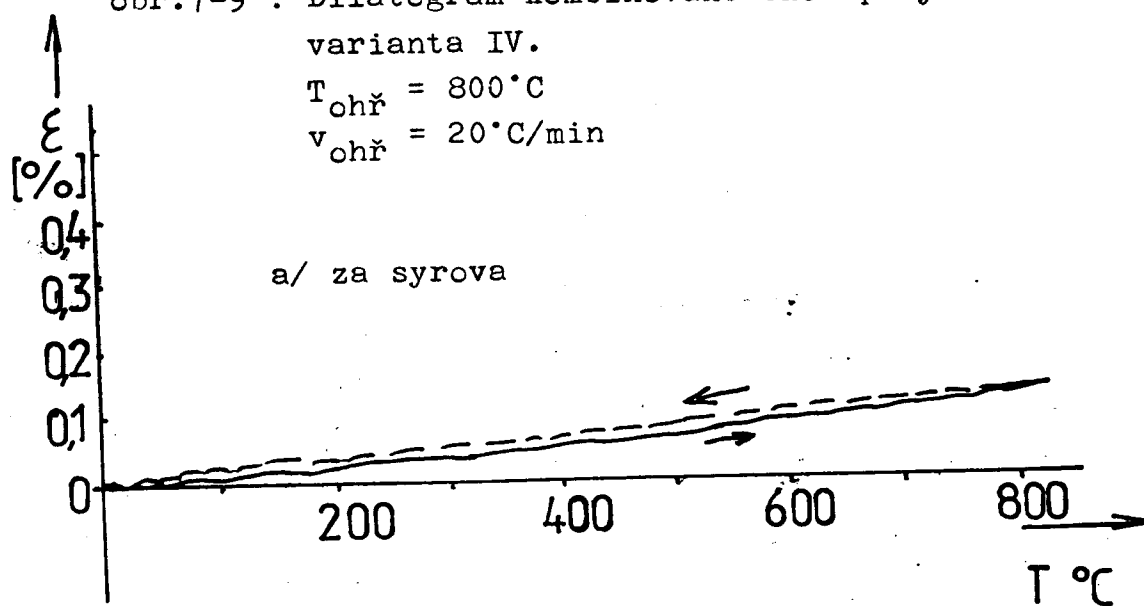


obr.7-9 : Dilatogram kombinované skořepiny

varianta IV.

$T_{\text{ohř}} = 800^{\circ}\text{C}$

$v_{\text{ohř}} = 20^{\circ}\text{C}/\text{min}$

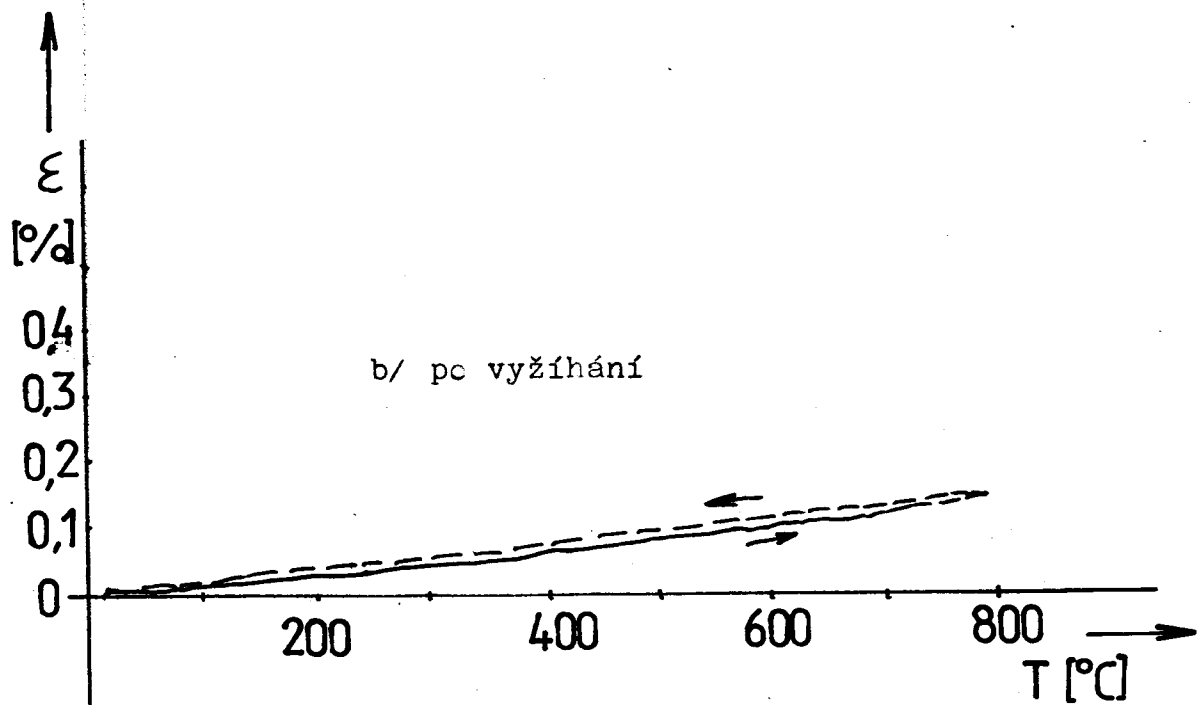
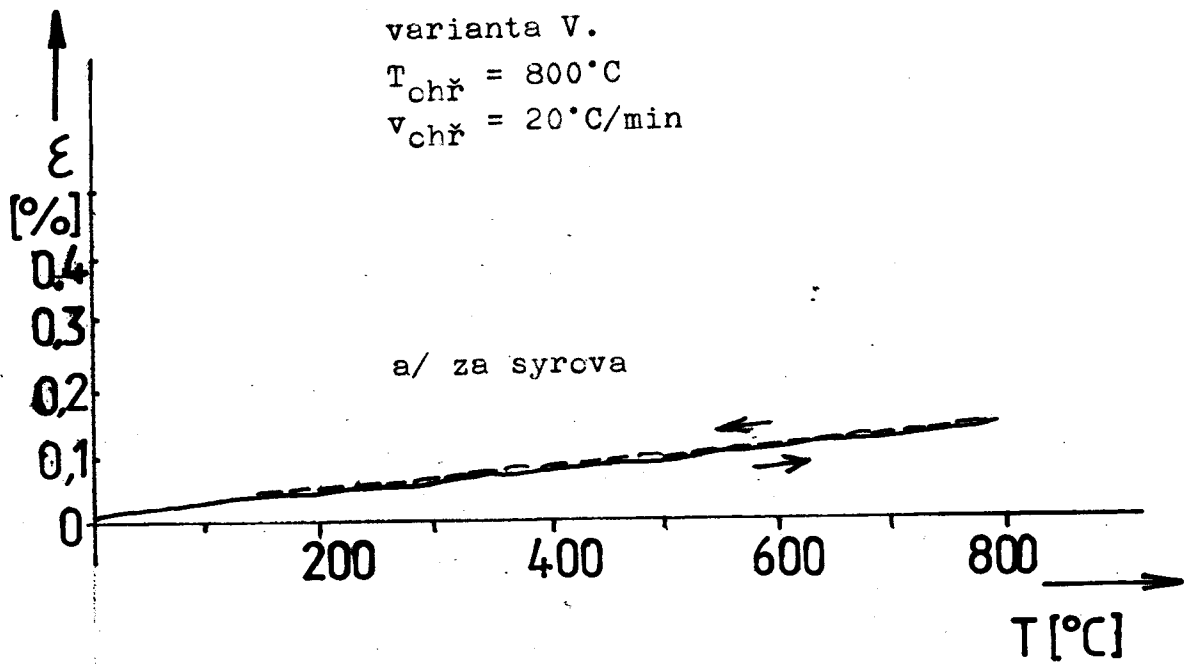


obr.7-10 : Dilatogram kombinované skořepiny

varianta V.

$T_{\text{chř}} = 800^{\circ}\text{C}$

$v_{\text{chř}} = 20^{\circ}\text{C/min}$



7.3. Diskuse výsledků měření vlastností kombinovaných skořepin

7.3.1. Pevnostní vlastnosti

Z výsledků hodnocení pevnosti skořepin v ohybu /za syrova, po vyžehání/ lze vyvodit tyto dílčí závěry :

- Hodnoty pevnosti v ohybu hodnocených skořepinových forem ve všech případech menší než 1,5 MPa, což jsou hodnoty menší než u klasických keramických skořepin křemenných.

- Pořadí jednotlivých variant kombinovaných skořepinových forem od nejvyšší po nejnižší pevnost :

a/ nejvyšší pevnost dosáhla kombinovaná skořepina MOL-SS-KSM,100 /varianta I/,

b/ kombinovaná skořepina MOL-SS-KSM,200/varianta II/,

c/ skořepina ze sádrové směsi SS-KSM /varianta V/,

d/ kombinovaná skořepina L-SS-KSM,200/varianta IV/,

e/ nejnižší pevnost byla naměřena u kombinované skořepiny L-SS-KSM,100 /varianta III/.

- Pevnost skořepin po vyžehání je nižší než ve stavu syrovém u všech variant. Snížení této pevnosti je však rozdílné, a to v pořadí :

a/ kombinovaná skořepina MOL-SS-KSM,100 /varianta I/ o 18,8%

b/ kombinovaná skořepina MOL-SS-KSM,200 /varianta II/ o 19,7%

c/ kombinovaná skořepina L-SS-KSM,200 /varianta IV/ o 47,5%

d/ kombinovaná skořepina L-SS-KSM,100 /varianta III/ o 49,13%

e/ skořepina ze sádrové směsi SS-KSM, 100 /varianta V/ o 58,9%.

- V porovnání s výsledky měření pevnosti u kombinovaných skořepin na bázi lupku a sádry, uvedených v pracích /4,6/, bylo u všech variant dosaženo hodnot nižších, a to jak ve stavu syrovém, tak po vyžehání.

Pravděpodobným důvodem této skutečnosti je, že v uvedených pracech byla sádrová obalovací kaše připravena rozmícháním sádrové směsi s vodou a vazná kapalina pro keramickou břečku obsahovala kolem 15 % SiO_2 .

Z toho lze vyvodit, že účinek vazné kapaliny na vytvrzování sádrové směsi není stejný jako účinek vody.

- Ani úprava postupu přípravy vazné kapaliny a jejího složení zvýšením množství přidávané vody nepřineslo zvýšení pevnosti, spíše naopak pevnost u těchto skořepin je nižší /viz obr. 7-3/.

7.3.2. Dilatační vlastnosti

Z grafů č. 7 - 6, 4, 8, 9, 10, a číselných hodnot vyplývá :

- Dosažené průběhy dilatací všech variant kombinovaných skořepin jsou značně odlišné od průběhu dilatací křemenných skořepin. Průběhy jsou pozvolnějši, dosahují nižších hodnot dilatací a křivky získané při ochlazování jsou prakticky totožné s křivkami při ohřevu.

- Hodnoty dilatací při teplotě 800°C se pro hodnocení kombinované skořepiny pohybují v rozmezí 0,1 - 0,15 % u skořepin za syrova /nežíhaných/ a 0,14 - 0,17 % u skořepin žíhaných. Ve srovnání s tím jsou hodnoty dilatací křemenných skořepin - $\epsilon = 1,5$ % při teplotě 800°C - téměř desetinásobné.

- Tyto nízké a málo odlišné hodnoty dilatací u všech variant kombinovaných skořepin neumožňují vyhodnotit vliv jednotlivých: pozměňujících činitelů.

7.4. Využití výsledků hodnocení vlastností skořepin k návrhu zkušební kombinované skořepinové formy

Na základě dosažených výsledků jednotlivých variant kombinovaných forem jsem pro další laboratorní ověření zvolil variantu I - kombinovaná skořepina MOL - SS - KSM , při normálním složení vazné kapaliny, tj. 100 ml H_2O /l vazné kapaliny. Tuto variantu jsem zvolil především s ohledem na pevnostní vlastnosti. Dilatační vlastnosti jsou příznivé jako i u dalších variant-

Postupu a výsledkům této části práce je věnována následující kapitola.

8. OVĚŘOVÁNÍ KOMBINOVANÉ SKOŘEPINOVÉ FORMY PŘI ODLÉVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH ODLITKŮ Z AL-SLITINY

Po zhodnocení výsledků dosažených v předchozí experimentální části jsem přistoupil k vlastnímu ověřování kombinové skořepinové formy - MOL-SS-KSM, 100 /varianta I/.

Suroviny, které jsem používal pro výrobu předchozích kombinovaných skořepinových forem a této skořepinové formy, pocházejí z dodávky a.s. MESIT - Uherské Hradiště, též voskové modely stromečků a modely tvarové.

Celkové uspořádání pracoviště v laboratoři katedry strojírenské metalurgie, na kterém se uskutečňovala výroba skořepinové formy, je na obr. 8-1.

8.1. Výroba voskového stromečku

Na speciální přípravek, používaný v a.s. MESIT, se nejdříve nasadí kruhová vtoková soustava, potom se nasadí distanční válečky, kterými se volí výška vtokového kúlu. Na horní konec vtokového kúlu se nasadí vtoková jamka a na spodní stranu se nasadí voskové víčko. Pak se celý sestavený stromeček /bez modelů/ ponoří do voskové hmoty, tím se zalijí spáry, které by mohly být příčinou některých vad odlitků.

Celkový pohled na takto připravený stromeček je na obr. 8-2.

Vlastní voskové modely byly použity dvou typů:

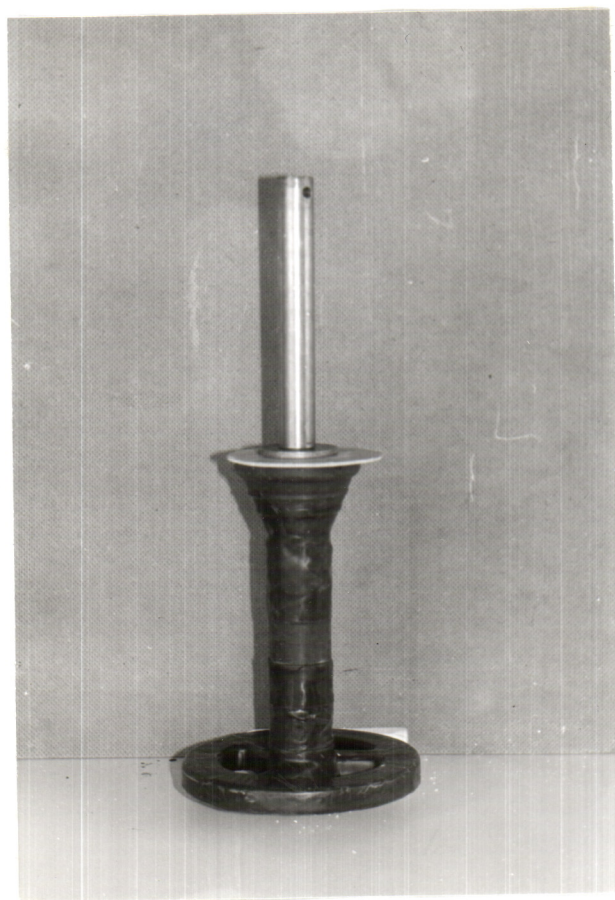
- voskové modely pro hodnocení rozměrové přesnosti s válcovými plochami různých průměrů,
- voskové modely vybraných tvarových odlitků.

Před připájením modelů na vtokovou soustavu stromečku jsem změřil rozměry voskových modelů na hodnocení rozměrové přesnosti. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8-1, 2, 3.

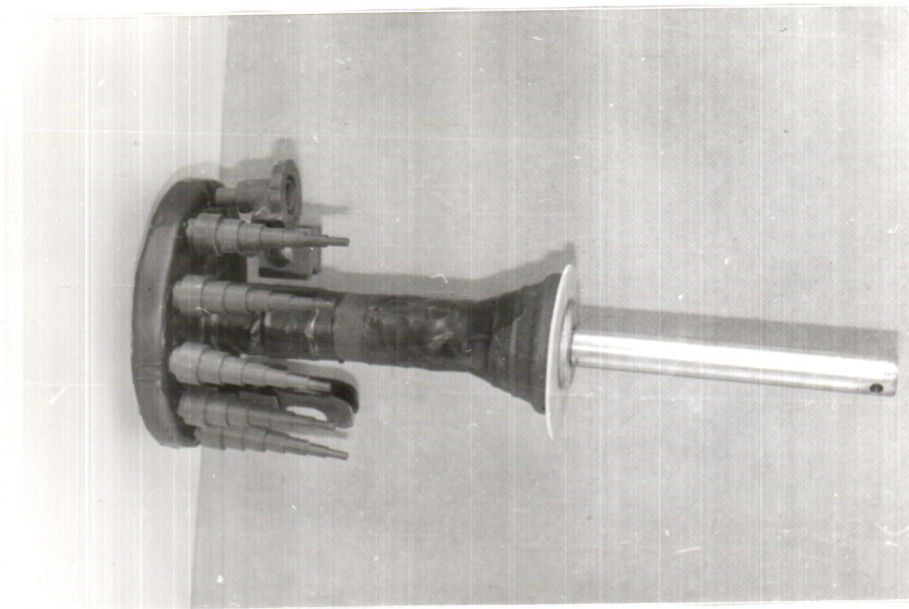
obr.8-1 : Pracoviště v laboratoři KSM



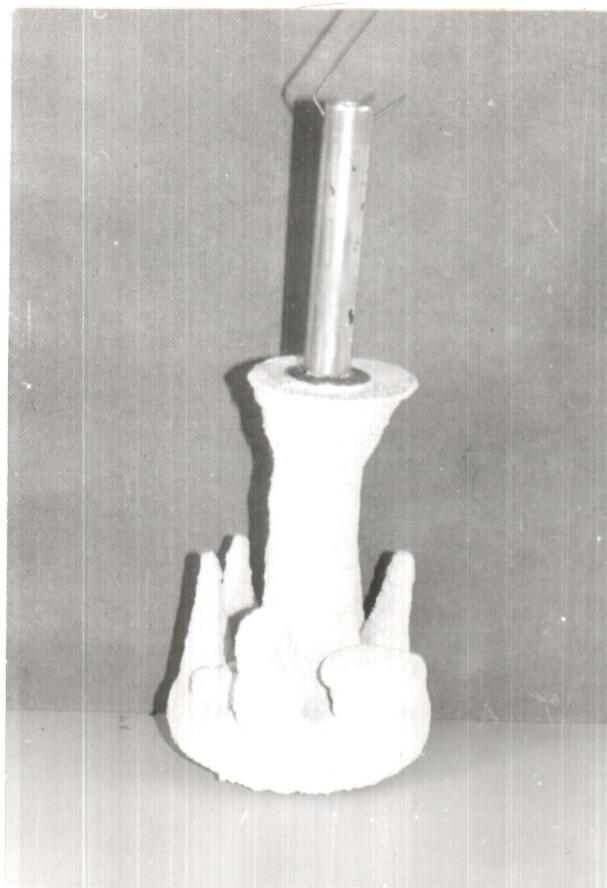
obr.8-2 : Necsazený stromeček



obr.8-3 : Osazený voskový stromeček



obr.8-4 : Obalený voskový stromeček



Připájení modelů jsem provedl elektrickou odporovou pájkou.

Při osazování stromečku modely se musí dbát na to, aby mezi modely byla dostatečná mezera pro vznik skořepiny o požadované tloušťce. Osazený stromeček voskovými modely je na obr. 8-3.

Po takto připravených voskových stromečcích následovala příprava obalovacích směsí.

8.2. Příprava obalových formovacích směsí /břeček/

Jak už bylo uvedeno, použil jsem k vytvoření kombinované skořepinové formy dva druhy obalových břechek dle varianty I. (viz. obr. 8-4)

Keramická obalovací břecha : Byla připravena vmícháním molochitu do vazné kapaliny s obsahem přibližně 12% SiO_2 . Viskozita břechky byla upravena na hodnotu doby výtoku z Fordova pohárku 6mm - 15 s. Před nanášením každého keramického obalu byla břecha důkladně promíchána.

Sádrová obalovací břecha : Byla připravena z vazné kapaliny a sádrové směsi uvedeného složení. Na rozdíl od předchozích zkoušek, kde byla použita sádrová směs předem homogenizovaná v suchém stavu, jsem na základě námětu Ing. J. Cilečka připravoval sádrovou obalovací břechku postupným vmícháváním jednotlivých složek sádrové směsi odděleně přímo do vazné kapaliny při zachování předepsaného složení směsi. Na 2,25l vazné kapaliny jsem spotřeboval celkem 4150 g sádrové směsi. Jednotlivé složky jsem přidával v menších dávkách a vždy jsem po promíchání měřil viskozitu břechky dobou výtoku z Fordova pohárku 6mm. Přehled o tomto postupu udává tabulka č. 8-1. Výsledná viskozita byla pak upravena na dobu 15 s.

8.3. Výroba kombinovaných skořepinových forem

8.3.1. Obalování voskových stromečků

Před zahájením obalování jsem stromečky odmastil v etylalkoholu, aby první obal dokonale přilnul. Jednotlivé obaly jsem nanášel podle předpisu pro variantu I/viz.tab. 6-1/.

Posypávání nanesených obalů jsem prováděl gravitačně v proudu volně se sypajícího materiálu.

Tabulka 8-1 : Přehled množství jednotlivých složek sádrové směsi SS-KSM

		Přidávaná množství jednotlivých složek				
objem vaz. kapaliny		křemen. moučka	lupek	sádra polská	celk. hmotnost	viskozita
l		g	g	g	g	s
2,25	1	500	200	300	1000	4
"	2	250	100	150	500	5
"	3	250	100	150	500	6
"	4	250	100	150	500	7
"	5	250	100	150	500	8
"	6	250	100	150	500	9
"	7	250	100	150	500	12
"	8	50	20	30	100	13
"	9	50 g již homogenizované směsi			50	15
celkem 2050			820	1230	4150	

Při použití tohoto postupu tvorby sádrové obalovací kaše se musí značně prodloužit doba míchání, aby došlo k dokonalému promíchání vlastní směsi s vaznou kapalinou.

8.3.2. Sušení obalů

Sušení jednotlivých obalů probíhalo na pracovišti při teplotě 20 ± 2 °C. Doby sušení pro jednotlivé obaly jsou uvedeny v kapitole 6.5.1.

8.3.3. Vytavování modelů

Před vytavením jsem odstranil kovový držák, který je součástí přípravku na sestavení voskového stromečku. V elektrické sušce jsem si předem připravil závěsné zařízení a nádobu na vytavený vosk.

Kombinované skořepinové formy byly vloženy do již předeheřtuté sušky na teplotu 250°C. Jelikož v tomto zařízení, vlivem tepelného sálení, se forma i voskový stromeček ohřívaly stejně, nedošlo k vytvoření dilatační spáry před dilatací voskové hmoty, což mělo za následek porušení vtokového kůlu a popraskání vtokové soustavy.

Toto porušení je zřetelné na obr.8-

Nevýhodou tohoto způsobu vytavování je velký vývin splodin, které unikaly do volného prostoru pracoviště.

8.3.4. Žíhání skořepinových forem

Žíhání skořepinových forem jsem realizoval v elektrické odporové peci. Kombinované skořepinové formy jsem vložil do chladné pece a začal plynule ohřívat. Žíhání forem probíhalo podle žíhacího diagramu 6-1, kapitola 6.5.4. Chladnutí forem probíhalo ve vypnuté a uzavřené peci.

Obr.8-6 znázorňuje vyžíhanou skořepinu. Na tomto obrázku je viditelně prasklý vtokový kůl - následek při vytavování modelů.

obr.8-5 : Vytavená skořepina



obr.8-6 : Vyžíhaná skořepinová forma



8.4. Odlévání

K odlití zkušebních odlitků jsem použil hliníkovou slitinu ČSN 42 43 31, která byla roztavena v elektrické odporové peci. Teplota lití ve všech případech byla ve všech případech 720°C. Zároveň s počátkem tavby jsem si připravil skořepinové formy. Vzhledem k jejich popraskání jsem zvolil zasypání skořepiny křemenným pískem a nechal předežhřát v elektrické peci.

Teploty předežhřevu formy jsem zvolil :

20°Cnepředežhřátá - 1 forma

150°Cpředežhřátá v peci -1 forma

300°Cpředežhřátá v peci -1 forma.

Po odlití všech tří forem jsem je nechal chladnout zasypané na volném vzduchu. Zasypaná skořepina je znázorněná na obr.8-7

8.5. Vytłoukání odlitků

Po vychladnutí celé soustavy odlitek-kombinovaná skořepinová forma, jsem před vlastním vytłoukáním odlitků ponořil formy do vody na určitou dobu :

1/.....10min

2/.....35min

3/.....60min.

V prvním případě šla skořepina odstranit z vnějších ploch odlitků údery ručním kladivem na vtokovou soustavu. Materiál skořepiny se již velmi těžko odstraňoval z otvorů, dutin a drážek /viz obr.8- 8 b/

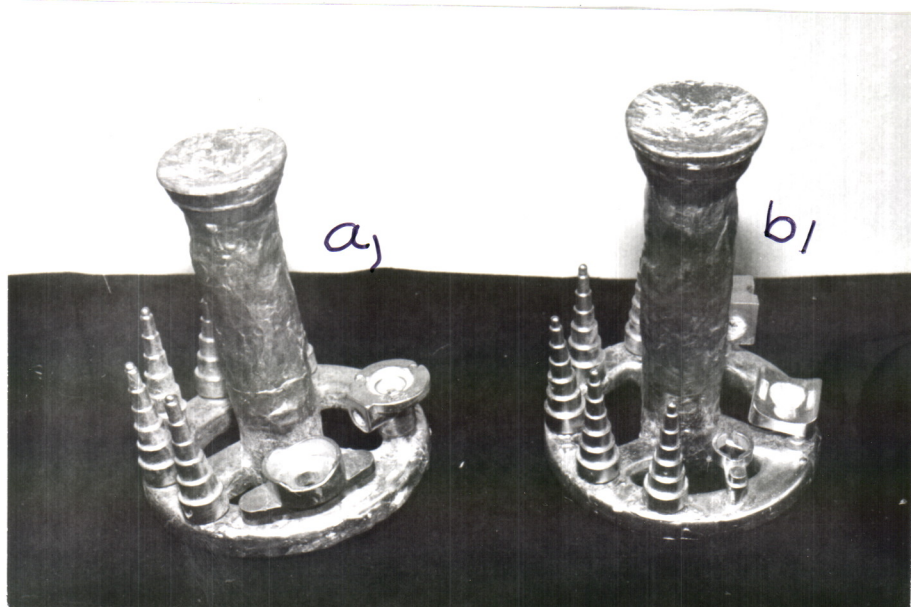
Ve druhém případě šla skořepina odstranit z vnějších ploch opět údery ručním kladivem. Z otvorů a dutin se dal materiál skořepiny odstranit pomocí kovového nástroje.

Po 60 minutách ponoření skořepiny ve vodě se materiál formy, na některých místech, dal sejmut rukou.

obr.8-7 : Zasypaná skořepinová forma



obr.8-8 : Výsledné odlitky



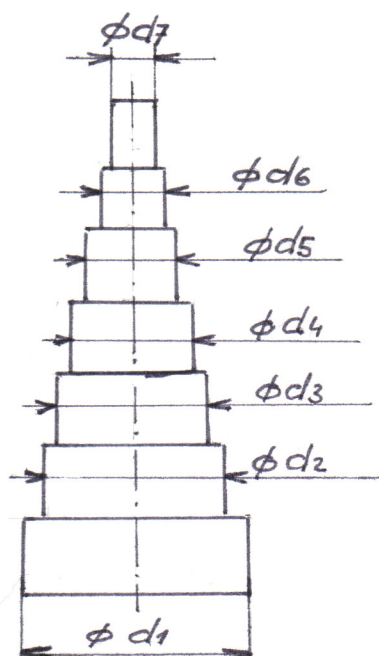
Jinak jsem použil opět údery ručním kladivem na vtokovou soustavu. Z otvorů lze materiál odstranit nástrojem poměrně snadno.

8.6. Hodnocení zkušebních odlitek

8.6.1. Hodnocení rozměrové přesnosti

Po vytlučení odlitek z formy a jejich očištění jsem změřil výsledné odlitky na rozměrovou přesnost. /viz. obr.8-9/.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8-4,5,6.



Obrázek 8-9 : Schema modelu a odlitku pro hodnocení rozměrové přesnosti

Tabulka 8-1 : Rozměrová přesnost - voskové modely

/A - bez předehřevu formy /

č. m.	∅ d1 [mm]	∅ d2 [mm]	∅ d3 [mm]	∅ d4 [mm]	∅ d5 [mm]	∅ d6 [mm]	∅ d7 [mm]
1	19,75	15,85	12,95	10	7,95	6,0	4,0
2	19,8	15,85	12,95	9,95	7,95	5,95	4,0
3	19,75	15,9	12,95	10,0	8,0	5,95	4,0
4	19,8	15,85	13,0	9,95	7,95	5,95	4,0
5	19,75	15,85	12,95	10,0	7,95	5,95	3,95

Tabulka 8-2 : Rozměrová přesnost - voskové modely

/B - forma s předehřevem - 150°C /

č. m.	∅ d1 [mm]	∅ d2 [mm]	∅ d3 [mm]	∅ d4 [mm]	∅ d5 [mm]	∅ d6 [mm]	∅ d7 [mm]
1	19,8	15,85	12,9	10,0	7,95	6,0	4,0
2	19,75	15,85	12,95	9,95	7,95	5,95	4,0
3	19,75	15,9	12,95	10,00	7,95	6,00	4,0
4	19,8	15,85	12,90	9,95	7,95	5,95	4,0
5	19,75	15,90	12,95	10,0	7,95	5,95	4,0

Tabulka 8-3 : Rozměrová přesnost - voskové modely

/C - forma s předehřevem - 300°C /

č. m.	∅ d1 [mm]	∅ d2 [mm]	∅ d3 [mm]	∅ d4 [mm]	∅ d5 [mm]	∅ d6 [mm]	∅ d7 [mm]
1	19,8	15,85	12,9	9,95	7,95	6,00	4,00
2	19,75	15,85	12,90	9,95	7,95	6,00	4,00
3	19,75	15,85	12,95	9,95	7,95	5,95	4,00
4	19,8	15,9	12,95	9,95	7,9	6,0	4,00
5	19,75	15,85	12,95	10,0	7,95	6,0	4,00

Tabulka 8-4 : Rozměrová přesnost - odlitky

/A - bez předehřevu formy /

č. m.	φd1 [mm]	φd2 [mm]	φd3 [mm]	φd4 [mm]	φd5 [mm]	φd6 [mm]	φd7 [mm]
1	19,55	15,65	12,7	9,85	7,85	5,9	4
2	19,55	15,7	12,75	9,8	7,9	5,9	4
3	19,6	15,7	12,8	9,8	7,9	5,9	3,95
4	19,55	15,65	12,75	9,8	7,9	5,85	3,95
5	19,55	15,7	12,8	9,85	7,85	5,85	3,95

Tabulka 8-5 : Rozměrová přesnost - odlitky

/B - forma s předehřevem - 150°C /

č. m.	φd1 [mm]	φd2 [mm]	φd3 [mm]	φd4 [mm]	φd5 [mm]	φd6 [mm]	φd7 [mm]
1	19,7	15,75	12,7	9,85	7,9	5,9	3,95
2	19,65	15,7	12,75	9,85	7,95	5,9	4,0
3	19,6	15,7	12,75	9,8	7,95	5,9	3,95
4	19,6	15,7	12,7	9,8	7,9	5,85	4,0
5	19,65	15,75	12,75	9,85	7,95	5,9	4,0

Tabulka 8-6 : Rozměrová přesnost - odlitky

/C - forma s předehřevem - 300°C /

č. m.	φd1 [mm]	φd2 [mm]	φd3 [mm]	φd4 [mm]	φd5 [mm]	φd6 [mm]	φd7 [mm]
1	19,5	15,65	12,75	9,85	7,95	5,95	4,00
2	19,5	15,6	12,8	9,8	7,95	5,95	4,00
3	19,55	15,6	12,75	9,85	7,9	5,95	3,95
4	19,5	15,65	12,8	9,85	7,9	6,0	4,00
5	19,55	15,6	12,8	9,9	7,95	5,95	4,00

A_{jm} - rozměry modelu

A_{sk} - rozměry odlitku

$$x_i = A_{jm} - A_{sk} \quad (8-1)$$

hodnoty vypočítané ze vztahu 8-1 jsou uvedeny v tabulce 8-7, 8, 9.

Tabulka 8-7 : $x_i = A_{jm} - A_{sk}$.../A bez předehřevu/

č. m.	x_i $\phi d1$ [mm]	x_i $\phi d2$ [mm]	x_i $\phi d3$ [mm]	x_i $\phi d4$ [mm]	x_i $\phi d5$ [mm]	x_i $\phi d6$ [mm]	x_i $\phi d7$ [mm]
1	0,2	0,2	0,25	0,15	0,1	0,1	0
2	0,25	0,15	0,2	0,15	0,05	0,05	0
3	0,15	0,2	0,15	0,2	0,1	0,05	0,05
4	0,25	0,2	0,25	0,15	0,05	0,1	0,05
5	0,2	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0
$\bar{x}_i$	0,21	0,18	0,2	0,16	0,08	0,08	0,02

Tabulka 8-8 : $x_i = A_{jm} - A_{sk}$.../B forma s předehřevem/

č. m.	x_i $\phi d1$ [mm]	x_i $\phi d2$ [mm]	x_i $\phi d3$ [mm]	x_i $\phi d4$ [mm]	x_i $\phi d5$ [mm]	x_i $\phi d6$ [mm]	x_i $\phi d7$ [mm]
1	0,1	0,1	0,2	0,15	0,05	0,1	0,05
2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,0	0,05	0,0
3	0,15	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,05
4	0,2	0,15	0,2	0,15	0,05	0,1	0,0
5	0,1	0,15	0,2	0,15	0,0	0,1	0,0
$\bar{x}_i$	0,13	0,15	0,2	0,15	0,02	0,09	0,02

Tabulka 8-9 : $x_i = A_{jm} - A_{sk} \dots / C\text{-forma s předehřevem } 300^\circ\text{C}/$

č. m.	x_i $\phi d1$ [mm]	x_i $\phi d2$ [mm]	x_i $\phi d3$ [mm]	x_i $\phi d4$ [mm]	x_i $\phi d5$ [mm]	x_i $\phi d6$ [mm]	x_i $\phi d7$ [mm]
1	0,3	0,2	0,15	0,1	0,0	0,05	0,0
2	0,25	0,25	0,1	0,15	0,0	0,05	0,0
3	0,2	0,25	0,2	0,1	0,05	0,0	0,05
4	0,3	0,25	0,15	0,1	0,0	0,0	0,0
5	0,2	0,25	0,15	0,1	0,0	0,05	0,0
x_i	0,25	0,24	0,15	0,11	0,01	0,03	0,01

Pomocí matematické statistiky jsem spočetl střední hodnoty a směrodatné odchylky.

$$\begin{aligned}\bar{x}_i &= f(A_{jm}) \\ R &= \pm 3 \sqrt{n}\end{aligned}\quad (8-2)$$

Vypočtené údaje jsou uvedeny v tabulce 8-10

Tabulka 8-10 : Statistické vyhodnocení - /forma-A/

A_{jm} [mm]	4 $\phi d7$	6 $\phi d6$	8 $\phi d5$	10 $\phi d4$	13 $\phi d3$	16 $\phi d2$	20 $\phi d1$
x_i	0,02	0,08	0,08	0,16	0,2	0,18	0,21
$\sqrt{n}$	0,024	0,024	0,024	0,02	0,0447	0,0244	0,037
$R_{\pm}$	0,073	0,073	0,073	0,06	0,134	0,0734	0,1122

Tabulka 8-11 : Statistické vyhodnocení - /forma -B/

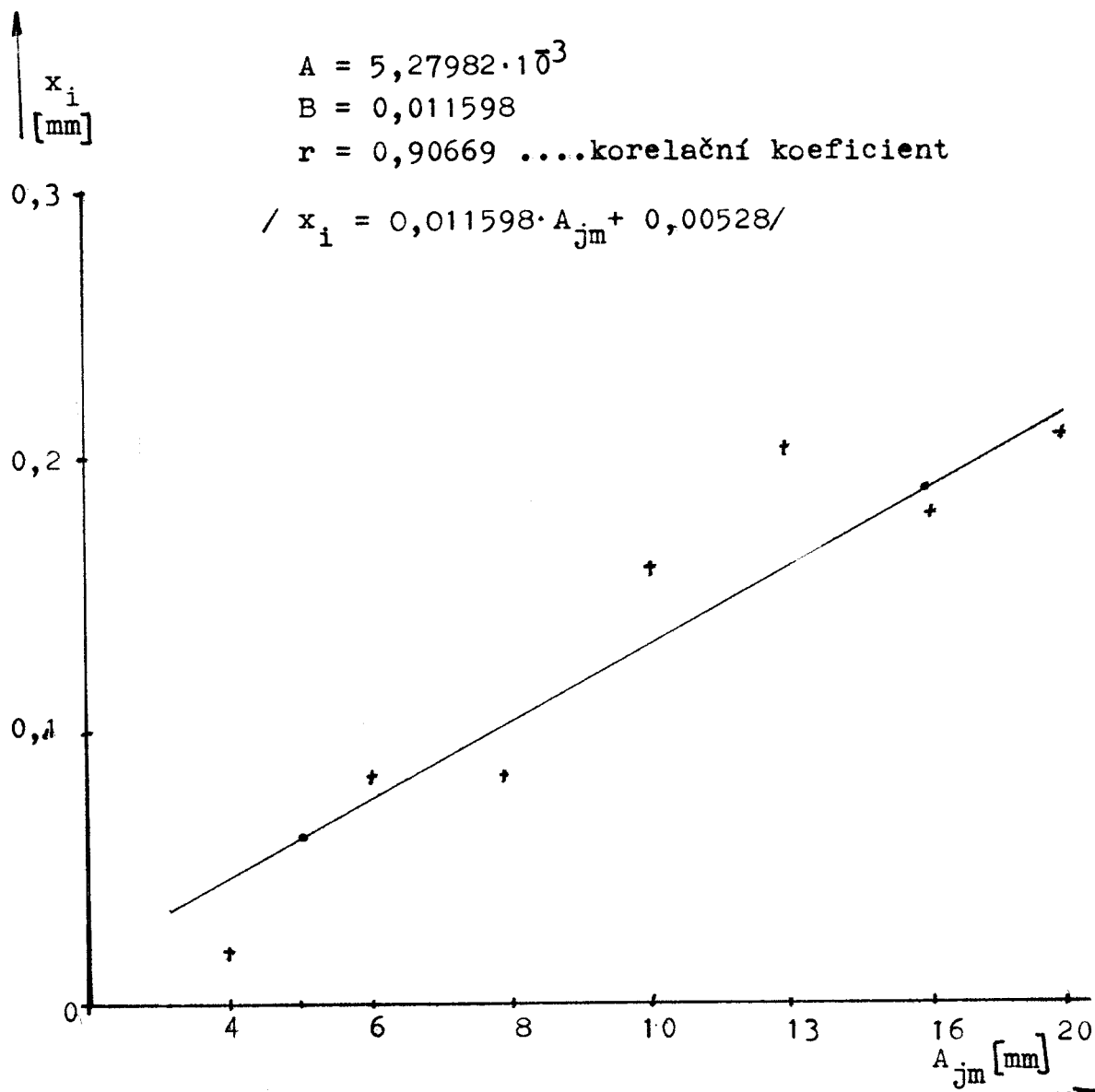
A_{jm} [mm]	4 $\phi d7$	6 $\phi d6$	8 $\phi d5$	10 $\phi d4$	13 $\phi d3$	16 $\phi d2$	20 $\phi d1$
x_i [mm]	0,02	0,09	0,02	0,15	0,02	0,15	0,13
$\sqrt{n}$	0,024	0,02	0,024	0,031	0,024	0,031	0,04
$R_{\pm}$	0,0734	0,06	0,0734	0,0948	0,0734	0,0948	0,12

Tabulka 8-12 : Statistické vyhodnocení - /forma -C/

A_{jm} [mm]	4	6	8	10	13	16	20
	$\phi d7$	$\phi d6$	$\phi d5$	$\phi d4$	$\phi d3$	$\phi d2$	$\phi d1$
$\bar{x}_i$ [mm]	0,01	0,03	0,01	0,11	0,15	0,24	0,25
σ_n	0,02	0,0244	0,02	0,02	0,031	0,02	0,044
$R_{\pm}$	0,06	0,0734	0,06	0,0948	0,06	0,06	0,1341

Pomocí náhradní lineární závislosti jsem sestrojil
z těchto hodnot grafické znázornění. - $y = A + Bx$

obr.8-10 : Za studena odlitá forma -A



obr.8-11 : Forma předehřátá na 150°C - B

$$y = A + Bx$$

$$, y = A + B \cdot \ln x$$

$$A = 0,01708$$

$$A = -0,05446$$

$$B = 0,00598$$

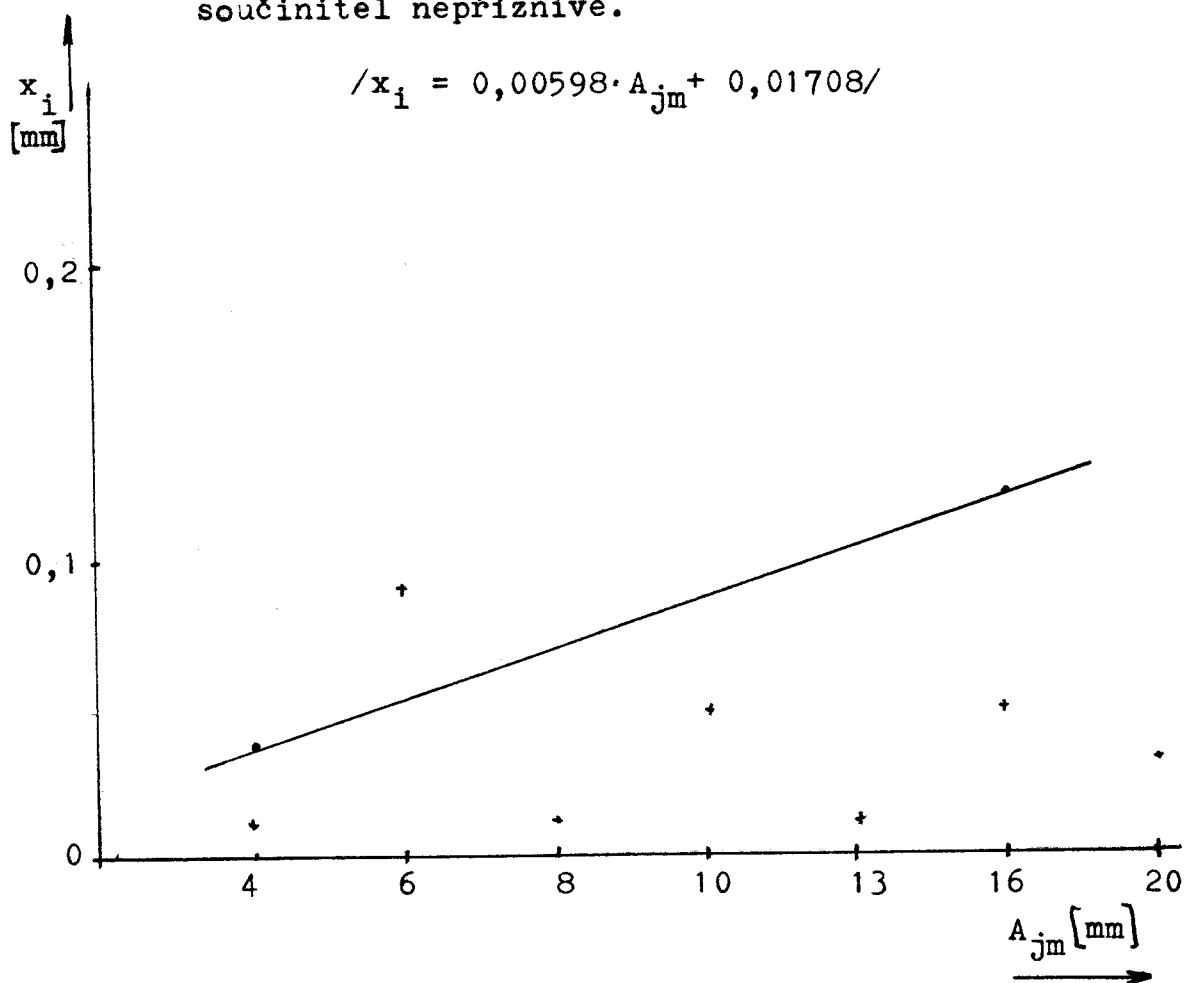
$$B = 0,06048$$

$$r = 0,54746$$

$$r = 0,54991$$

U obou náhradních závislostí vychází korelační součinitel nepříznivě.

$$/x_i = 0,00598 \cdot A_{jm} + 0,01708/$$



obr.8-12 : Forma předeřátá na 300°C - C

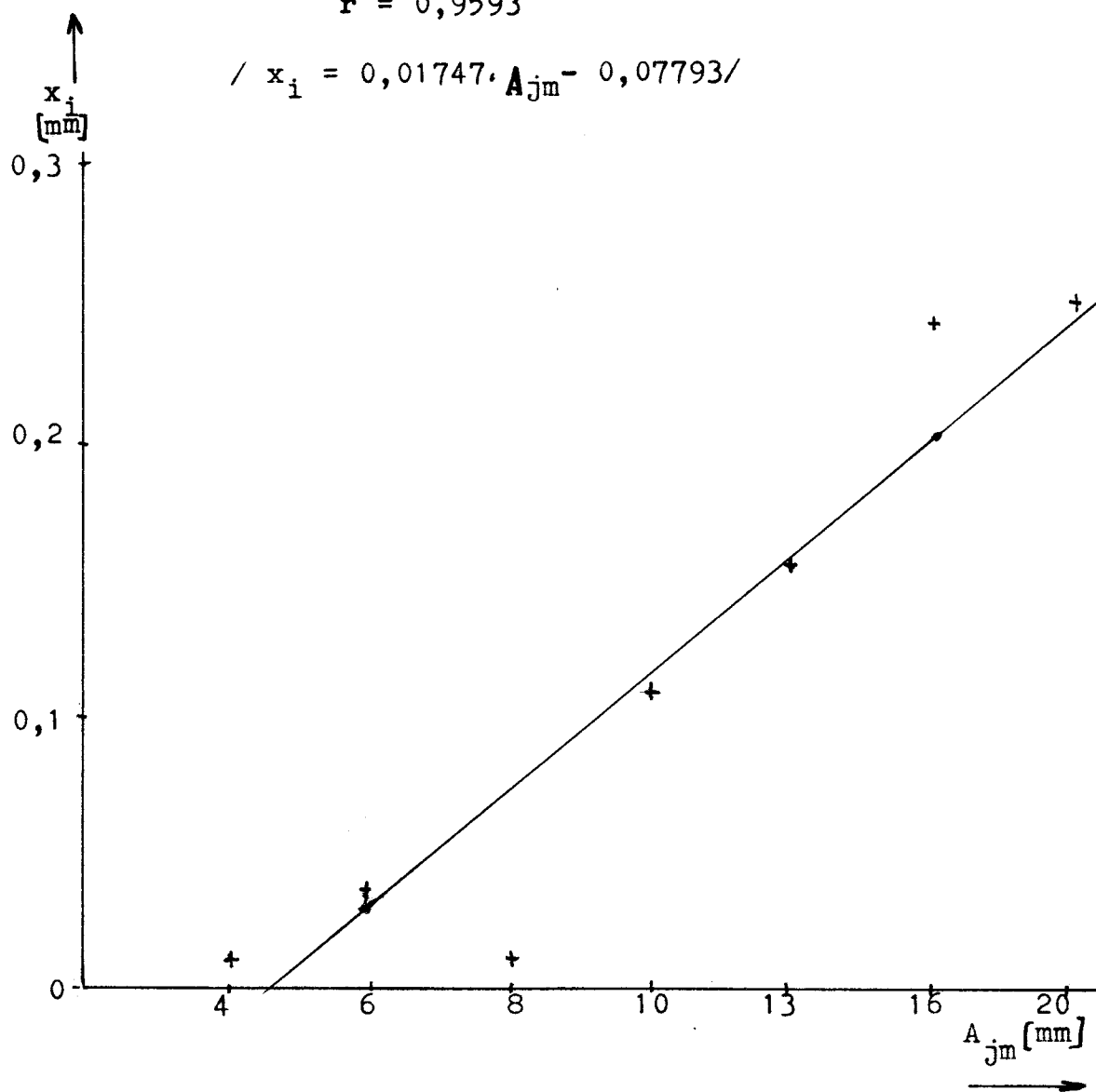
$$x = A + Bx$$

$$A = -0,07793$$

$$B = 0,01747$$

$$r = 0,9593$$

$$/ x_i = 0,01747 \cdot A_{jm} - 0,07793 /$$



Hodnoty korelačního koeficientu jsou blízké 1 u studené formy a u formy předehřáté na teplotu 300°C, t.zn. že je zde velmi těsný vztah náhradní lineární závislosti.

U formy předehřáté na teplotu 150°C tento koeficient není blízký 1.

8.6.2. Hodnocení jakosti tvarových odlitků

Po odstranění skořepiny a očištění výsledných odlitků jsem kromě měření rozměrové přesnosti kontroloval též tvarovou jakost odlitků. Nejběžnější vadou bylo nezaběhnutí taveniny. Z celkového počtu odlitků -7 vykazovalo nezaběhnutí všech 7 odlitků na stromečku. Jednalo se o tenké průřezy, v nichž se projevila nižší prodyšnost skořepinové formy a také nižší metalostatický tlak kovu s ohledem na umístění modelů na stromečku.

Povrch odlitků vykazoval v některých místech vady - mělké prohlubeniny - způsobené pravděpodobně nečistotami a různým poškozením povrchu voskových modelů, vzniklými manipulací s nimi, případně jejich dopravou.

Dá se říci, že převážná část odlitku byl lesklý povrch s nízkou drsností.

Další viditelné vady, které by např. svědčily o porušení jednotlivých obalů kombinované skořepiny, jsem na odlitcích neshledal.

8.7. Shrnutí zkušeností z ověřování kombinované skořepinové formy

Na základě zhodnocení celého postupu přípravy zkušebních kombinovaných skořepinových forem, odlévání zkušebních odlitků i hodnocení jejich jakosti mohu

konstatovat:

a - Použitá varianta I složení kombinované skořepiny vyhověla pro přípravu zkušebních forem a jejich odlití.

b - Pro přípravu sádrové obalovací břečky lze použít metody postupného vmíchávání jednotlivých složek směsi do vazné kapaliny při zachování předepsaného složení. Metoda je však časově náročnější než příprava břečky z předem homogenizované směsi.

c - Vytavování modelů v peci není nejvhodnější metodou. Doporučuji ověřit vytavování v autoklávu.

d - Vzhledem k popsáným problémům s vytavováním v peci nebylo k odlévání použito kombinovaných skořepin samonosných, ale zasypaných. Proto doporučuji se i na tuto otázku ještě zaměřit.

e - Po odlití bylo možno skořepinu z odlitků poměrně snadno odstranit po předchozím ponoření do vody na určitou dobu.

9. SHRUTÍ A ZÁVĚRY Z PROVEDENÝCH PRACÍ

V experimentální části jsem provedl :

- 1/ Návrh 5 variant kombinovaných skořepinových forem -na bázi lupku a sádry
-na bázi molochitu a sádry
-ze sádrové směsi

s jedním druhem pojiva - vazné kapaliny.

2/ Hodnocení vlastností těchto navržených kombinovaných skořepinových forem. Potvrdilo se vhodné použití metod hodnocení kombinovaných skořepin. Tyto metody podávají objektivní obraz o vlastnostech skořepin.

Z hodnot pevnosti skořepin v ohybu vyplynula^{ne} vhodnost zvoleného ředícího poměru - 1,5 : 1. Pevnost se snížila vlivem snížení %SiO₂, žíháním a částečně i zvýšením obsahu H₂O ve vazné kapalině.

Dilatace těchto kombinovaných skořepinových forem mají nízké hodnoty a příznivý průběh při ohřevu i při ochlazení.

3/ Přípravu zkušební kombinované skořepinové formy pro odlití tvarových odlitků. Po odlití a vychladnutí skořepiny se materiál poměrně snadno dal odstranit z vnějších ploch odlitků. Z vnitřních dutin se materiál skořepiny odstraňoval nejhůře u skořepiny, která byla odlita ve studeném stavu.

4/ Hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti odlitků. Výsledné odlitky vykazovaly menší odchylky od rozměrů voskových modelů, což mohlo být zapříčiněno při tuhnutí taveniny smrštěním. Též tvarová přesnost výsledných odlitků byla vyhovující. Nezaběhnutí, které vykazovaly odlitky bylo zapříčiněno snížením prodyšnosti formy v malých průřezích a snížením metalostatického tlaku, s ohledem na umístění modelů na stromečku.

10. ZÁVĚR

Výsledky a poznatky uvedené v této práci doplňují již dříve uvedené a citované práce a mohou přispět k dalšímu poloprovoznímu ověřování kombinovaných skořepinových forem pro výrobu odlitků ze slitin hliníku.

V závěru mé diplomové práce bych chtěl vyjádřit poděkování vedoucímu diplomové práce

Doc. Ing. Z. Holubcovi a pracovníkům
katedry strojírenské metalurgie
paní Evě Pokorné
panu Jaroslavu Vorlovi za poskytnutou
pomoc při řešení této práce.

Též děkuji Ing. J. Cilečkovi a dalším pracovníkům
slévárny přesného lití a.s. MESIT - Uherské Hradiště
za poskytnuté poznatky a materiální pomoc při
provádění vlastní diplomové práce.

V Liberci dne 27.5.1992

Petr Rakus



11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. DOŠKÁŘ, J.-KAŠTÁNEK, O.: Přesné lití -Výroba přesných odlitků metodou vytavitelného modelu.
Praha, 1961
2. DOŠKÁŘ, J. a kol.: Výroba přesných odlitků.
Praha, 1976
3. ŠKLENIK, J.I. a kol.: Litje po vyplavljajemym modeljam.
Moskva, 1984
4. HOLUBEC, Z.: Možnosti výroby odlitků z Al slitin v kombinovaných skořepinových formách na bázi lupku a sádry.
VŠST, Liberec 1991
5. CILEČEK, J. a kol.: Přesné lití hliníkových slitin metodou vytavitelného modelu.
Zpráva MESIT - Uherské Hradiště, 1989
6. HOLEČEK, P.: [Diplomová práce]
VŠST, 1991
7. STROČENKO, A.A. - ZACHARČENKO, E.V: Keramičeskije formy v točnom litje po postojanym modeljam.
Moskva, 1988
8. BUDSKÝ, T.: Studium tuhnutí odlitků ze slitin hliníku v kombinovaných skořepinových formách na bázi lupku a sádry.
[Diplomová práce] VŠST, Liberec 1992