

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Obr. 23 - 07 - 8

strojírenská metalurgie

zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské metalurgie

Jan B a r t o š

Ověřování keramických skořepinových forem

s hydrosolovým pojivem TOSIL

Jan B a r t o š

KSM - 443

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zdeněk HOLUBEC, CSc.

Diplomová práce

Číslo strany: 35

Číslo tabulek: 11

Číslo příloh: 1

Číslo stran příloh: 0

Číslo výtisků: 0

1996

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská metalurgie

zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské metalurgie

Ověřování keramických skořepinových forem s hydrosolovým pojívem TOSIL

Jan B a r t o š

KSM - 443

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zdeněk HOLUBEC, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 85

Počet tabulek: 11

Počet obrázků: 8

Počet stran příloh: 0

Počet výkresů: 0

O b s a h:

1. Úvod

2. Keramické skořepinové formy pro výrobu přesných odlitků

2.1. Obalování

2.1.1. Příprava obalové hmoty

2.1.2. Technika obalování

2.1.3. Posypávání obalů

2.2. Sušení obalů skořepin

2.3. Vytavování modelové hmoty ze skořepin

2.4. Vypalování skořepin

3. Hydrosolová pojiva keramických skořepinových forem

3.1. Podstata pojení a tuhnutí keramických formovacích hmot

3.2. Přehled a charakteristika pojiv používaných pro výrobu keramických skořepin

3.2.1. Alkosolová pojiva a jejich charakteristika

3.2.2. Hydrosolová pojiva a jejich charakteristika

3.2.3. Hydrosolové pojivo TOSIL a jeho charakteristika

4. Hodnocení vlastností keramických skořepinových forem s hydrosolovým pojivem TOSIL

4.1. Charakteristika laboratorního pracoviště výroby keramických skořepinových forem a jednotlivých operací výroby

4.2. Složení a charakteristika použitých druhů vazné kapaliny

- 4.3. Hodnocení pevnosti keramických skořepin v ohybu
 - 4.3.1. Podstata zkoušky pevnosti v ohybu
 - 4.3.2. Jednotlivé serie zkoušek pevnosti v ohybu a jejich výsledky
 - 4.3.3. Diskuse výsledků zkoušek pevnosti v ohybu a dílčí závěry
- 4.4. Hodnocení teplotních dilatací keramických skořepin
 - 4.4.1. Charakteristika měření teplotních dilatací skořepin
 - 4.4.2. Diskuse výsledků měření teplotních dilatací
- 4.5. Hodnocení lícni povrchové vrstvy keramických skořepin
 - 4.5.1. Podmínky smáčení voskových modelů obalovou břečkou
 - 4.5.2. Princip a podmínky zkoušky
 - 4.5.3. Diskuse výsledků
- 4.6. Dílčí závěry z výsledků provedených hodnocení keramických skořepin

5. Ověřování zkušebních keramických skořepinových forem na bázi pojiva TOSIL při výrobě odlitků

- 5.1. Jednotlivé serie ověřovacích zkoušek a jejich výsledky
- 5.2. Hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti zkušebních odlitků
 - 5.2.1. Postup hodnocení rozměrové přesnosti
 - 5.2.2. Výsledky hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti
 - 5.2.3. Dílčí závěry z hodnocení rozměrové přesnosti odlitků
- 5.3. Zhodnocení výsledků ověřování zkušebních forem

6. Rozbor spotřeby materiálů a porovnání nákladů na jednotlivé druhy zkoušených keramických skořepinových forem

6.1. Rozbor podílu jednotlivých složek materiálů a cenové náklady

6.2. Diskuse ekonomických výsledků a dílčí závěry

7. Dílčí závěry z ověřování keramických skořepinových forem na bázi hydrosolového pojiva TOSIL

8. Závěr

1. Úvod

9. Literatura

Výroba tvarových odlitků je trvale velmi významnou součástí strojírenské technologie, neboť zajišťuje podstatný podíl součástí strojů a zařízení. Ve většině případů se sice jedná o polotovary, které se dále dokončují jinými technologiemi, avšak existují metody tzv. přesného lití, které umožňují snížit podíl těchto dokončovacích operací na minimum, příp. je zcela odstranit. Mezi tyto metody patří odlévání do keramických skořepinových forem, vyrobených pomocí vytavitelného modelu.

Charakteristickým znakem metody vytavitelných modelů je nedělená forma, která vznikne opakovaným namáčením modelu z voskové směsi do kašovité formovací směsi. Po vytvoření formy v podobě skořepiny určité tloušťky se voskový model odstraní vytavením, vypálením apod., čímž se v podstatě zničí. Pro další formu je tedy zapotřebí další model. Předností metody je možnost výroby odlitků i takových složitých tvarů, které se pomocí trvalého modelu vyrobit nedají.

Přesto, že základní princip metody vytavitelného modelu je znám již několik tisíciletí, je metoda pro potřeby průmyslové výroby přesných odlitků stále zdokonalována. Velká pozornost výzkumu a vývoje je věnována např. pojivovým systémům keramických formovacích směsí, zejména pak nahrazování alkosolových pojiv pojivovými systémy na bázi hydrosolů.

Ve své diplomové práci jsem měl za úkol ověřit možnost použití hydrosolového pojiva české výroby pod označením TOSIL. Výsledky své práce - studijní a experimentální - uvádím v dalších kapitolách.

2. Keramické skořepinové formy pro výrobu přesných odlitků [1]

Od druhé světové války, kdy výroba skořepinových forem doznala velkého rozšíření v hromadné průmyslové výrobě strojních součástí, prošla metoda řadou vývojových stupňů. Dříve byla nejvíce uplatňována metoda zasypané skořepiny. V poslední době se všeobecně používá technologie samonosné skořepiny.

Nejběžnější způsob výroby samonosných keramických skořepin je obalování voskového modelu. Technologie se skládá z těchto dílčích operací:

1. obalování,
2. sušení,
3. odstraňování vytavitelných modelů ze skořepin,
4. vypalování (žíhání) skořepin.

2.1. Obalování

Obalování je opakované namáčení modelových "stromečků" do obalové hmoty a posypání ulpělé vrstvy žáruvzdorným materiálem o vhodné zrnitosti, přičemž se mezi každým obalem stromečky suší. Tento proces se opakuje tolikrát, až má obal požadovanou tloušťku, na níž záleží pevnost skořepiny a rozměr odlitku. Počet obalů bývá od 3 do 10.

2.1.1. Příprava obalové hmoty

Příprava obalové hmoty spočívá ve vmíchání potřebného množství žáruvzdorné moučky do kapalného pojiva (vazné kapaliny). Připravená suspenze se ponechá určitou dobu v klidu, aby unikl vzduch, který se vmíchal do suspenze spolu s moučkou, a aby se povrch jednotlivých částíček moučky dokonale smočil.

Poměr hmotnosti moučky a objemu kapalného pojiva se řídí podle předepsané hustoty obalové hmoty, druhu pojiva a žáruvzdorné moučky. Tak např. podle publikovaných údajů pro hydrosoly SiO_2 (vodné koloidní roztoky) udává ruská literatura poměr 1 kg moučky na 0,37 l kapalného pojiva, zatímco pro hydrolyzovaný etylsilikát v lihoacetonovém prostředí je poměr 1 kg křemenné moučky na 0,45 až 0,48 l pojiva.

Viskozita obalové hmoty bývá různá a řídí se podle zvyklostí v jednotlivých závodech.

Na ruční obalování se používá obvykle na první, popřípadě i na druhý obal řidší obalová hmota než na ostatní obaly. Tomu se přizpůsobuje i zrnitost posypových materiálů. Na řidší obalové hmoty se používají jemnější, na hustší naopak hrubší.

2.1.2. Technika obalování

Čisté voskové stromečky vytemperované na teplotu pracoviště, kde se obalování provádí, se namočí do obalové kašovité hmoty, jejíž viskozita má předepsanou hodnotu. Namáčejí se pomalým ponořením stromečku při současném otáčení a naklánějí se tak, aby obalová hmota stromeček rovnoměrně pokryla a aby se neutvořily v koutech, rozích nebo drážkách vzduchové polštáře, nebo aby tam neulpěly vzduchové bublinky. Stromeček zůstává v obalové hmotě podle velikosti a tvaru tak dlouho, až se všechny otvory a drážky modelů vyplní a až uniknou vzduchové bublinky, potom se vyjme z obalové hmoty a manipuluje se s ním tak, aby se obalová hmota rozdělila a přebytečná odkapala.

Doba setrvání stromečku v obalové hmotě i doba odkapání záleží na zkušenosti obalovače, který dbá především na to, aby obaly měly přibližně stejnou tloušťku. První obal vyžaduje kratší dobu ponoru i odkapání než obaly další, které se musí ponechat v obalové hmotě delší dobu, musí se náležitě zvlhčit, aby nový obal dobře přilnul k předchozímu. Po vyjmutí z obalové hmoty a odkapání se stromeček posype žáruvzdorným materiálem (drtí) vhodné zrnitosti, a to jemnějším pro řidší obalové hmoty a hrubším pro hustší. Mezi každým obalem se stromeček suší.

2.1.3. Posypávání obalů

Původně se posypávaly obaly mechanicky proudem volně padajícího materiálu (písku). Dnes se posypává fluidně, tj. ponořením obaleného stromečku do vzduchem načeřeného posypového materiálu. Tento způsob zaručuje mnohem rovnoměrnější posyp.

Obecně má mít posypový materiál takové rozdělení velikosti zrna, aby vyrobené skořepiny měly pokud možno stejnoměrnou tloušťku, a to i na hranách, vyhovující pevnost a prodyšnost při minimálním kolísání velikosti zrna v plynulém provozu.

2.2. Sušení obalů skořepin

Obaly tuhnou buď jen odpařením disperzního prostředí z kapalného pojiva, které vyvolá stavovou změnu solu v gel, nebo vyvoláním této změny chemickými činidly a teprve pak odpařením disperzního prostředí z pojiva.

Používaná kapalná pojiva, ať jsou to alkoholické roztoky produktů hydrolýzy alkoxy polysiloxanů nebo hydrosoly SiO_2 , jsou koloidní roztoky a řídí se zákony koloidů. 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 ihned změní v gel. To je podstata tvrdnutí obalů sušením.

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 pojivu. Obaly z hmot s vaznou kapalinou o vysoké koncentraci koloidní disperze SiO_2 tuhnou v poněkud kratší době než obaly s vaznou kapalinou o nízké koncentraci SiO_2 .

3. Klimatické podmínky v sušicím prostoru. Rychlost sušení závisí především na teplotě prostředí, rychlosti proudění a rychlosti odstranění par disperzního prostředí. Zvýšená teplota urychluje odpařování disperzního prostředí a zkracuje dobu schnutí obalů.

4. Velikost zrna posypového materiálu. S rostoucí velikostí zrna posypového žáruvzdorného materiálu roste i rychlost schnutí obalů.

2.3. Vytavování modelové hmoty ze skořepin

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

odstranit. Toho lze podle údajů literatury dosáhnout třemi způsoby:

1. Vytavováním za vysoké teploty

Obalené stromečky se vloží do pece vyhřáté na teplotu nejméně 750°C , jako pracovní teplota se uvádí $900-1000^{\circ}\text{C}$, takže se spojí vytavení modelové hmoty s vypalováním skořepiny. Stromečky jsou v peci vtokem dolů a vosk vytéká do podstavené nádoby.

2. Vytavováním za nízké teploty

Literatura tento způsob popisuje jako vytavování modelů (vosku) ve vroucí vodě. Jde o velmi často používanou technologii. Obalený stromeček ponořený do vroucí vody se rychle prohřívá, a tak dochází k přednostnímu odtavení vosku u stěny skořepiny a z vtokové jímky. Vytavený vosk vyplave na povrch vodní lázně. Vytavení trvá 10-15 minut podle tvaru a složitosti stromečku.

3. Vytavováním v autoklávu

V současné době se většinou přechází od vytavování modelů ve vodě k vytavování v syté vodní páře v tlakových nádobách. Předností tohoto způsobu vytavování je prudší tepelný náraz na povrch voskového modelu ve skořepině, který je tím intenzivnější, čím je vyšší teplota páry. Protože teplota páry záleží na jejím tlaku, používají se v praxi zařízení, která pracují s tlakem od 0,3-0,6 MPa při teplotě páry od $135-165^{\circ}\text{C}$.

2.4. Vypalování skořepin

Žíháním se převede amorfní forma vazné vrstvičky SiO_2 na formu krystalickou a odstraní se všechny těkavé látky

(zbytek vosku). Vypalovací teplota bývá vyšší než 800°C ($900-1080^{\circ}\text{C}$). Maximální teplota, na kterou se skořepiny ohřívají, se řídí charakterem použitých pecí. V ČR se k vypalování skořepin používají elektrické odporové pece, proto je žíhací teplota v rozmezí $900-980^{\circ}\text{C}$.

Vypalovací teploty se od vložení skořepin do pece až po konečnou teplotu vypalování řídí vlastnostmi skořepin.

Skořepiny z křemenné moučky a křemenného písku vyžadují pomalejší rovnoměrný ohřev a opatrné prohřívání v oblasti první krystalografické přeměny kvarcitu (575°C). Počáteční teplota pece, při níž se studené skořepiny do pecního prostoru vkládají ($300-400^{\circ}\text{C}$), se volí podle velikosti pece a její tepelné kapacity. Tak se zajistí, aby nebyl tepelný spád příliš prudký a aby rychlost ohřevu dovolila rovnoměrné prohřívání skořepin. Obvykle je to rychlost $5-6^{\circ}\text{C}$ za minutu, čili $250-300^{\circ}\text{C}$ za hodinu. Po prohřátí skořepin a vyrovnaní teplot se má teplota dále zvyšovat dříve uvedenou rychlostí. Při teplotě velmi blízké 575°C , při níž dochází k objemovým změnám, má být asi 30-minutová prodleva, aby nevznikaly deformace nebo trhliny. Následuje další ohřev stejnou rychlostí až na konečnou teplotu, na níž skořepiny setrvávají po dokonalém prohřátí a vyrovnaní teploty 60-80 minut.

Po tomto stručném přehledu jednotlivých operací výroby keramických skořepinových forem se budu dále zabývat pojivovými systémy pro přípravu keramických formovacích směsí s hlavním zaměřením na pojiva na bázi hydrosolů.

3. Hydrosolová pojiva keramických skořepinových forem

3.1. Podstata pojení a tuhnutí keramických formovacích hmot [2]

Formovací hmoty pro přesné lití jsou kašovité konzistence. Jsou složeny z vazné kapaliny, v níž jsou rozmíchány žáruvzdorné látky vhodné zrnitosti.

Vazné kapaliny jsou vodné, vodně alkoholické nebo jen alkoholické koloidní roztoky kysličníku křemičitého (SiO_2). Ztuhnutí formovacích hmot je vyvoláno stavovou změnou těchto koloidních roztoků.

Koloidní stav látky je vyznačen tím, že látka je dispergována (rozptýlena) v některém z uvedených prostředí, přičemž se velikost částic a látky pohybuje uvnitř určitých rozměrových hranic.

Koloidní systém, tj. disperze tuhých látek v kapalinách se nazývá koloidní roztok neboli *s o l* (podle latinského *solvere* = rozpouštět). Ty soly, v nichž je dispergována tuhá složka v kapalině, se nazývají *l y o s o l y*.

Při naprosté nerozpustnosti koloidní disperze v disperzním prostředí, mluvíme o *l y o f o b n í c h s o l e c h*. Je-li disperzním prostředím voda, mluvíme o *h y d r o f o b n í c h s o l e c h* (hydrosolech).

Na styčné ploše kapalně a tuhé fáze lyosolů probíhají adsorbční pochody.

Přitažlivými silami opačných nábojů iontů adsorbovaných na povrchu koloidní částice a disperzního prostředí v těsné blízkosti částice se na rozhraní vytvoří tzv. Helmholtzova elektrická dvojvrstva. Je složena z iontů adsorbovaných na tuhé fázi (koloidní částici) a z ekvivalentního množství

iontů opačných nábojů, které jsou rozděleny na dvě fáze: disperzní prostředí a styčnou meziplochu koloidní částice s disperzním prostředím.

Náboj tuhé fáze je povrchový a je rozdělen na povrchu koloidní částice stejnoměrně. Náboj disperzního prostředí je vytvořen nestejnoměrným rozdělením bodových iontů. Největší koncentrace iontů opačného náboje je v blízkosti koloidní částice, se zvětšující se vzdáleností jí ubývá. Mezi oběma náboji je určité elektrické napětí, které nazýváme elektrickým potenciálem.

Kapalinový obal spolu s nábojem koloidní částice je velmi důležitý pro stabilitu solů. Pro lyofobní soly to jsou zejména náboje koloidních částic. Jejich odpudivé síly brání spojování těchto částic a udržují je v koloidní disperzi. Stabilita lyofobních solů je tím větší, čím vyšší náboje mají koloidní částice. Zbavíme-li lyofobní soly náboje, obvykle ihned změni stav a ztuhnou.

Stavové změny tekutých koloidních systémů, z nichž má pro metody přesného lití význam zejména gelace, souvisí se změnou potenciálu mezivrstvy. Klesne-li potenciál na určitou, tzv. kritickou hodnotu, přestane působit odpudivá síla mezi koloidními částicemi, které se začnou přibližovat a přiblíží-li se k sobě dostatečně blízko, jsou naopak vzájemně přitahovány Van der Waalsovými silami. Částice se vzájemně spojují a to je základem stavových změn solů.

Sol tuhne obvykle v celém objemu. Vzniklý rosolovitý útvar se nazývá g e l , všeobecně l y o g e l . Jedná-li se o vodný koloidní roztok - h y d r o g e l (v případě alkoholického koloidního roztoku - a l k o g e l).

Všeobecně stavová změna systému sol - gel je základem tuhnutí kašovitých keramických směsí s lyosoly SiO_2 . Sol SiO_2 se mění postupně na gel SiO_2 , gel obaluje v tenké vrstvě zrna tuhé keramické složky formovací směsi a váže je dohromady.

Při obalovém způsobu nastane stavová změna solu SiO_2 v gel SiO_2 odpařením disperzního prostředí (voda nebo alkohol). Odpařováním se koloidní částice přibližují. Přiblíží-li se k sobě vzájemně tolik, že to bude odpovídat minimu energie, nastane gelace. Pro exaktní výsledky v lití metodou vytavitelného modelu je nutné, aby stavové změny lyosolu SiO_2 dávaly vazné gely SiO_2 žádoucích vlastností. Ty jsou souhrou základních vlastností lyosolů, způsoby přípravy výchozích lyosolů a pracovních podmínek při výrobním procesu.

3.2. Přehled a charakteristika pojiv používaných pro výrobu keramických skořepin [2,4]

Jako pojiva se u těchto druhů forem používají koloidní roztoky SiO_2 v etylalkoholu - alkosoly, nebo ve vodě - hydrosoly. Ve slévárnách přesného lití v České republice jsou dosud nejrozšířenější pojiva alkosolová, tj. pojiva získaná hydrolýzou etylsilikátu. Ve světě se však již značně rozšířila pojiva na bázi hydrosolů, která mají oproti alkosolům řadu předností, zejména z hlediska vlivu na pracovní a životní prostředí.

3.2.1. Alkosolová pojiva a jejich charakteristika

Alkosoly SiO_2 , jako vazné kapaliny k výrobě keramických

skořepinových forem, se připravují hydrolytickým štěpením esteru kyseliny ortokřemičité (tzv. etylsilikátu). Tím se dá připravit alkoholický koloidní roztok SiO_2 nejkratším a nejpohodlnějším způsobem. Protože se etylsilikát ve vodě nerozpouští, provádí se hydrolýza přímo v alkoholu postupným přidáváním okyselené vody (kyselina působí jako hydrolyzační katalyzátor reakce).

V praxi existuje mnoho postupů a receptů, jak hydrolýzu ETS 40 provádět. Jako nejvhodnější je doporučován tento postup pro přípravu vazných kapalin [2]: K hydrolýze ETS 40 se použije takové množství vody, aby byl téměř všechn přítomný etylsilikát převeden na SiO_2 , popř. se přidá voda jen v malém přebytku. Připravený alkosol s přibližně 20 % SiO_2 se zředí alkoholem na požadovanou koncentraci SiO_2 ve vazné kapalině. Teplota při hydrolýze se má pohybovat kolem 40 °C a nemá překročit 45 °C. Hydrolýza se katalyzuje jen potřebným množstvím kyseliny (nejčastěji HCl), další podíl kyseliny se přidá až po skončení hydrolýzy při ředění na vaznou kapalinu.

Z hlediska přesného lití je důležité, aby alkosol SiO_2 (používaný jako pojivo v keramické formovací směsi) zachoval co nejdéle konstantní vlastnosti:

- aby neměl během krátké doby sklon ke gelaci;
- aby jednotlivé obaly skořepiny nepraskaly;
- aby výsledná skořepina byla co nejpevnější;
- aby výrobní cyklus keramické skořepinové formy byl co nejjednodušší a nejkratší.

V rámci přípravy na řešení své diplomové práce jsem se seznámil s recepturou a postupem přípravy vazné kapaliny na

bázi hydrolyzovaného ETS 40 sléváren přesného lití a.s. FIMES Uherské Hradiště a a.s. STROJTEX Dvůr Králové n. Labem. Tyto postupy jsem uplatnil v experimentální části práce pro porovnávací zkoušky.

3.2.2. Hydrosolová pojiva a jejich charakteristika

Hydrosoly SiO_2 jsou koloidní roztoky SiO_2 ve vodě stabilizované hydroxidy alkalických kovů. Obsah SiO_2 v nich se pohybuje až do 50 %, nejčastěji však kolem 30 %, velikost částic SiO_2 se pohybuje od 5 do 20 nm. Při $\text{pH} = 9 - 9,5$ (oblast největší stability) a teplotách nad 0°C se vlastnosti hydrosolů zachovávají více než rok. Pro použití jako vazné kapaliny pro keramické formovací směsi se ředí vodou (destilovanou nebo deionizovanou) na potřebnou koncentraci SiO_2 .

Keramické obalovací směsi - břečky s hydrosolem SiO_2 mají oproti alkosolovým břečkám horší smáčivost povrchu voskových modelů, proto vyžadují přísadu smáčedel. Jako vhodná smáčedla doporučuje už i starší literatura [2,7] např. mýdlo nebo sulfonované alkoholy.

Některé literární prameny, shrnující výsledky ověřování hydrosolových pojiv pro výrobu keramických forem, např. [6], uvádějí, že pojivé vlastnosti hydrosolů jsou při normálních podmínkách nižší, než u pojiv na bázi hydrolyzovaného ETS 40. To se projeví v nižší pevnosti skořepin za syrova (2 až 2,3 MPa oproti 5 až 7 MPa u skořepin alkosolových). Avšak při teplotě 900°C jsou pevnosti obou druhů skořepin již srovnatelné a postačující pro získání jakostních odlitků. Přitom jakost povrchu ocelových odlitků ve formách s

hydrosolem je údajně vyšší.

V současné době existuje řada hydrosolových pojiv pro výrobu keramických skořepinových forem, které vyrábějí některé zahraniční firmy. Z prospektových materiálů [8], které jsem měl k dispozici, bych uvedl alespoň některé obchodní názvy, např. pojiva SYTON firmy Monsanto (USA), LUDOX firmy Du-Pont (USA), REMASOL firmy Remet Corporation (USA), FASCOTE BINDER apod. Tyto firmy nabízejí jak vlastní pojiva s možností další úpravy - ředění vodou na požadovanou koncentraci SiO_2 , tak i přísady zajišťující smáčení voskových modelů keramickou břečkou, ev. snižující nebezpečí vzniku plynových bublin v nanesených obalech.

V prospektech je uveden i obecný postup výroby keramických skořepin při použití těchto hydrosolových pojiv. Např. pro LUDOX se skládá z těchto úkonů:

1. výpočet potřebných množství jednotlivých materiálů - LUDOXu, vody, práškovitého ostřiva - a jejich vážení;
2. nalití vody a LUDOXu do nádoby a promíchání míchadlem;
3. pomalé přidávání práškovitého ostřiva za stálého míchání tak, aby docházelo k plynulému rozdělování ostřiva v kapalném pojivu;
4. míchání břečky až do odstranění vzduchových bublin a dosažení konstantní viskozity (to může trvat 24 až 48 hodin);
5. úprava břečky na požadovanou hodnotu viskozity přidáním ostřiva nebo naopak LUDOXu a vody;
6. v případě, že se při obalování voskového modelu v keramické břečce vyskytne případ horšího smáčení nebo zachycení vzduchových bublin, přidají se do břečky v

malém množství speciální kapalné přísady.

Charakteristiky některých z těchto hydrosolů jsou patrné z tab. č. 3.1. Pro srovnání jsou v ní uvedeny i odpovídající vlastnosti hydrosolu TOSIL, který vyrábí v České republice a.s. TONASO v Neštěmicích. Právě toto pojivo jsem měl za úkol ověřit pro výrobu keramických skořepinových forem.

Zajímavá je i možnost kombinace hydrosolového pojiva s etylsilikátem, popsána v [6]. Etylsilikát 40 se přidává v poměrně malém množství až do připravené keramické břečky s hydrosolovým pojivem, přičemž hydrolýza ETS 40 proběhne při dalším míchání. Autoři uvádějí, že použití tohoto způsobu umožnilo snížit spotřebu ETS 40 na polovinu při zachování pevnosti skořepinových forem.

3.2.3. Hydrosolové pojivo TOSIL a jeho charakteristika

Hydrosol SiO_2 pod názvem TOSIL, jehož výrobcem je a.s. TONASO Neštěmice u Ústí nad Labem, má mnohostranné použití a podle výrobce ho lze použít i pro metodu výroby keramických skořepinových forem. Podle prospektového materiálu [9] lze TOSIL charakterizovat takto:

Vlastnosti: TOSIL je slabě opalizující nebo mléčně zbarvený koloidní roztok částic SiO_2 ve vodě. V prostředí o pH 5 až 6 za přítomnosti většího množství ionizačních solí dochází ke gelaci.

Některé jakostní ukazatele jsou uvedeny v tab. č. 3.1, kde současně vyplývá i jejich srovnání s hydrosoly jiných výrobců.

Tab. č. 3.1 Jakostní ukazatele některých hydrosolů SiO_2 vhodných pro výrobu keramických forem

Ukazatel	Hydrosolové pojivo			
	SYTON [8]	PRIMCOTE BINDER [8]	LUDOX [8]	TOSIL [9]
=====	=====	=====	=====	=====
Obsah SiO_2 [%]	9,3-39,8	30	30	30
Stabilizátor	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH
Velikost částic [nm]	10-15	10	7-12	13-17
Měrný povrch [m^2/g]	150-230*	230*	240-360	140-180*
pH	9,2-9,6	9,75	9,8-10	8,5-9,5
Viskozita [MPa.s]		<10	4-5	5
Hustota [kg/m^3]	1052-1287	1180	1210-1220	1200

Pozn.: *..... hodnoty vypočtené

Z tabulky vyplývá, že většina ukazatelů pro TOSIL je shodná s ukazateli srovnávaných pojiv, pouze velikost částic SiO_2 je u TOSILu větší, z čehož plyne i menší (cca o 40-50%) měrný povrch. Dle požadavků zákazníka však lze jakostní ukazatele SiO_2 a velikosti částic upravit na požadované hodnoty.

Použití TOSILu je široké - přísady do tmelů, jako plniva, ochranné nástřiky, pro povrchové úpravy apod. Přes doporučení, že je TOSIL vhodný i jako pojivo při výrobě žáruvzdorných keramických materiálů, tedy i keramických forem, jsem nenalezl žádnou informaci o případných zkouškách tohoto pojiva ve slévárnách přesného lití u nás. Možná, že tato moje práce k tomu může vytvořit alespoň určité

přepoklady.

Uvedené základní poznatky z literárních podkladů i možnost seznámit se s praktickými postupy při výrobě keramických forem v provozu slévárny a.s. STROJTEX Dvůr Králové n. Labem byly pro mě výchozími podklady pro přípravu a provedení vlastních zkoušek s použitím pojiva TOSIL k výrobě keramických skořepinových forem. Jejich popis a dosažené výsledky jsou obsahem dalších kapitol této diplomové práce.

4. Hodnocení vlastností keramických skořepinových forem s hydrosolovým pojivem TOSIL

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. Hodnocení vlastností keramických skořepinových forem s hydrosolovým pojivem TOSIL

V této experimentální části práce jsou shrnuty a zpracovány výsledky pokusů spojených s přípravou vzorků i vlastních skořepinových forem a to jak pro hodnocení některých vybraných vlastností forem - pevnosti, teplotní dilatace, jakosti lícního povrchu formy -, tak pro odlévání zkušebních odlitků. Všechny potřebné keramické skořepiny jsem zhotovoval obalováním voskových modelů kašovitou keramickou formovací směsí v laboratorních podmínkách katedry strojírenské metalurgie TU v Liberci. Přitom jsem využil praktické zkušenosti a návyky, které jsem získal v rámci odborné předdiplomní praxe v provozu přesného lití a.s. STROJTEX Dvůr Králové nad Labem.

4.1. Charakteristika laboratorního pracoviště výroby keramických skořepinových forem a jednotlivých operací výroby

Pro pracoviště výroby keramických skořepinových forem je vyhrazena část prostoru haly laboratorní slévárny. Pracoviště je vybaveno vrtulovým míchadlem s možností změny počtu otáček pro míchání keramické formovací směsi - břečky, sypačem pro gravitační posyp nanesených obalů, stojanem pro zavěšování, ev. nasazování obalených stromečků. Dále jsou zde k dispozici váhy, elektrické stopky, elektricky ohřívaný nůž pro přilepování voskových modelů a různé potřebné nástroje a nádoby.

Jednotlivé operace výroby skořepin byly prováděny takto:

Výroba voskových modelů a natavování stromečků:

Většinu voskových modelů zkušebních i reálných tvarových odlitků jsem si připravil v rámci odborné praxe

v a.s. STROJTEX, pouze některé speciální modely, jako korýtka pro zkoušku pevnosti skořepin v ohybu, tyčinky pro vzorky skořepin pro měření teplotní dilatace, jsem zhotovil gravitačním litím roztavené voskové směsi do příslušných kovových forem. Sestavování modelových kompletů - stromečků - jsem prováděl přilepováním voskových modelů na vtokové kúly a kotouče speciální konstrukce KSM.

Příprava vazné kapaliny:

V průběhu svých experimentů jsem použil pro přípravu keramických skořepin celkem 7 různých vazných kapalin a to jak na bázi hydrosolů (což bylo mým hlavním úkolem), tak i na bázi alkosolů (pro porovnání). Podrobněji budou popsány v další části. Všechny vazné kapaliny jsem připravoval z jednotlivých složek, které jsem měl na katedře k dispozici, avšak v podstatně menším množství, než je tomu v provozech sléváren přesného lití.

Příprava obalové keramické směsi - břčky:

Keramické břčky byly připravovány z příslušné vazné kapaliny a mletého křemene SUK mícháním vrtulovým míchadlem v nádobě z plastu. Z hlediska maximální hospodárnosti bylo i množství břčky jednorázově připravené poměrně malé a v případě potřeby se před obalováním každého obalu doplňovalo. Viskozita břčky byla měřena dobou výtoku z Fordova pohárku s tryskou ϕ 6 mm (FP6).

Vzhledem k tomu, že míchadlo není uzpůsobeno pro nepřetržitý proces míchání, byla břčka po nanesení příslušného obalu ponechána v klidu a před obalováním dalšího obalu (ve většině případů po 24 hodinách) znovu rozmíchána.

Obalování a posypávání modelů:

Obalování voskových modelových kompletů - stromečků - bylo prováděno ručně ponořováním do nádoby s břeckou. Po odkapání přebytečné břecky byl vzniklý obal posypán proudem křemenného ostříva v gravitačním sypači.

Pro první obal bylo použito ostřívo o $d_{50} = 0,15$ mm, pro druhý a další obaly pak o $d_{50} = 0,80$ mm.

Sušení obalů a skořepin:

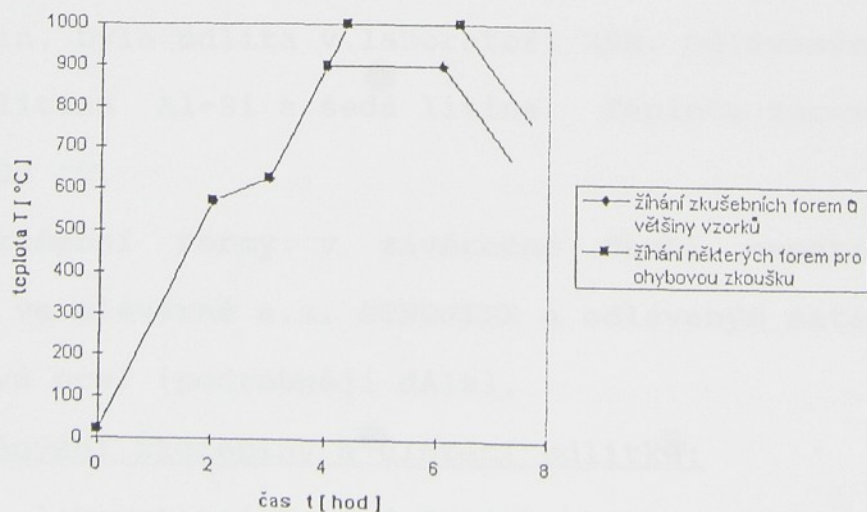
Sušení skořepin mezi nanášením jednotlivých obalů probíhalo na klidném vzduchu v atmosféře haly laboratorní slévárny při teplotách mezi 15 až 20 °C vždy po dobu 24 hodin.

Vytavování voskových modelů:

Bylo prováděno po jednotlivých formách ve vroucí vodě. Vosk, který se shromažďoval na hladině vody, byl průběžně odebírán.

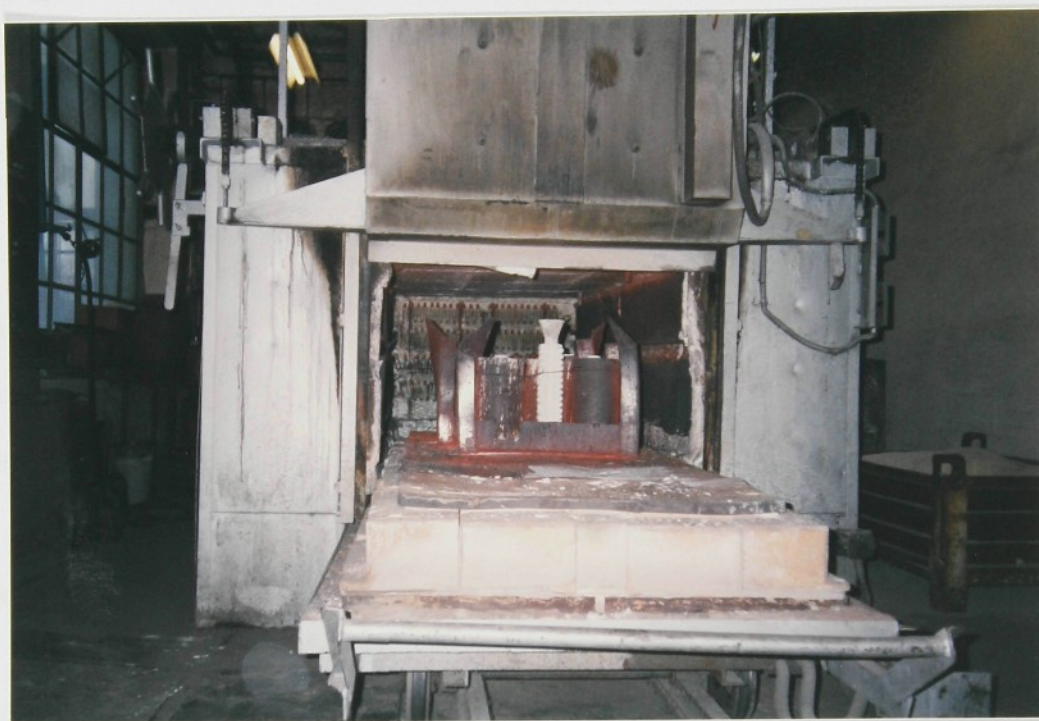
Žíhání skořepinových forem a vzorků:

Po vysušení skořepin po vytavení modelů byly vzorky skořepin a menší skořepinové formy žíhány v laboratorní komorové elektrické peci podle tohoto diagramu:



Zkušební formy v závěrečné části experimentů byly žíhány v provozu slévárny a.s. STROJTEX také na teplotu 900 °C.

Obr. č. 4.1 Žíhací pec v podniku a.s. STROJTEX



Odlévání keramických skořepinových forem:

Část zkušebních forem - menších - které sloužily k ověření některých navržených variant keramických skořepin, byla odlita v laboratoři KSM. Odlévanými materiály byly slitina Al-Si a šedá litina. Teplota forem před litím byla 700 °C.

Zkušební formy v závěrečné části experimentů byly odlity ve slévárně a.s. STROJTEX a odlévaným materiálem byla uhlíková ocel (podrobněji dále).

Odstraňování skořepiny a čištění odlitků:

V laboratorních podmínkách bylo prováděno ručně za

použití kladiva, drátěného kartáče a některých dalších pomůcek.

Čištění odlitků ve slévárně a.s. STROJTEX se uskutečnilo za pomoci vibračního stráscacího zařízení, povrch odlitků byl upraven otryskáváním v bubnu pneumatickým způsobem.

4.2. Složení a charakteristika použitých druhů vazné kapaliny

Mým hlavním úkolem bylo ověřit možnosti použití vazné kapaliny na bázi hydrosolového pojiva TOSIL pro výrobu keramických skořepin. Pro porovnání vlastností těchto skořepin jsem připravoval i skořepiny s vaznou kapalinou na bázi alkosolových pojiv, tj. na bázi hydrolyzovaného etylsilikátu 40 (ETS 40).

Postupně jsem po konzultaci s vedoucím práce připravil a ověřil při výrobě keramických skořepin celkem 7 druhů vazných kapalin, které jsem pro lepší přehlednost označil VK I až VK VII. Lze je stručně charakterizovat takto:

VK I až VK III - jsou vazné kapaliny na bázi hydrolyzovaného ETS 40 připravené podle receptů sléváren přesného lití a.s. STROJTEX - VK I a VK III a.s. FIMES - VK II.

VK IV až VK VI - jsou vazné kapaliny připravené na bázi hydrosolového pojiva TOSIL na KSM.

VK VII - vazná kapalina na bázi směsi pojiva TOSIL a ETS 40 připravená na KSM úpravou složení uvedeného v [6].

Podrobné složení, způsob přípravy a charakteristiky jednotlivých druhů vazných kapalin jsou patrné z tabulky č. 4.1 a názorně je podíl různých složek vazné kapaliny vidět v grafech na obr. č. 4.2.

Význam zkratk:

ETS 40 - etylsilikát 40

EA - atylalkohol (etanol) denaturovaný

TOSIL - hydrosolové pojivo

Podle uvedených receptů jsem připravoval pro jednotlivé experimenty vaznou kapalinu v množství 500 ml, resp. 1000 ml.

Tab. č. 4.1

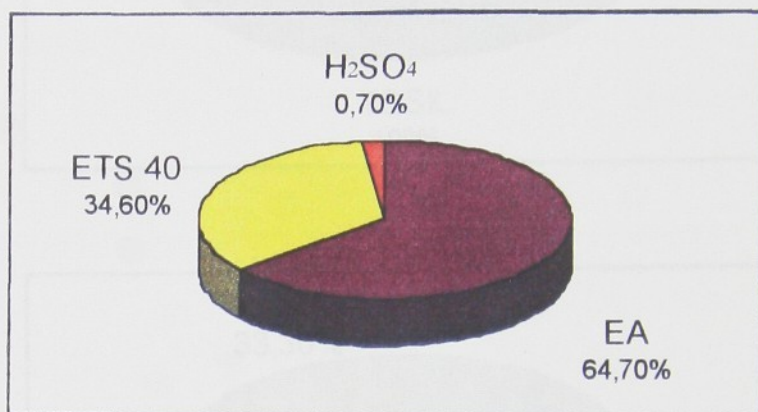
Druh vazné kapaliny	Složení (na 1000 ml vazné kapaliny) [ml]	Obsah SiO ₂ [%]	Způsob přípravy	Poznámka
VK I	<u>a</u> ... ETS 40 346 EA 647 H ₂ SO ₄ 7	13,8	do roztoku <u>a</u> se za stálého míchání vlévá ETS 40	receptura a.s.STROJTEX
VK II	<u>a</u> ... ETS 40 360 EA 580 <u>b</u> ... H ₂ O (dest) 56,5 Hcl 3,5	14,4	do roztoku <u>a</u> se za stálého míchání vlévá pomalu roztok <u>b</u>	receptura a.s.FIMES
VK III	<u>a</u> ... ETS 40 328 EA 610 <u>b</u> ... H ₂ O (dest) 55 H ₂ SO ₄ 7	13,1	do roztoku <u>a</u> se za stálého míchání vlévá pomalu roztok <u>b</u>	základní receptura a.s.STROJTEX, úprava KSM : přidání H ₂ O při hydrolyze
VK IV	TOSIL 1000	30,0	dodaný TOSIL se použije neředěný	receptura KSM TU
VK V	TOSIL 667 H ₂ O 333	20,0	TOSIL se za stálého míchání ředí vodou	receptura KSM TU
VK VI	TOSIL 500 H ₂ O (dest) 500	15,0	TOSIL se za stálého míchání ředí vodou	receptura KSM TU
VK VII	<u>a</u> ... ETS 40 80 TOSIL 120 H ₂ O (dest) 797 Hcl 3	6,8	smícháním 3 složek se připraví roztok <u>a</u> jako základní pro přípravu břečky, ETS 40 se přidává po rozmíchání křemenné moučky	receptura KSM TU, úprava receptury uvedené v [6]

Podíl jednotlivých složek ve vazné kapalině

1. Vazná kapalina I:

dle předpisu a.s. STROJTEX DK

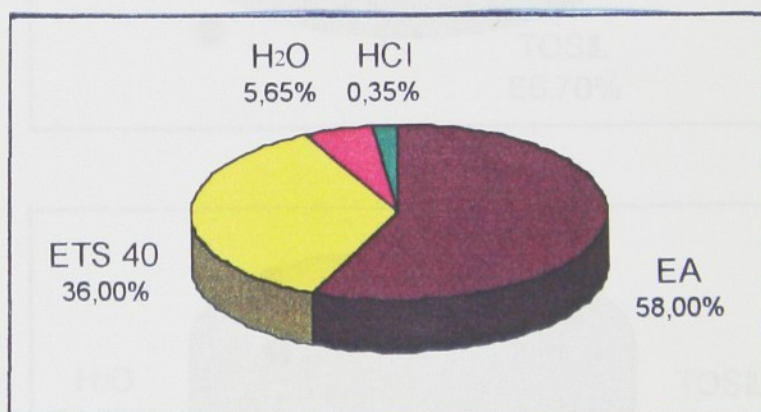
Obsah SiO_2 : 13,8 %



2. Vazná kapalina II:

dle předpisu a.s. FIMES UH

Obsah SiO_2 : 14,4 %

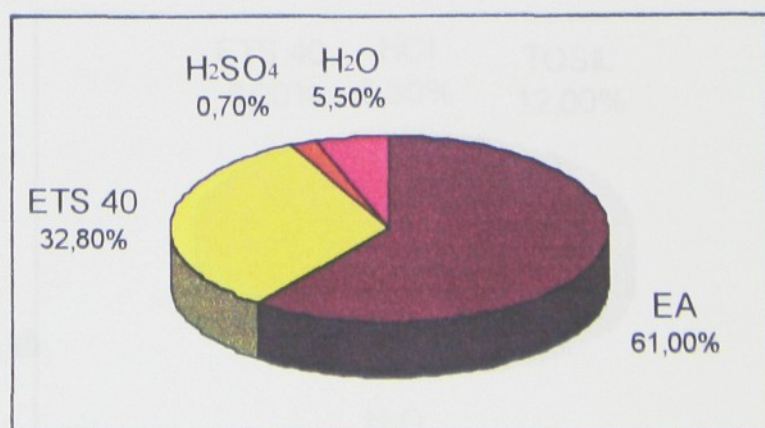


3. Vazná kapalina III:

dle předpisu a.s. STROJTEX DK

s úpravou dle KSM

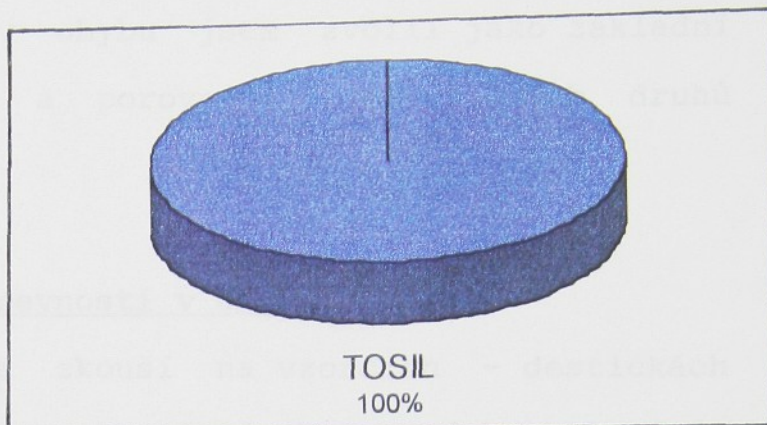
Obsah SiO_2 : 13,1 %



4. Vazná kapalina IV:

dle předpisu KSM

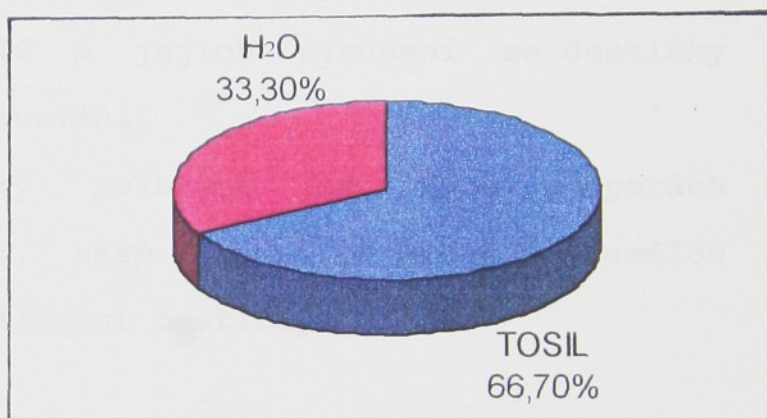
Obsah SiO_2 : 30,0 %



5. Vazná kapalina V:

dle předpisu KSM

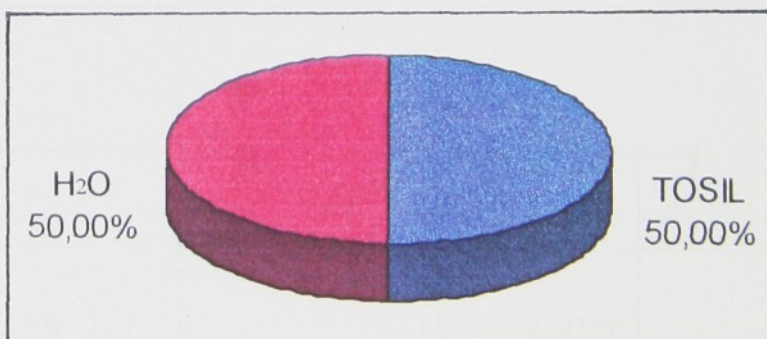
Obsah SiO_2 : 20,0 %



6. Vazná kapalina VI:

dle předpisu KSM

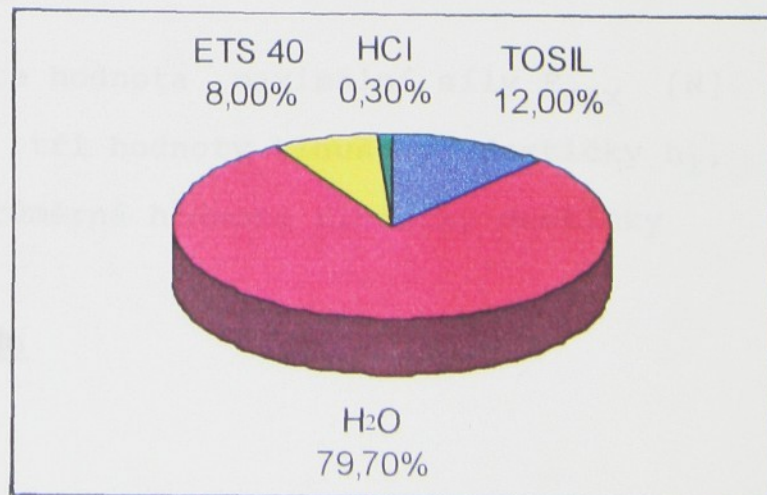
Obsah SiO_2 : 15,0 %



7. Vazná kapalina VII:

dle předpisu KSM

Obsah SiO_2 : 6,8 %



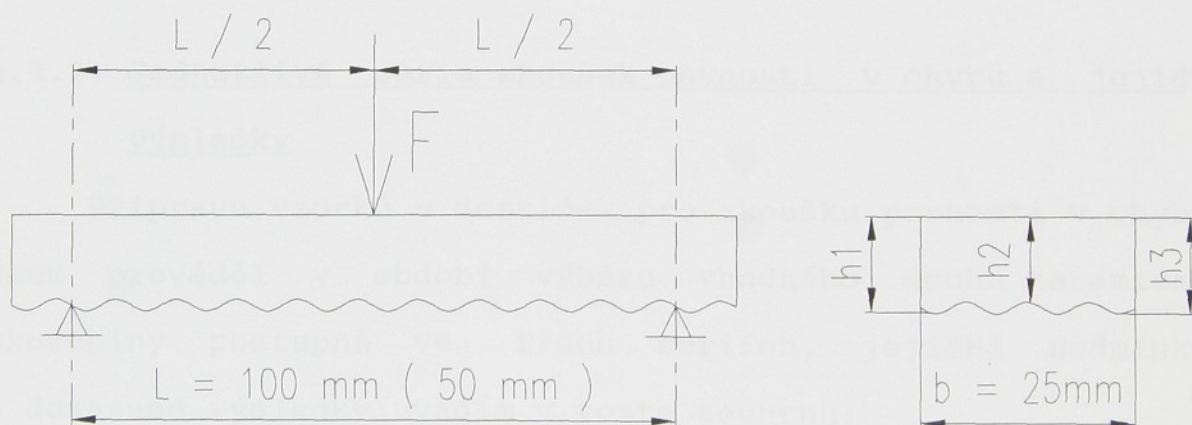
4.3. Hodnocení pevnosti keramických skořepin v ohybu

Zkoušku pevnosti v ohybu jsem zvolil jako základní zkoušku pro hodnocení a porovnání jednotlivých druhů skořepin.

4.3.1. Podstata zkoušky pevnosti v ohybu

Pevnost v ohybu se zkouší na vzorcích - destičkách o rozměrech 120 x 25 x h [mm] zhotovených obalováním voskového modelu - oboustranného korýtko. Po vytvoření požadovaného počtu obalů a jejich vysušení se destičky vyjmou z korýtek bez vytavování.

Zatěžování destičky položené na dvou podporách o vzdálenosti $L = 100 \text{ mm}$, resp. 50 mm , se provádí osamělou silou uprostřed až do rozlomení destičky.



Po zlomení se odečte hodnota maximální síly $F_{\max}$ [N] a v místě lomu se změří tři hodnoty tloušťky destičky h_1 , h_2 , h_3 . Z nich se určí průměrná hodnota tloušťky destičky

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

Pevnost skořepiny v ohybu R_{mo} se určí podle upravených vzorců

$$R_{mo} = 54 \frac{F_m}{(h_1 + h_2 + h_3)^2} \quad [\text{MPa}] \quad \begin{array}{l} \text{pro } L = 100 \text{ mm} \\ b = 25 \text{ mm} \end{array}$$

$$R_{mo} = 27 \frac{F_m}{(h_1 + h_2 + h_3)^2} \quad [\text{MPa}] \quad \begin{array}{l} \text{pro } L = 50 \text{ mm} \\ b = 25 \text{ mm} \end{array}$$

Vlastní zkoušky jsem prováděl na laboratorním pákovém přístroji konstrukce KSM. Polovinu vyrobených destiček jsem zkoušel v syrovém stavu, druhou polovinu jsem zkoušel po vyžihání na $T = 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$ podle uvedeného režimu. K výpočtu hodnot R_{mo} jsem použil programu na programovatelném kapesním kalkulátoru CASIO.

4.3.2. Jednotlivé serie zkoušek pevnosti v ohybu a jejich výsledky

Přípravu vzorků - destiček pro zkoušku pevnosti v ohybu jsem prováděl v období výběru vhodného druhu keramické skořepiny postupně ve třech seriích, jejichž podmínky a dosažené výsledky uvádím v tomto souhrnu:

Serie č. 1:

Druh skořepiny - vazná kapalina	Hustota břčky FP6 [s]	Počet obalů	Posyp	Pozn.
VK I STROJTEX	25	5	1.obal 0,15 mm	TOSIL použit z dodávky z června 1993
VK II FIMES	25	5	2.-5. obal	
VK VI TOSIL 1:1 + SMÁČEDLO	25	5	0,4-0,6 mm	

Pevnost v ohybu - vyhodnocení:

a) Tabelární:

ZA SYROVA

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK I STROJTEX	3,23	3,97
VK II FIMES	4,62	5,08
VK VI TOSIL 1:1	1,74	1,87

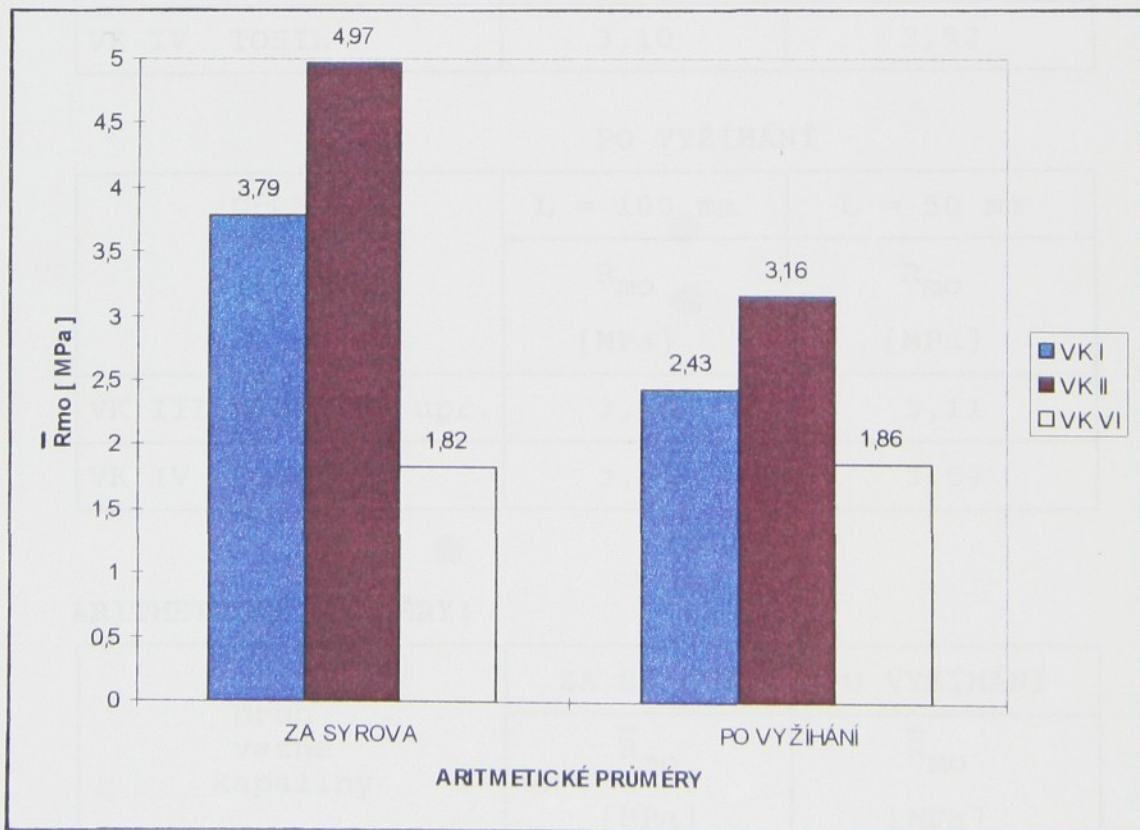
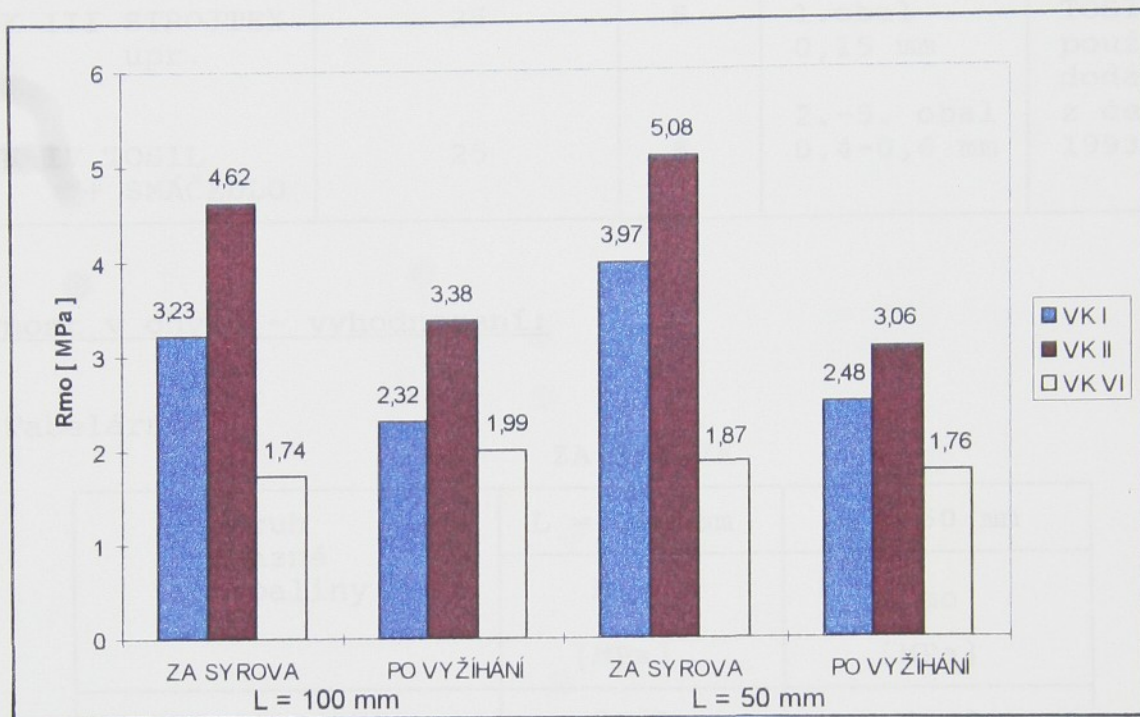
PO VYŽÍHÁNÍ

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK I STROJTEX	2,32	2,48
VK II FIMES	3,38	3,06
VK VI TOSIL 1:1	1,99	1,76

ARITMETICKÉ PRŮMĚRY:

Druh vazné kapaliny	ZA SYROVA	PO VYŽÍHÁNÍ
	$\bar{R}_{mo}$ [MPa]	$\bar{R}_{mo}$ [MPa]
VK I STROJTEX	3,79	2,43
VK II FIMES	4,97	3,16
VK VI TOSIL 1:1	1,82	1,86

b) Grafické:



Serie č. 2:

Druh skořepiny - vazná kapalina	Hustota břechky FP6 [s]	Počet obalů	Posyp	Pozn.
VK III STROJTEX upr.	25	5	1.obal 0,15 mm	TOSIL použit z dodávky z června 1993
VK IV TOSIL + SMÁČEDLO	25	5	2.-5. obal 0,4-0,6 mm	

Pevnost v ohybu - vyhodnocení:

a) Tabelární:

ZA SYROVA

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK III STROJTEX upr.	5,22	4,80
VK IV TOSIL	3,10	2,92

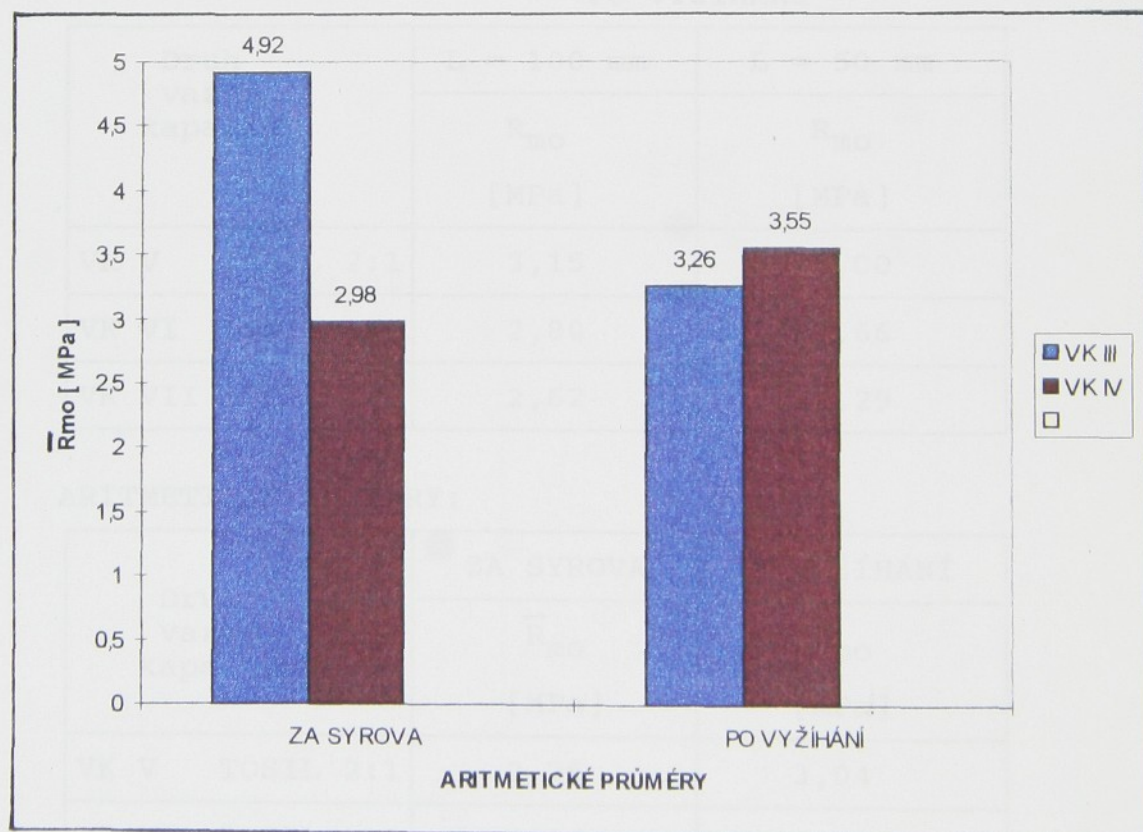
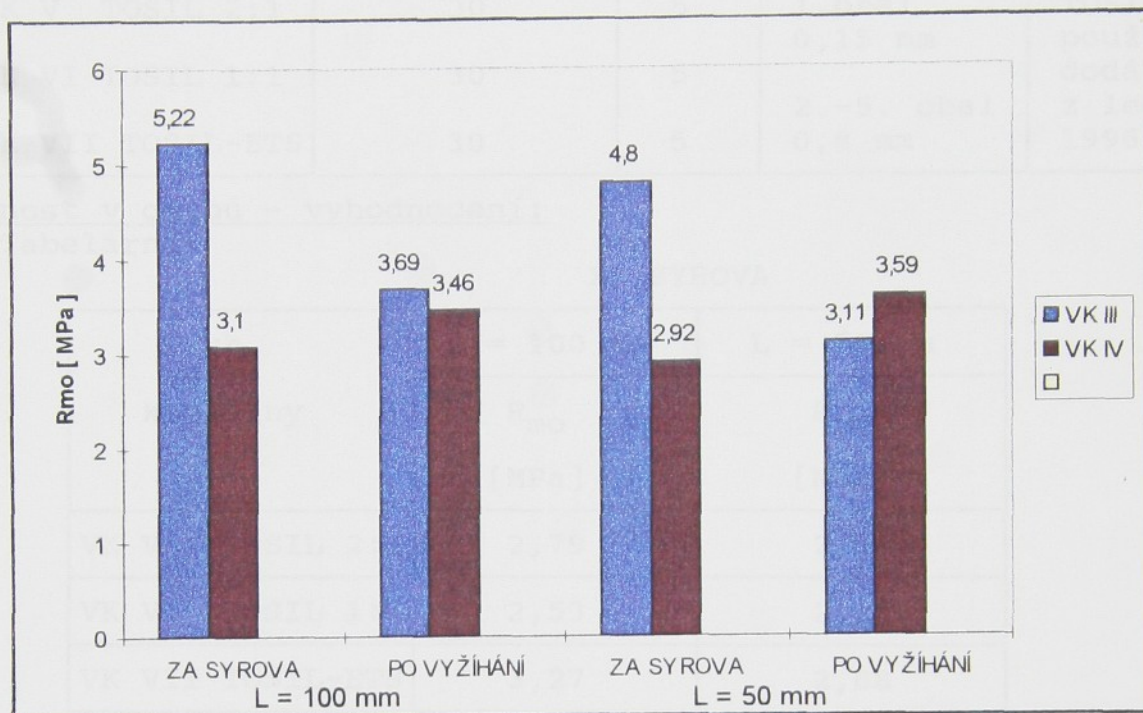
PO VYŽÍHÁNÍ

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK III STROJTEX upr.	3,69	3,11
VK IV TOSIL	3,46	3,59

ARITMETICKÉ PRŮMĚRY:

Druh vazné kapaliny	ZA SYROVA	PO VYŽÍHÁNÍ
	$\bar{R}_{mo}$ [MPa]	$\bar{R}_{mo}$ [MPa]
VK III STROJTEX upr.	4,92	3,26
VK IV TOSIL	2,98	3,55

b) Grafické:



Serie č. 3:

Druh skořepiny - vazná kapalina	Hustota břečky FP6 [s]	Počet obalů	Posyp	Pozn.
VK V TOSIL 2:1	30	5	1.obal 0,15 mm	TOSIL použit z dodávky z ledna 1996
VK VI TOSIL 1:1	30	5	2.-5. obal	
VK VII TOSIL-ETS	30	5	0,8 mm	

Pevnost v ohybu - vyhodnocení:

a) Tabelární:

ZA SYROVA

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK V TOSIL 2:1	2,79	2,74
VK VI TOSIL 1:1	2,53	2,29
VK VII TOSIL-ETS	3,27	2,88

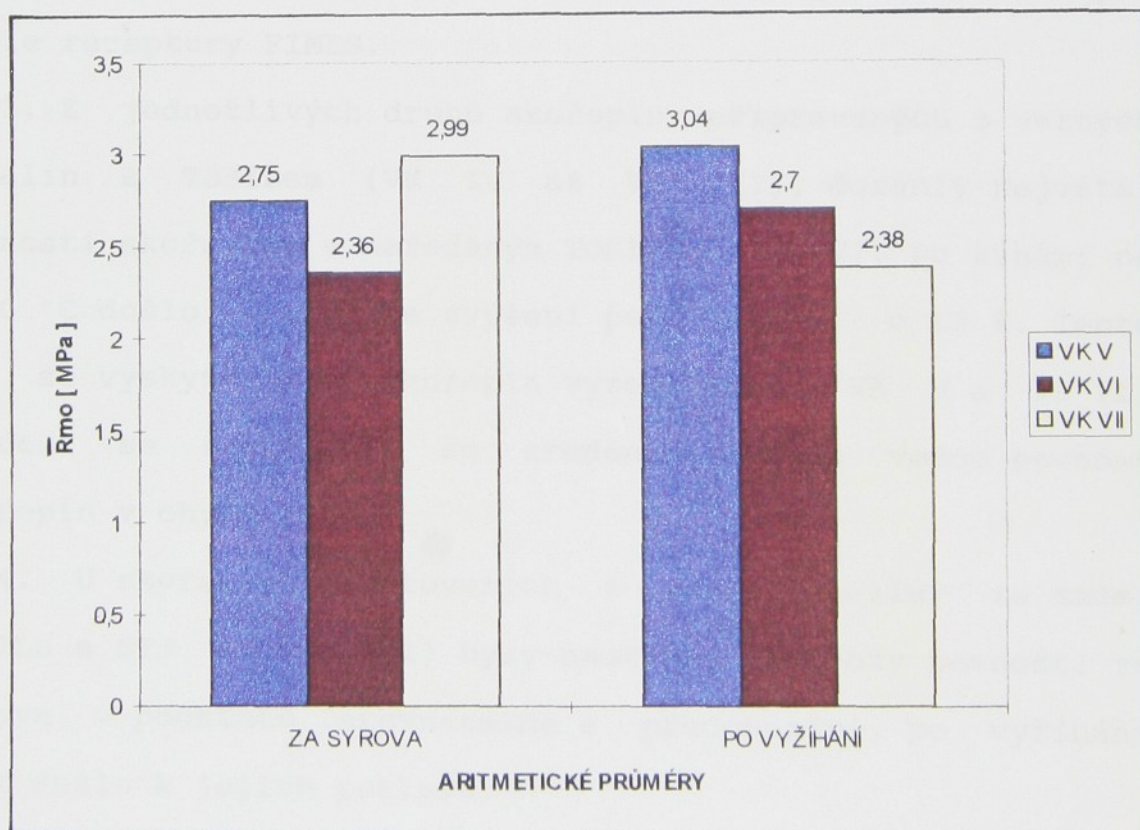
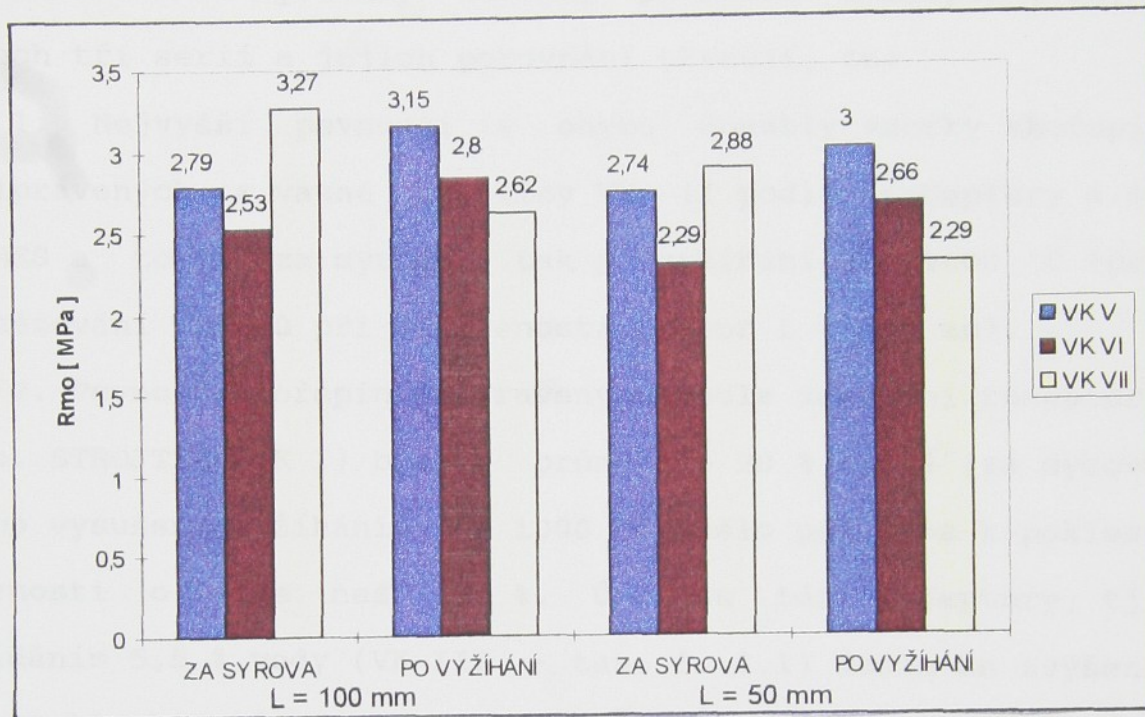
PO VYŽÍHÁNÍ

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK V TOSIL 2:1	3,15	3,00
VK VI TOSIL 1:1	2,80	2,66
VK VII TOSIL-ETS	2,62	2,29

ARITMETICKÉ PRŮMĚRY:

Druh vazné kapaliny	ZA SYROVA	PO VYŽÍHÁNÍ
	$\bar{R}_{mo}$ [MPa]	$\bar{R}_{mo}$ [MPa]
VK V TOSIL 2:1	2,75	3,04
VK VI TOSIL 1:1	2,36	2,70
VK VII TOSIL-ETS	2,99	2,38

b) Grafické:



4.3.3. Diskuse výsledků zkoušek pevnosti v ohybu a dílčí závěry

Souhrnné výsledky zkoušky pevnosti skořepin v ohybu všech tří serií a jejich porovnání ukazují, že:

1. Nejvyšší pevnosti v ohybu dosáhly vzorky skořepin připravených z vazné kapaliny VK II podle receptury a.s. FIMES a to jak za syrova, tak po vyžihání na 1000 °C (při zatěžování vzorků při vzdálenosti podpor $L = 100 \text{ mm}$).

2. Pevnost skořepin připravených podle základní receptury a.s. STROJTEX (VK I) byla v průměru o 20 % nižší (za syrova i po vysušení). Žiháním na 1000 °C došlo při tom k poklesu pevnosti o více než 30 %. Úpravou této receptury, tj. přidáním 5,5 % vody (VK III - tab. č. 4.1) došlo ke zvýšení pevnosti skořepin na hodnoty srovnatelné s pevností skořepin podle receptury FIMES.

3. Z jednotlivých druhů skořepin připravených z vazných kapalin s TOSILEm (VK IV až VK VII), dosáhly největší pevnosti skořepiny s neřaděným TOSILEm (VK IV). Po žihání na 1000 °C došlo u nich ke zvýšení pevnosti asi o 19 %. Tento jev se vyskytl i u skořepin vyrobených z VK V a VK VI, přičemž se zvyšujícím se zředěním TOSILu vodou pevnost skořepin v ohybu klesá.

4. U skořepin, zhotovených z vazné kapaliny ze směsi TOSILu a ETS 40 (VK VII) byly naměřeny hodnoty pevnosti za syrova v podstatě srovnatelné s předchozími, po vyžihání však došlo k jejich poklesu.

Na základě těchto výsledků zkoušky v ohybu jsem dospěl k závěru, že skořepiny vyrobené z vazné kapaliny s pojivem TOSIL vykazují poměrně dobrou pevnost a lze tedy z nich

zhotovit skořepinové formy pro odlévání.

Při dalším ověřování jsem se zaměřil už na přípravu skořepin z vazných kapalin VK V, VK VI a VK VII.

4.4. Hodnocení teplotních dilatací keramických skořepin

4.4.1. Charakteristika měření teplotních dilatací skořepin

Keramické skořepinové formy se při odlévání taveniny ohřívají velmi rychle na vysoké teploty podle druhu odlévaného materiálu. Při tom dochází u nich k rozměrovým změnám, které mají vliv jak na rozměrovou přesnost odlitků, tak na chování skořepin při lití (např. možnost popraskání skořepiny apod.).

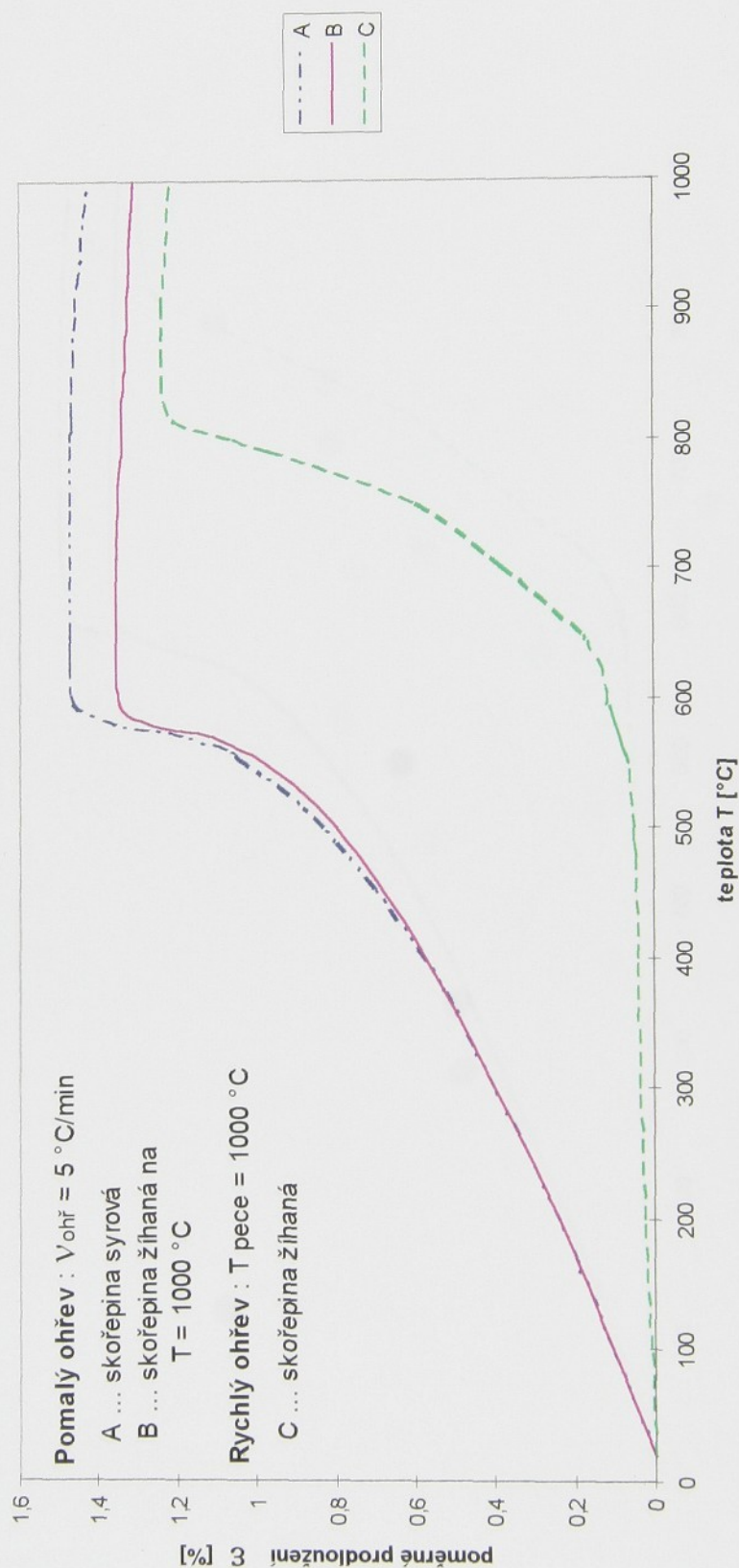
Z těchto důvodů je užitečné znát průběh teplotních dilatací konkrétních keramických skořepin. Využil jsem proto možnosti, že na katedře strojírenské metalurgie (KSM) se provádějí měření dilatačních vlastností materiálů na křemenném laboratorním dilatometru a připravil jsem proto vzorky skořepin z VK V až VK VII pro toto měření.

Vzorky jsem připravoval podle metodiky vyvinuté k těmto účelům na katedře [5] obalováním modelu - ocelového drátu ϕ 2 mm s nanesenou vrstvou vosku - spolu s obalováním ostatních modelů. Po obalení 5 obalů a vysušení jsem získal tyčinky o průměru 8 - 9 mm, které jsem po vytavení modelu upravil na délku 50 mm. Takto byly vzorky připraveny pro měření.

Vlastní měření teplotních dilatací provedl vedoucí práce, získané dilatogramy pro uvedené tři druhy skořepin jsem zpracoval do grafů.

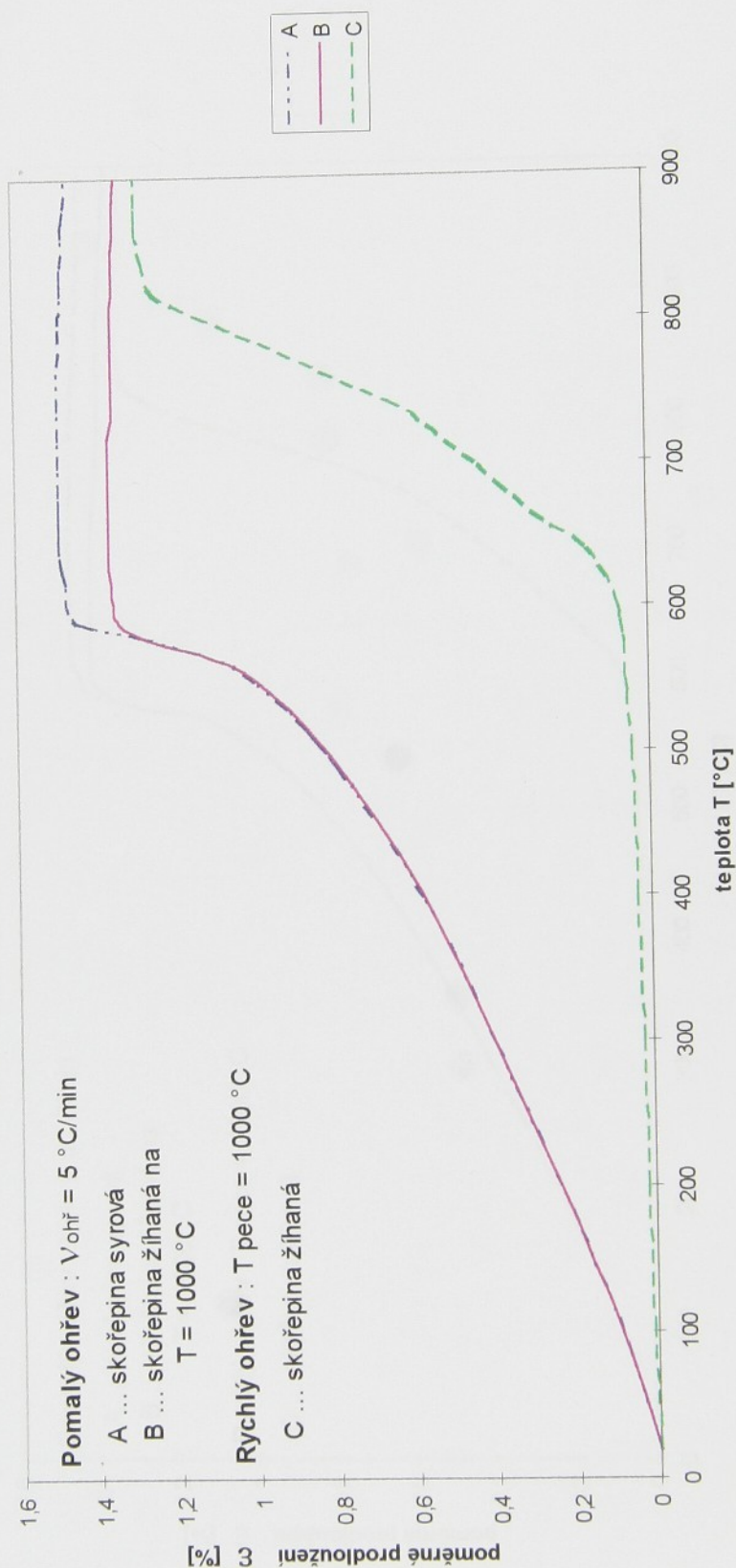
DILATOGRAM KERAMICKÉ SKOŘEPINY

Keramická skořepina : VK V (TOSIL : voda = 2:1)



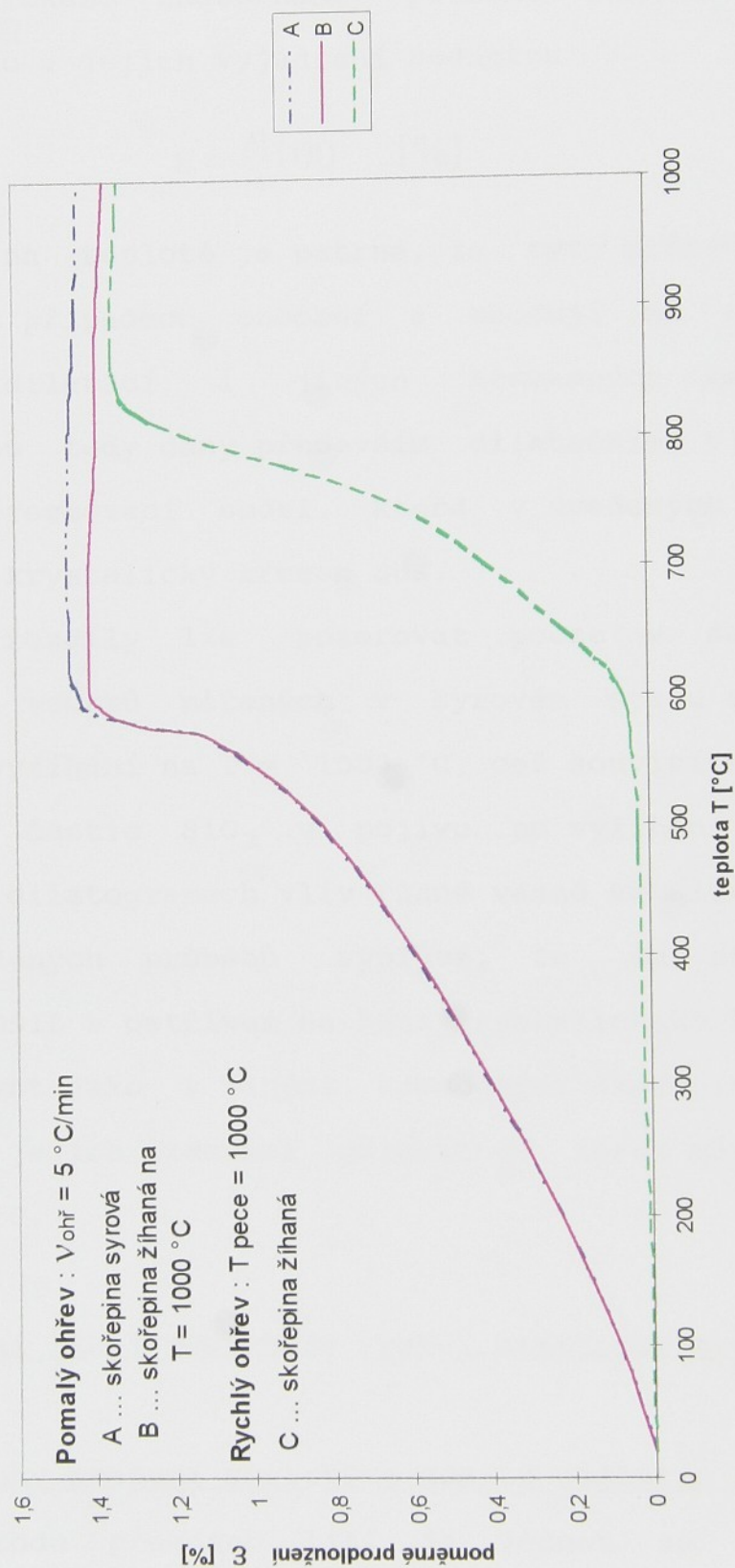
DILATOGRAM KERAMICKÉ SKOŘEPINY

Keramická skořepina : VK VI (TOSIL : voda = 1:1)



DILATOGRAM KERAMICKÉ SKOŘEPINY

Keramická skořepina : VK VII (TOSIL + voda + ETS 40)



4.4.2. Diskuse výsledků měření teplotních dilatací

Z grafického znázornění průběhu rozměrových změn - délky vzorku a jejich vyjádření hodnotou

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100 \quad [\%]$$

v závislosti na teplotě je patrné, že tyto průběhy jsou ve všech třech případech obdobné a shodují se s průběhem teplotních dilatací i jiných křemenných keramických skořepin. Jsou tedy dány především dilatačními vlastnostmi ostřiva ve formovací směsi, které v uvedených případech tvořil mletý krystalický křemen SUK.

Určité rozdíly lze pozorovat pouze v maximálních hodnotách u vzorků měřených v syrovém stavu a u vzorků měřených po vyžíhání na $T = 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$, což souvisí se změnami v uspořádání částic SiO_2 v pojivu po vyžíhání skořepin. Jinak není v dilatogramech vliv různé vazné kapaliny patrný.

Z uvedených průběhů vyplývá, že se skořepinami s pojivem TOSIL a ostřivem na bázi krystalického křemene je nutno pracovat jako s jinými křemennými skořepinami, tj. k zabránění jejich praskání odlévat do forem předehřátých min. na $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.5. Hodnocení lícní povrchové vrstvy keramické skořepiny

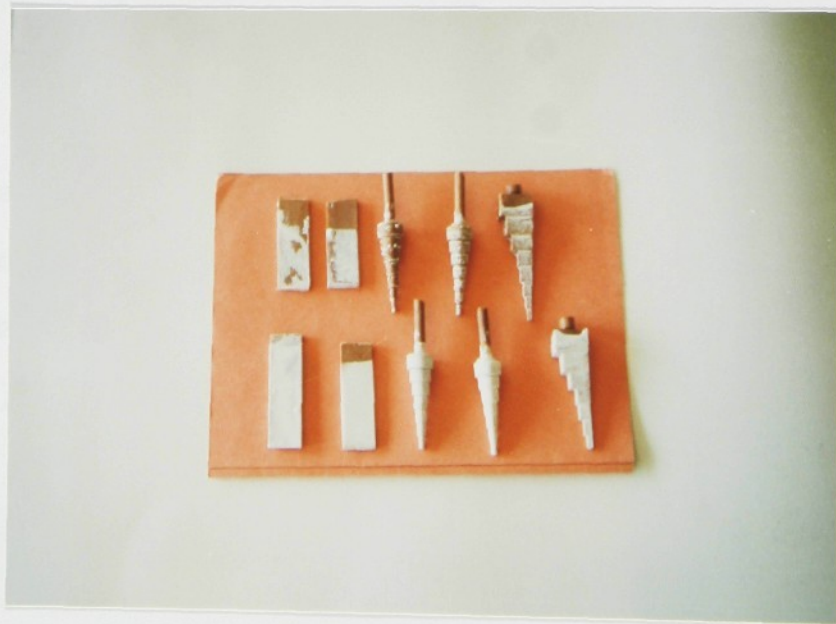
4.5.1. Podmínky smáčení voskových modelů obalovou břečkou

Pro metodu přesného lití je jednou ze základních podmínek výroby jakostních odlitků vysoce kvalitní povrchová lícní vrstva keramické skořepiny, která co nejlépe kopíruje reliéf voskového modelu. Takováto vrstva vznikne za

podmínek dobrého smáčení voskového modelu keramickou, obalovou břechkou.

Je známo, že smáčení voskových modelů keramickou břechkou na bázi hydrolyzovaného ETS 40 je velmi dobré a proto není třeba přidávat do ní nějaké zvláštní přísady. Při použití hydrosolových pojiv však břecha smáčí povrch voskového modelu velmi špatně a bez speciálních přísad nelze vytvořit souvislou první vrstvu skořepiny. Tuto skutečnost dokumentuje obr. č. 4.3, na kterém jsou v horní řadě voskové modely s nesouvislou vrstvou skořepiny (obalová břecha bez přísad), ve spodní řadě pak modely se souvislou první obalovou vrstvou na povrchu modelu (obalová břecha s přísadou povrchově aktivní látky - PAL).

Obr. č. 4.3



Proto bylo mým úkolem také najít vhodné složení přísady do břechky, která by umožnila vytvoření kvalitní skořepiny. Vycházel jsem z údajů a příkladů takových přísad, uvedených v kap. 3. této práce a provedl jsem speciální zkoušky, zaměřené na tuto oblast.

4.5.2. Princip a podmínky zkoušky

Princip zkoušky spočívá v máčení, ev. polévání povrchu jednoduchých voskových modelů (obr. č. 4.3) keramickou břechkou.

Pro zkoušky jsem zvolil pouze vazné kapaliny s TOSILEm - VK IV, VK V, VK VI - a to jednak bez přísady, jednak s přísadou - smáčedlem. Břechky byly připraveny s ostřivem SUK na shodnou viskozitu 25 s (FP6).

Skořepiny byly vyráběny na voskových modelech - destičkách, přičemž byly nanесeny pouze 2 obaly. Tyto modely byly zhotoveny ze dvou různých voskových směsí - tvrdší ze slévárny FIMES (F), měkčí ze slévárny STROJTEX (S).

Současně byl zkoušen i vliv očištění povrchu modelů před obalováním namáčením v etylalkoholu (EA).

Posuzování a vyhodnocování vrstev, především líce skořepiny, bylo prováděno jednak vizuálně pouhým okem a jednak mikroskopicky pomocí stereomikroskopu při 40 násobném zvětšení. Všechny výsledky jsem zpracoval tabelárně (tab. č. 4.2).

Tab. č. 4.2

a) povrch modelů bez úprav

Vazná kapalina č.	Vosk	Smáčivost	Přilnavost	Stav povrchové vrstvy (dutinky, pronikání zrn posypového materiálu na povrch)
VK IV	F	špatná	malá	nesouvislá
	S	velmi malá	větší	nesouvislá, prostoupeno dutinkami i posypovým materiálem
VK IV + SMÁČEDLO	F	dobrá	malá	velice kompaktní, vyjimečně povrchová zrna
	S	velice dobrá	malá	kompaktní povrch, místně drobné dutinky i průstup zrn
VK V	F	špatná	nevelká	nesouvislá (vrstva stahuje), povrch bublinatý, průstup zrn
	S	velmi malá	nevelká	nesouvislá, velká porovitost
VK V + SMÁČEDLO	F	střední	malá	souvislá, málo povrchových dutinek
	S	dobrá	malá	souvislá, málo povrchových dutinek, místní průstup zrn
VK VI	F	velmi malá	malá	nesouvislá vrstva
	S	střední	malá	nesouvislá vrstva
VK VI + SMÁČEDLO	F	dobrá	minimální	souvislá, kompaktní, minimální průstup zrn
	S	dobrá	malá	souvislá, málo povrchových dutinek, zřetelný průstup zrn

4.5.3. Diskuse výsledků

Z celkového pohledu lze konstatovat, že skořepiny vykazovaly z hlediska lící povrchové vrstvy v podstatě stejné tendence, ať už byly vyrobeny z VK IV, VK V nebo VK VI.

Pokud jde o vliv jednotlivých faktorů, pak ze zkoušek vyplývá následující:

1. Úprava povrchu modelů (máčením v EA) před obalováním $\Rightarrow$ výsledek byl negativní, nedoporučuji pro další použití.

2. Druh vosku $\Rightarrow$ byl zjištěn minimální vliv (pouze při použití tvrdšího vosku a zároveň při očištění EA vznikly problémy s velkou přilnavostí skořepiny k povrchu modelu).

3. Použití smáčedla $\Rightarrow$ ukázalo se, že rozhodující měrou ovlivňuje smáčivost. Lze konstatovat, že VK na bázi TOSILu nelze bez přídavku smáčedla použít pro výrobu keramických skořepin.

4. Zvolená viskozita břečky (25 s, FP6) $\Rightarrow$ téměř u všech vzorků byl pozorován prostup zrn posypového materiálu do povrchové vrstvy, proto doporučuji viskozitu mírně zvýšit (30 s, FP6).

4.6. Dílčí závěry z výsledků provedených hodnocení keramických skořepin

Provedené dílčí zkoušky vybraných vlastností keramických skořepin, připravených z vazných kapalin VK I až VK VII, a jejich výsledky ukazují, že skořepiny na bázi hydrosolového pojiva TOSIL je možno vytvořit pomocí příslušného voskového modelu a že jejich vlastnosti jsou

srovnatelné s vlastnostmi skořepin s pojivy na bázi alkosolů. Konkrétně to znamená:

1. Pevnost skořepin v ohybu je u skořepin s TOSILEm sice o něco nižší, než u skořepin s hydrolyzovaným ETS 40, avšak hodnoty $R_{mo} > 2$ MPa dávají předpoklad pro výrobu tvarových skořepinových forem, schopných odolat namáhání při odlévání tavenin.

2. Dilatační vlastnosti skořepin s TOSILEm mají prakticky stejný průběh jako skořepiny s alkosolovým pojivem, neboť rozhodujícím faktorem je zde použití mletého krystalického křemene SUK do břečky a zrnitého krystalického křemene na posyp obalů.

3. Z hlediska zajištění jakostní skořepiny, zejména její lícni povrchové vrstvy, je nezbytné přidávat do břečky s hydrosolovým pojivem TOSIL přísadu smáčedla.

Na základě těchto dílčích poznatků jsem přistoupil k ověřování keramických skořepinových forem na bázi pojiva TOSIL při výrobě zkušebních odlitků. Tyto formy jsem připravoval už jen z vazných kapalin s TOSILEm - tj. VK V, VK VI a VK VII.

Výsledky těchto ověřovacích zkoušek jsou obsaženy v další kapitole.

5. Ověřování zkušebních keramických skořepinových forem na bázi pojiva TOSIL při výrobě odlitek

V této praktické části diplomové práce jsem provedl celkem 3 serie ověřovacích zkoušek, zaměřených na chování skořepin (vyrobených z VK na bázi TOSILu) v kontextu s odléváním kovem.

První dvě serie byly odlity v laboratoři KSM. Jednalo se o velmi malé ověřovací serie, kdy jednotlivé voskové modely byly v břečce obalovány samostatně (tj. nebyl společný vtokový kůl - obr. č. 5.1).

Obr. č. 5.1.



V třetí ověřovací serii už byly sestavovány modelové komplety - stromečky (voskové modely byly přilepovány na vtokové kůly a kotouče speciální konstrukce KSM). Tato finální serie byla z části odlita na KSM a z části v a.s. STROJTEX Dvůr Králové n. Labem.

5.1. Jednotlivé serie ověřovacích zkoušek a jejich výsledky

Serie č. 1:

Pro tuto serii jsem zvolil (na základě výsledků kap. 4) skořepiny, vyrobené z VK IV, VK V a VK VI - všechny s přídavkem smáčedla. Skořepiny byly žíhány na 1000 °C. Jako odlévaný materiál byly zvoleny slitina Al-Si a šedá litina.

Zhodnocení zkoušky:

Při použití skořepin z VK IV, VK V i VK VI vykazovaly všechny získané odlitky povrchové vady, tzv. kuličky (tekutý kov vyplnil bubliny, které vznikly hlavně v ostrých zlomech skořepin - obr. č. 5.2).

Obr. č. 5.2 Odlitky ze skořepin z VK IV (nahore)

VK V (uprostřed)

VK VI (dole).



Opticky nejhorší výsledky vykazala skořepina z VK IV, kde se povrchové vady na odlitcích vyskytovaly relativně nejčastěji.

Předpoklad, že důvodem výskytu těchto povrchových vad (kuliček) byla vysoká pěnivost všech břeček, kterou vyvolalo použití smáčedla, potvrdily následné laboratorní pokusy. Bylo ověřeno, že TOSIL nelze nejen použít bez smáčedla, ale ani bez zhášedla pěny a dalších přísad. Výsledkem těchto pokusů bylo vytvoření přísady povrchově aktivních látek (pracovní název PAL).

Serie č. 2:

V této zkušební serii jsem pracoval se skořepinami vytvořenými z VK V, VK VI a VK VII, stejným postupem jako v serii č. 1, avšak ve všech případech byla do břečky přidána kapalná přísada - PAL. Skořepiny byly žíhány na 1000 °C. Jako odlévaný materiál byla zvolena šedá litina. Zároveň v této serii byly měřeny hmotnostní poměry, a to jak skořepin (tab. č. 5.1), tak i odlitků (tab. č. 5.2). Na základě těchto hodnot byly získány orientační hodnoty hmotnostních poměrů skořepina/kov (tab. č. 5.3, navíc uvedeny údaje získané v a.s. STROJTEX) - podrobněji viz kap. 6.

Tab. č. 5.1

HMOTNOSTI SKOŘEPIN [g]		Tvarové skořepiny				
		O B J Í M K A	V I D L I C E	P A N T	V Á L E C	H R A N O L
VK V TOSIL 2:1	ZA SYROVA	121,5	81	73	45,5	62,5
		Σ 383,5				
	PO VYŽÍHÁNÍ	113	75	67	42,5	57,5
		Σ 355 (92,57 %)				
VK VI TOSIL 1:1	ZA SYROVA	130	72,5	68	39	56,5
		Σ 366				
	PO VYŽÍHÁNÍ	120,5	67	62,5	36,5	51,5
		Σ 338 (92,35 %)				
VK VII TOSIL-ETS	ZA SYROVA	101	60,5	63	36,5	49
		Σ 310				
	PO VYŽÍHÁNÍ	93,5	56	58	34	45
		Σ 286,5 (92,42 %)				

Tab. č. 5.2

HMOTNOSTI ODLITKŮ [g]	O B J Í M K A	V I D L I C E	P A N T	V Á L E C	H R A N O L	S U M A Σ
VK V TOSIL 2:1	374	97,5	109	77,5	127,5	685,5
VK VI TOSIL 1:1	275,5	103,5	110,5	68	115,5	673
VK VII TOSIL - ETS	239,5	103,5	100	76,5	114,5	634

Tab. č. 5.3

Průměrné hmotnostní poměry skořepina/kov. [g]

(počítáno na 5 různých modelů)

VK I	STROJTEX	KOVONA = 1 : 2,03 GRIES = 1 : 0,85 KONCOVKA = 1 : 1,55 LOŽISKO = 1 : 2,61 KONZOLA = 1 : 1,67 ar.průměr ϕ 1 : 1,74
VK V	TOSIL 2:1	355/685,5 = 1 : 1,93
VK VI	TOSIL 1:1	338/673 = 1 : 1,99
VK VII	TOSIL - ETS	286,5/634 = 1 : 2,21

Zhodnocení zkoušky:

V podstatě všechny odlitky (bez rozdílu použité VK) vykazovaly velmi dobrou jakost. U žádného odlitku nebyla objevena povrchová vada (kulička), odlitky velmi dobře kopírovaly relief voskového modelu (obr. č. 5.3).

Obr. č. 5.3 Odlitky ze skořepin z VK V (nahore)
VK VI (uprostřed)
VK VII (dole).



Na základě těchto výsledků bylo přistoupeno k závěrečné, třetí ověřovací serii.

Serie č. 3:

Pro finální ověřovací serii byly vybrány dvě varianty břechek - z VK V a z VK VII, obě s přísadou PAL. Každou variantou bylo obaleno 8 stromečků, vyrobených podle

speciální konstrukce KSM, jeden modelový stromeček byl převzat ze slévárny a.s. STROJTEX a obalen břechkou s VK V.

Celkem byly použity 4 druhy voskových modelů. Typy I, II a III sloužily k hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti, modely typu IV sloužily k výrobě odlitků především pro posouzení celkové kvality.

Skořepiny byly žíhány na 900 °C. Jako odlévaný materiál byly zvoleny jak slitina Al-Si a šedá litina (odléváno na KSM), tak i ocel 11 600 (odléváno v a.s. STROJTEX - obr. č. 5.4).

Obr. č. 5.4



Při obalování stromečků byly pro kontrolu současně zhotoveny vzorky - destičky pro zkoušku pevnosti v ohybu. Hodnoty pevností v ohybu skořepin obou variant byly zpracovány tabelárně i graficky.

Pevnost v ohybu - vyhodnocení:

a) Tabelární:

ZA SYROVA

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK V TOSIL 2 : 1	2,64	2,68
VK VII TOSIL-ETS	3,17	3,68

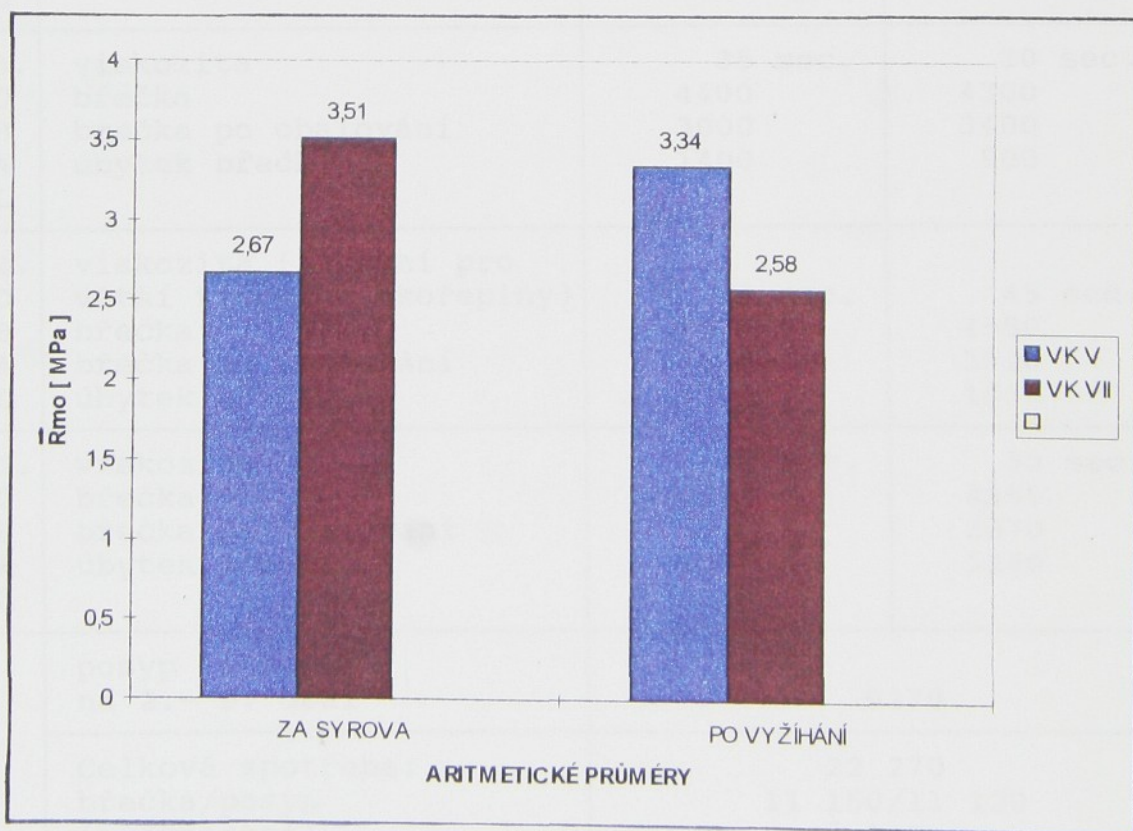
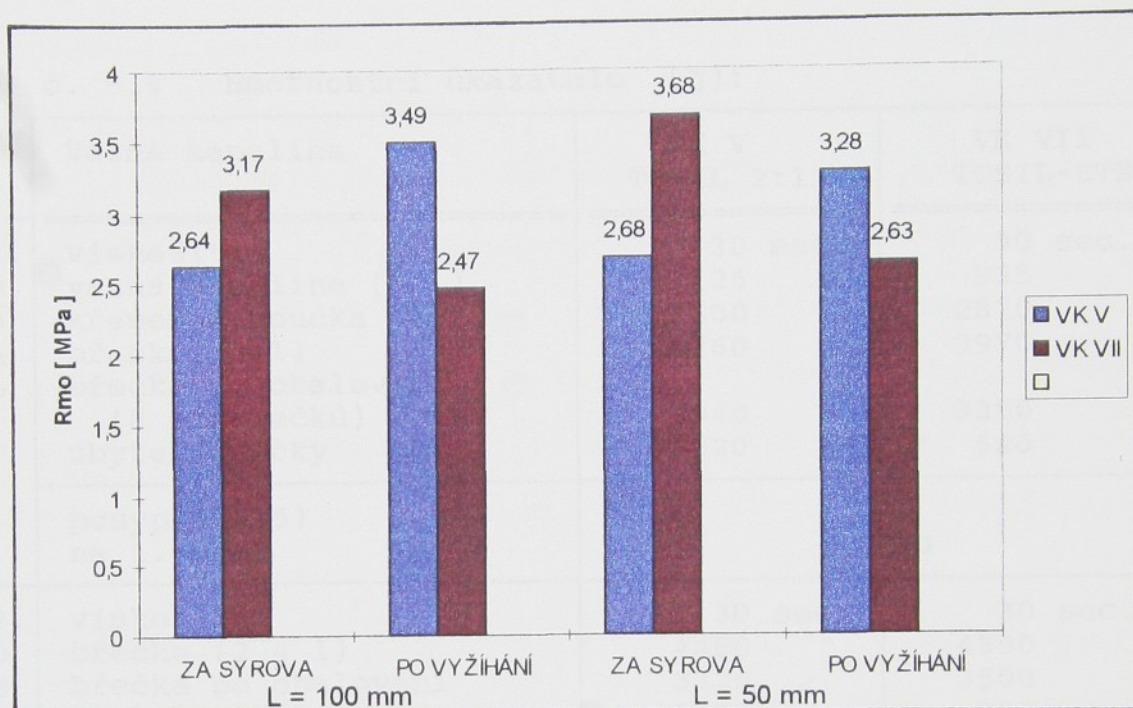
PO VYŽÍHÁNÍ

Druh vazné kapaliny	L = 100 mm	L = 50 mm
	R_{mo} [MPa]	R_{mo} [MPa]
VK V TOSIL 2 : 1	3,49	3,28
VK VII TOSIL-ETS	2,47	2,63

ARITMETICKÉ PRŮMĚRY:

Druh vazné kapaliny	ZA SYROVA	PO VYŽÍHÁNÍ
	$\overline{R}_{mo}$ [MPa]	$\overline{R}_{mo}$ [MPa]
VK V TOSIL 2 : 1	2,67	3,34
VK VII TOSIL-ETS	3,51	2,58

b) Grafické:



V této serii byly také sledovány hodnoty hmotnostních spotřeb jednotlivých komponentů (tab. č. 5.4) - podrobněji viz kap. 6.

Tab. č. 5.4 Hmotnostní ukazatele [g]:

	Vazná kapalina	VK V TOSIL 2:1	VK VII TOSIL-ETS
	=====	=====	=====
1.	viskozita	30 sec.	30 sec.
O	vazná kapalina (1 l)	1125	935
B	křemenná moučka (SUK)	2600	2870
A	břečka (2 l)	3760	3970
L	břečka po obalování (8 stromečků)	2940	3350
	úbytek břečky	820	620
	posyp (TS15) na 1. obal	1850	
2.	viskozita	30 sec.	30 sec.
O	břečka (2,4 l)	4450	4390
B	břečka po obalování	3320	3500
A	úbytek břečky	1130	890
L			
3.	viskozita	35 sec.	30 sec.
O	břečka	4400	4300
B	břečka po obalování	3000	3400
A	úbytek břečky	1400	900
L			
4.	viskozita (zvýšení pro větší tloušťku skořepiny)	40 sec.	45 sec.
O	břečka	4330	4550
B	břečka po obalování	2800	3520
A	úbytek břečky	1530	1030
L			
5.	viskozita	40 sec.	50 sec.
O	břečka	4250	4350
B	břečka po obalování	2700	3070
A	úbytek břečky	1550	1280
L			
	posyp (T2S) na 2.- 5. obal	9270	
	Celková spotřeba: břečka/posyp (hmotnostně)	22 270 11 150/11 120 ~ 1:1	
	poměrem z toho	6430/6413 ~ 1:1	4720/4707 ~ 1:1

Zhodnocení zkoušky:

Obalování stromečků u obou variant keramických břechek proběhlo bez problémů, i když s ohledem na omezené množství břechky bylo třeba některé části stromečků místo máčení polévat. Během obalování, sušení obalů, vytavování ani po žihání nebyly zjištěny praskliny vlastních skořepin.

Nápadný rozdíl však byl v menší tloušťce skořepiny z VK VII oproti skořepině z VK V a také větší křehkost této skořepiny, což vedlo ve třech případech k poškození skořepinové formy při manipulaci (pro odlévání byly provizorně opraveny).

Rozhodujícím namáháním byly skořepinové formy vystaveny až při odlévání. Pro možnost posouzení velikosti tohoto namáhání a případného zvýšení odolnosti forem byly zvoleny tyto případy:

- odlévání slitiny hliníku, litiny a oceli,
- odlévání do zasypané skořepiny,
- odlévání do samonosné skořepiny.

Celkové výsledky odlévání této serie zkoušek jsou zpracovány v tab. č. 5.5 (symbol * značí skořepiny poškozené při manipulaci, které byly před odlitím provizorně opraveny).

Tab. č. 5.5

VARIANTA S VK V (TOSIL 2:1)				
stromeček č.	použitá technologie	odlévaný materiál	místo odlévání	výsledek zkoušek (stav skořepiny)
1. odstupňované hranoly I	samonostná skoř. (SS)	Al-Si10	KSM	vydržela
2. tvarové odlitky I	SS	Al-Si10	KSM	vydržela
3. odstupňované válečky I	SS	šedá litina	KSM	praskla
4. odstupňované válečky II	SS	ocel 11 600	STROJTEX	praskla
5. tvarové odlitky II	SS	ocel 11 600	STROJTEX	vydržela
6. STROJTEX	SS	ocel 11 600	STROJTEX	praskla
7. odstupňované hranoly II	zasypaná skoř. (ZS)	ocel 11 600	STROJTEX	vydržela
8. rámečky	ZS	ocel 11 600	STROJTEX	vydržela
VARIANTA S VK VII (TOSIL-ETS)				
1. odstupňované hranoly I	SS	Al-Si10	KSM	vydržela
2. tvarové odlitky I	SS	Al-Si10	KSM	vydržela *
3. odstupňované válečky I	SS	šedá litina	KSM	praskla *
4. tvarové odlitky II	SS	šedá litina	KSM	praskla *
5. odstupňované válečky II	SS	ocel 11 600	STROJTEX	praskla
6. tvarové odlitky III	ZS	ocel 11 600	STROJTEX	vydržela
7. odstupňované hranoly II	ZS	ocel 11 600	STROJTEX	vydržela
8. rámečky	ZS	ocel 11 600	STROJTEX	vydržela

Dílčí závěry:

Ze souhrnu získaných výsledků a poznatků lze konstatovat:

1. Při použitém odlévaném materiálu Al-Si10 obě varianty skořepin (VK V i VK VII) v provedení samonosném odolaly namáhání a umožnily získat zkušební i tvarové odlitky.

2. Při odlévání litiny vybrané formy obou variant v provedení samonosném praskly, ale v případě jedné formy z VK V se podařilo získat zkušební odlitky. U obou skořepin z VK VII se jednalo o skořepiny poškozené při manipulaci a opravené.

3. Při odlévání oceli do zasypaných skořepin obou variant nedošlo k jejich poškození a byly získány zkušební i tvarové odlitky.

4. Při odlévání oceli do samonosných skořepin obou variant forem jedna ze čtyř forem vydržela (z VK V), ostatní praskly, přičemž se ale podařilo alespoň z části je zaplnit a získat zkušební odlitky.

Z toho vyplývá, že pro použití skořepinových forem v samonosném provedení pro odlévání litiny a oceli bude nutno dále hledat způsob, jak zvýšit pevnost těchto skořepin.

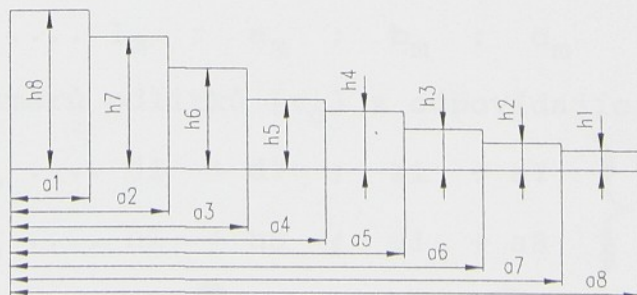
5.2. Hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti zkušebních odlitků

Zkušební formy třetí série odlévání byly z části připraveny pro hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti odlitků typů I, II a III. Modely na tyto odlitky byly zhotoveny jednak ve slévárně a.s. STROJTEX (typy I a II), jednak v laboratoři KSM (typ III).

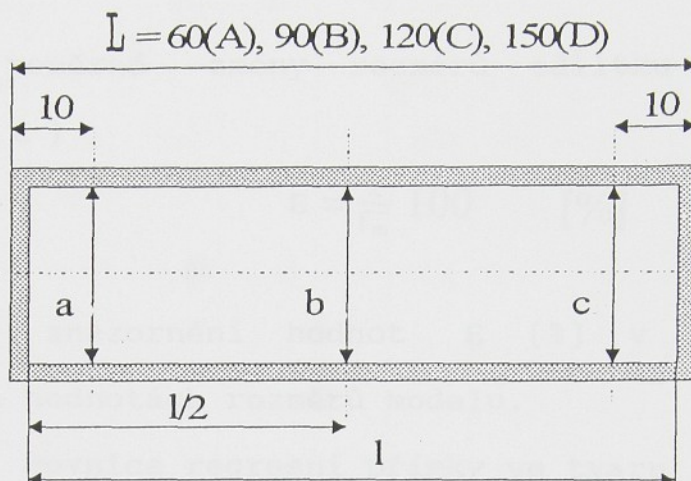
typ I: zkušební vzorky rotačního tvaru
(odstupňované průměry)



typ II: zkušební vzorky hranatého tvaru
(odstupňované délky)



typ III: zkušební vzorky - rámečky



5.2.1. Postup hodnocení rozměrové přesnosti

1. Proměření rozměrů dutin kovových forem pro výrobu voskových modelů

typ I: d_{jm} ; a_{jm}

typ II: h_{jm} ; a_{jm}

2. Měření rozměrů modelů (r_m)

typ I: (proměřeny tři serie po 10. kusech)

r_m $d_1 \div d_7$; $a_1 \div a_7$

typ II: (proměřeny čtyři serie po 10. kusech)

r_m $h_1 \div h_8$; $a_1 \div a_8$

$$\left. \begin{array}{l} \text{typ I:} \\ \text{typ II:} \end{array} \right\} \bar{r}_m = \frac{\sum r_{im}}{n}$$

typ III: (proměřeny dvě serie po 4. kusech)

r_m l_m ; a_m ; b_m ; c_m

3. Měření rozměrů odlitků (r_o) z odpovídajících modelů

typ I: r_o $d_1 \div d_7$; $a_1 \div a_7$

typ II: r_o $h_1 \div h_8$; $a_1 \div a_8$

typ III: r_o l_o ; a_o ; b_o ; c_o

$$\left. \begin{array}{l} \text{typ I:} \\ \text{typ II:} \end{array} \right\} \bar{r}_o = \frac{\sum r_{io}}{n}$$

4. Výpočet průměrné odchylky $\bar{x}$

$$X_i = r_{i0} - r_{im} \quad \Rightarrow \quad \bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

5. Výpočet poměrné změny rozměrů odlitku vůči rozměru modelu (ε)

$$\varepsilon = \frac{\bar{X}}{r_m} 100 \quad [\%]$$

6. Grafické znázornění hodnot ε [%] v závislosti na středních hodnotách rozměrů modelu.

7. Vyjádření rovnice regresní přímky ve tvaru

$$\varepsilon = A + B\bar{r}_m \quad [\%]$$

Obr. č. 5.5 Ukázka některých odlitků získaných pro hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti

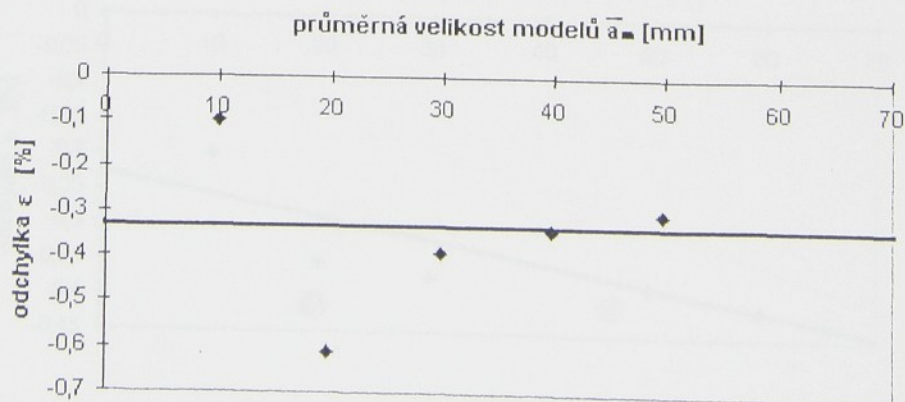
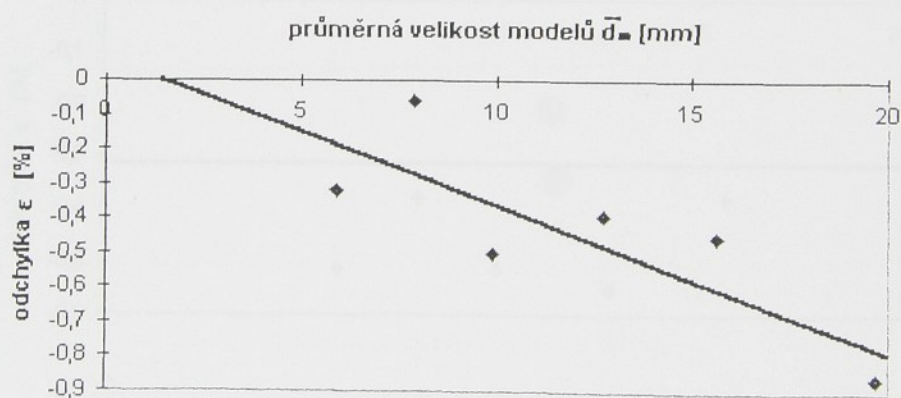


5.2.2. Výsledky hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti

a) vzorky typu I

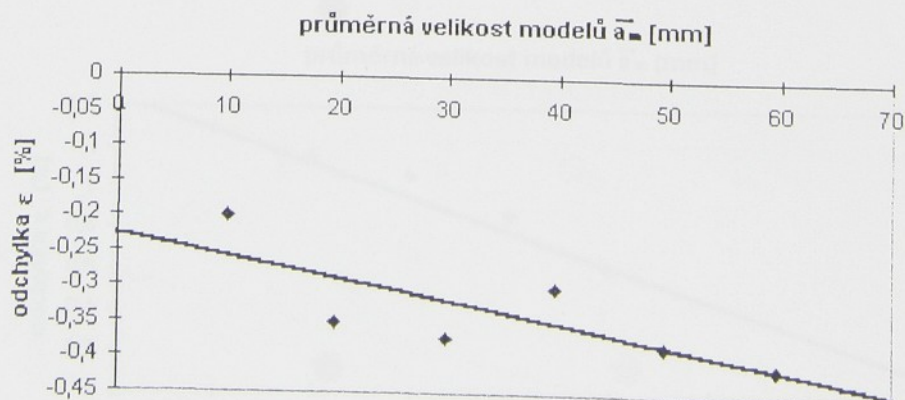
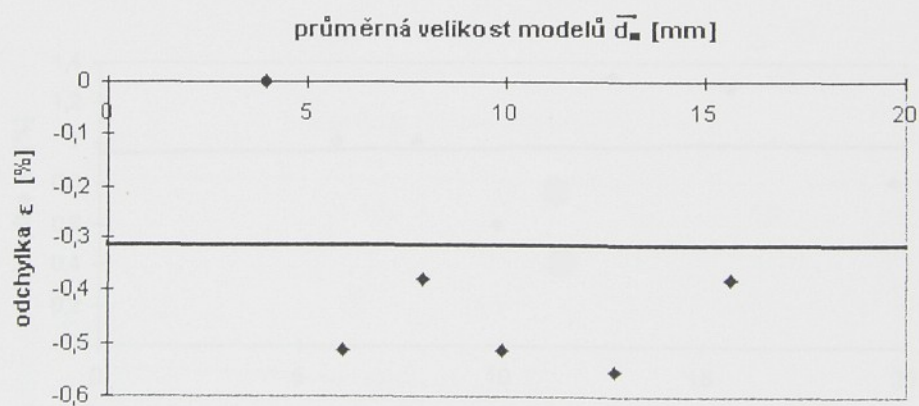
VK V, samonosně, ocel 11 600

	d_{jm} [mm]	$\bar{d}_m$ [mm]	$\bar{d}_o$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]		a_{jm} [mm]	$\bar{a}_m$ [mm]	$\bar{a}_o$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]
d1	4,0	3,95	-	-	-	a1	10,1	10,04	10,03	-0,01	-0,10
d2	6,0	5,90	5,88	-0,02	-0,32	a2	20,2	19,77	19,65	-0,12	-0,61
d3	8,0	7,89	7,88	-0,01	-0,06	a3	30,3	29,76	29,64	-0,12	-0,39
d4	10,0	9,92	9,87	-0,05	-0,50	a4	40,4	39,72	39,58	-0,14	-0,34
d5	13,0	12,77	12,72	-0,05	-0,39	a5	50,5	49,75	49,60	-0,15	-0,30
d6	16,0	15,68	15,61	-0,07	-0,45	a6	60,6	59,87	-	-	-
d7	20,0	19,66	19,49	-0,17	-0,86	a7	70,7	69,87	-	-	-
$\varepsilon = 0,061 - 0,041 \bar{d}_m$ [%] $r = -0,805$						$\varepsilon = -0,311 - 0,001 \bar{a}_m$ [%] $r = -0,107$					



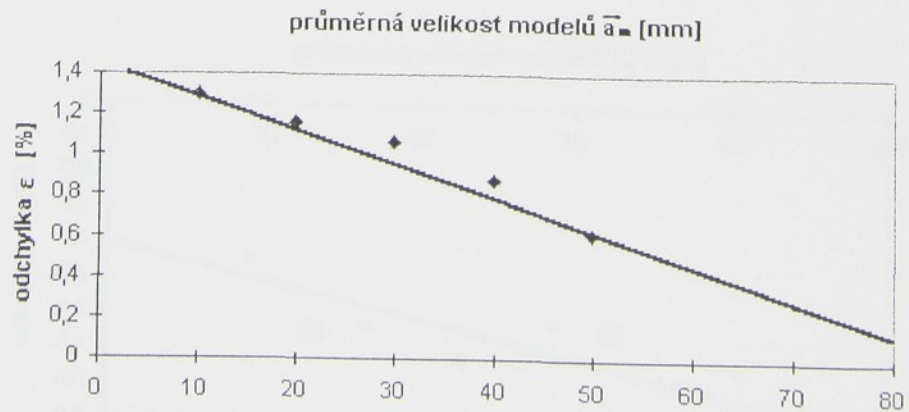
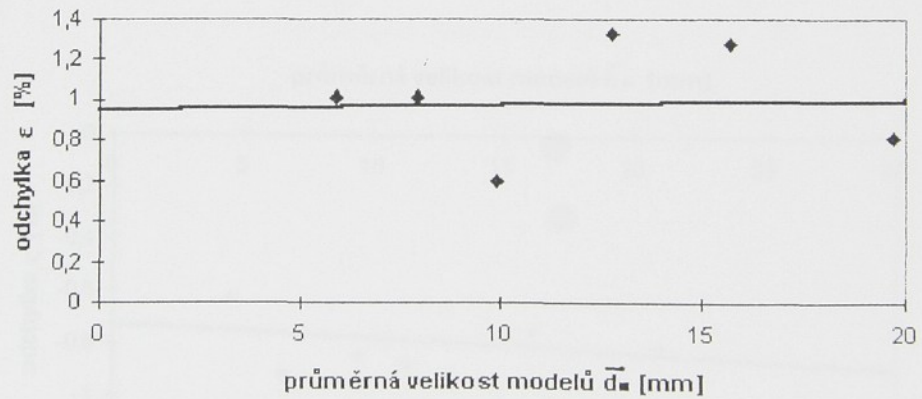
VK VII, samonosně, ocel 11 600

	d_{jm} [mm]	$\bar{d}_m$ [mm]	$\bar{d}_0$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]		a_{jm} [mm]	$\bar{a}_m$ [mm]	$\bar{a}_0$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]
d1	4,0	3,96	3,96	0	0	a1	10,1	10,00	9,98	-0,02	-0,20
d2	6,0	5,91	5,88	-0,03	-0,51	a2	20,2	19,73	19,66	-0,07	-0,35
d3	8,0	7,90	7,87	-0,03	-0,38	a3	30,3	29,74	29,63	-0,11	-0,37
d4	10,0	9,87	9,82	-0,05	-0,51	a4	40,4	39,66	39,54	-0,12	-0,30
d5	13,0	12,76	12,69	-0,07	-0,55	a5	50,5	49,66	49,47	-0,19	-0,38
d6	16,0	15,64	15,58	-0,06	-0,38	a6	60,6	59,64	59,40	-0,24	-0,41
d7	20,0	19,61	19,50	-0,11	-	a7	70,7	69,87	-	-	-
$\varepsilon = -0,311 - 0,001 \bar{d}_m$ [%] $r = -0,107$						$\varepsilon = -0,228 - 0,003 \bar{a}_m$ [%] $r = -0,755$					



VK V, samonosně, šedá litina

	d_{jm}	$\bar{d}_m$	$\bar{d}_o$	$\bar{x}$	ε		a_{jm}	$\bar{a}_m$	$\bar{a}_o$	$\bar{x}$	ε
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
d1	4,0	3,99	-	-	-	a1	10,1	10,00	10,13	+0,13	+1,30
d2	6,0	5,97	6,03	+0,06	+1,01	a2	20,2	19,77	20,00	+0,23	+1,16
d3	8,0	7,93	8,01	+0,08	+1,01	a3	30,3	29,79	30,11	+0,32	+1,07
d4	10,0	9,97	10,03	+0,06	+0,60	a4	40,4	39,80	40,15	+0,35	+0,88
d5	13,0	12,78	12,95	+0,17	+1,33	a5	50,5	49,82	50,13	+0,31	+0,62
d6	16,0	15,69	15,89	+0,20	+1,27	a6	60,6	59,86	-	-	-
d7	20,0	19,69	19,85	+0,16	+0,81	a7	70,7	70,05	-	-	-
$\varepsilon = 0,960 + 0,004 \bar{d}_m$ [%] $r = +0,072$						$\varepsilon = 1,497 - 0,016 \bar{a}_m$ [%] $r = -0,982$					

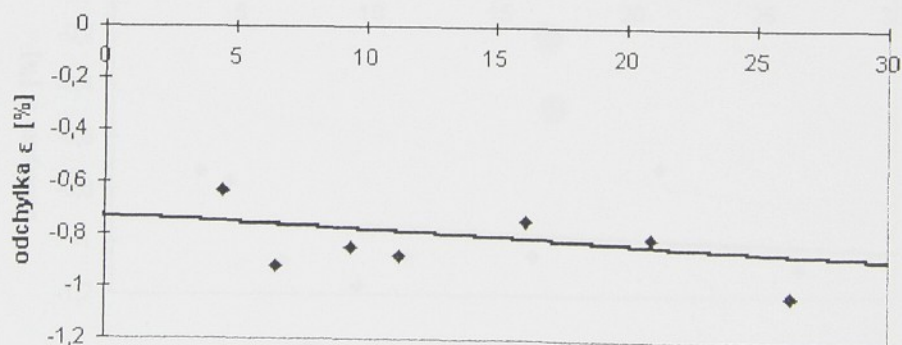


b) vzorky typu II

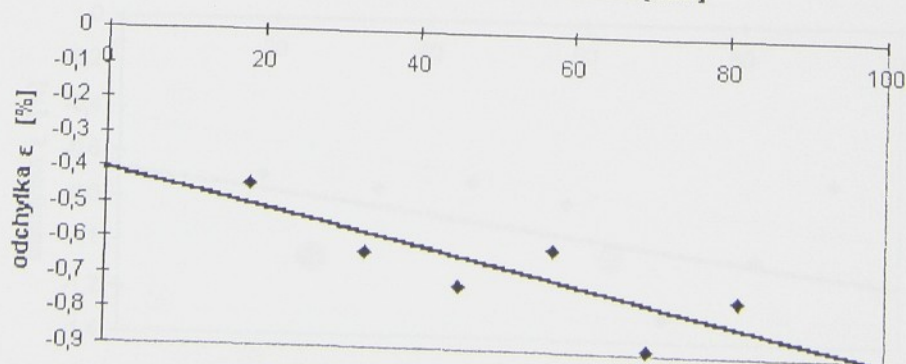
VK V, zasypáno, ocel 11 600

	h_{jm}	$\bar{h}_m$	$\bar{h}_0$	$\bar{x}$	ε		a_{jm}	$\bar{a}_m$	$\bar{a}_0$	$\bar{x}$	ε
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
h1	3,1	3,40	-	-	-	a1	18,1	18,36	18,28	-0,08	-0,44
h2	4,4	4,50	4,47	-0,03	-0,63	a2	33,5	33,34	33,13	-0,21	-0,63
h3	6,5	6,51	6,45	-0,06	-0,92	a3	46,0	45,55	45,22	-0,33	-0,72
h4	9,4	9,40	9,32	-0,08	-0,85	a4	58,4	57,51	57,16	-0,35	-0,61
h5	11,2	11,31	11,21	-0,10	-0,88	a5	70,6	69,72	69,10	-0,62	-0,89
h6	16,2	16,21	16,09	-0,12	-0,74	a6	82,4	81,42	80,82	-0,60	-0,74
h7	21,3	21,03	20,86	-0,17	-0,81	a7	92,0	91,20	-	-	-
h8	25,6	26,29	26,02	-0,27	-1,02	a8	102,3	101,21	-	-	-
$\varepsilon = -0,728 - 0,008 \bar{h}_m$ [%] $r = -0,501$						$\varepsilon = -0,414 - 0,005 \bar{a}_m$ [%] $r = -0,783$					

průměrná velikost modelů $\bar{h}_m$ [mm]



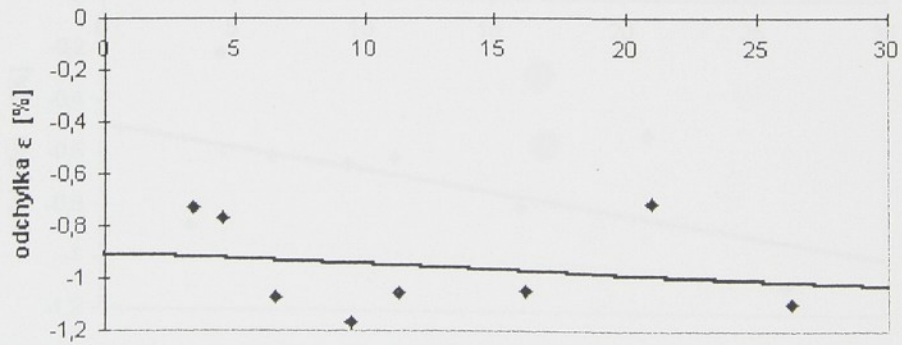
průměrná velikost modelů $\bar{a}_m$ [mm]



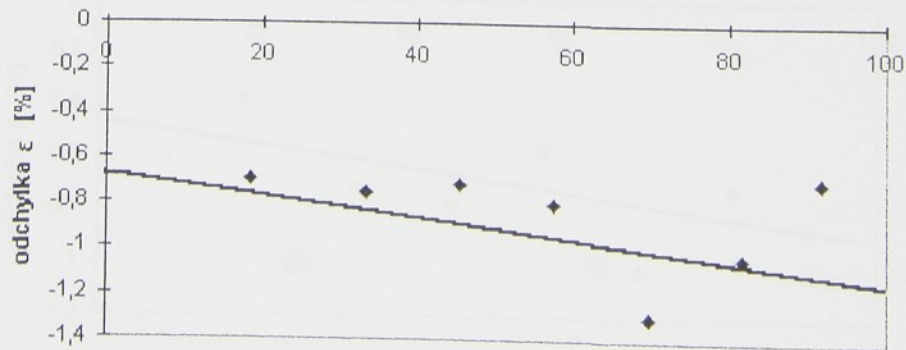
VK VII, zasypáno, ocel 11 600

	h_{jm} [mm]	$\bar{h}_m$ [mm]	$\bar{h}_o$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]		a_{jm} [mm]	$\bar{a}_m$ [mm]	$\bar{a}_o$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]
h1	3,1	3,42	3,40	-0,02	-0,73	a1	18,1	18,32	18,19	-0,13	-0,71
h2	4,4	4,53	4,50	-0,03	-0,77	a2	33,5	33,28	33,03	-0,25	-0,75
h3	6,5	6,53	6,46	-0,07	-1,07	a3	46,0	45,38	45,06	-0,32	-0,71
h4	9,4	9,43	9,32	-0,11	-1,17	a4	58,4	57,47	57,00	-0,47	-0,82
h5	11,2	11,33	11,21	-0,12	-1,06	a5	70,6	69,82	68,91	-0,91	-1,30
h6	16,2	16,22	16,05	-0,17	-1,05	a6	82,4	81,46	80,62	-0,84	-1,03
h7	21,3	21,01	20,86	-0,15	-0,71	a7	92,0	91,17	90,53	-0,64	-0,70
h8	25,6	26,30	26,01	-0,29	-1,10	a8	102,3	101,27	-	-	-
$\varepsilon = -0,896 - 0,005 \bar{h}_m$ [%] $r = -0,216$						$\varepsilon = -0,661 - 0,004 \bar{a}_m$ [%] $r = -0,407$					

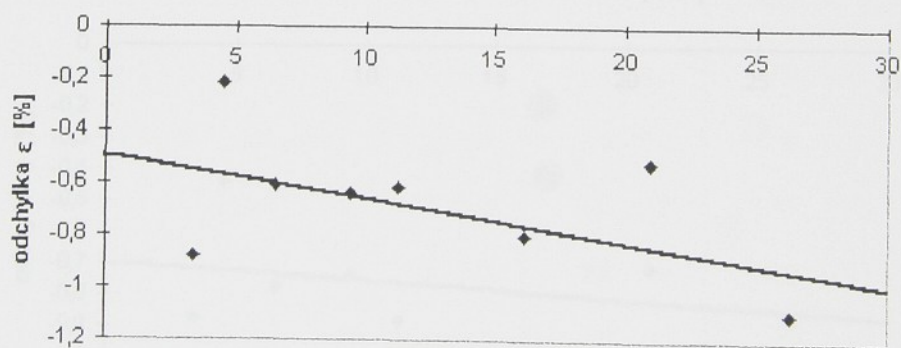
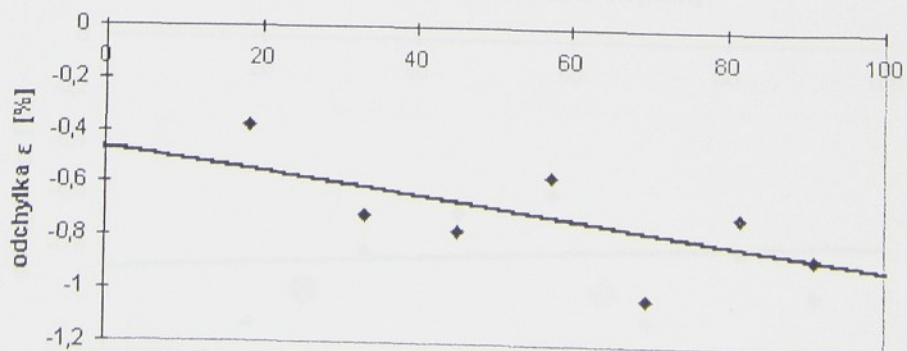
průměrná velikost modelů $\bar{h}_m$ [mm]



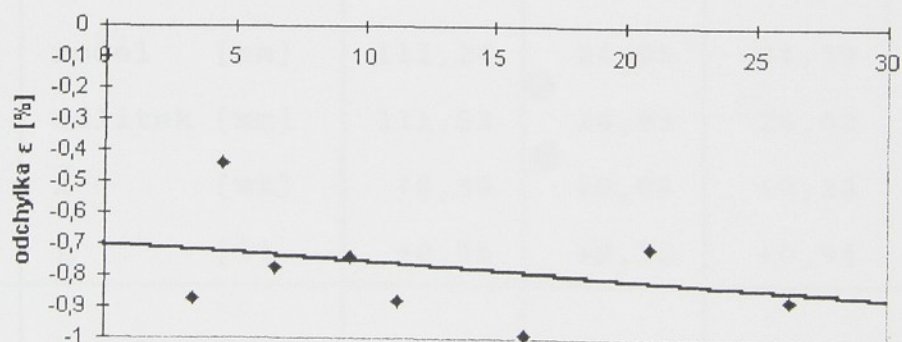
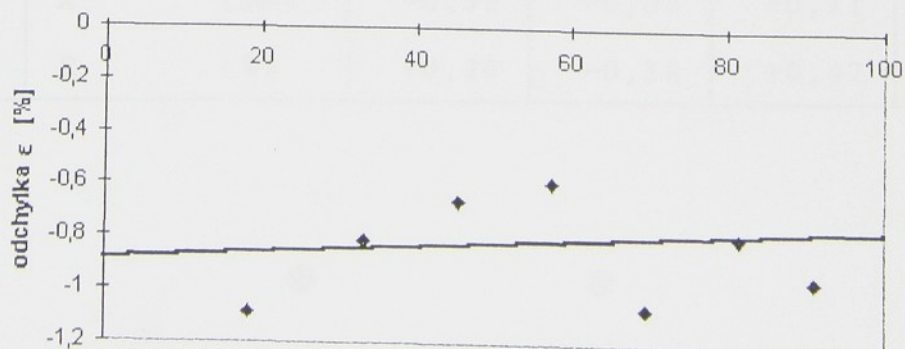
průměrná velikost modelů $\bar{a}_m$ [mm]



	h_{jm}	$\bar{h}_m$	$\bar{h}_o$	$\bar{x}$	ε		a_{jm}	$\bar{a}_m$	$\bar{a}_o$	$\bar{x}$	ε
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
h1	3,1	3,40	3,37	-0,03	-0,88	a1	18,1	18,25	18,18	-0,07	-0,38
h2	4,4	4,51	4,50	-0,01	-0,22	a2	33,5	33,27	33,03	-0,24	-0,72
h3	6,5	6,51	6,47	-0,04	-0,61	a3	46,0	45,40	45,05	-0,35	-0,77
h4	9,4	9,41	9,35	-0,06	-0,64	a4	58,4	57,46	57,14	-0,32	-0,56
h5	11,2	11,31	11,24	-0,07	-0,62	a5	70,6	69,80	69,09	-0,71	-1,02
h6	16,2	16,21	16,08	-0,13	-0,80	a6	82,4	81,47	80,89	-0,58	-0,71
h7	21,3	21,00	20,89	-0,11	-0,52	a7	92,0	91,12	90,34	-0,78	-0,86
h8	25,6	26,26	25,97	-0,29	-1,10	a8	102,3	101,38	100,52	-0,86	-0,85
$\varepsilon = -0,481 - 0,016 \bar{h}_m$ [%]						$\varepsilon = -0,457 - 0,004 \bar{a}_m$ [%]					
$r = -0,490$						$r = -0,656$					

průměrná velikost modelů $\bar{h}_m$ [mm]průměrná velikost modelů $\bar{a}_m$ [mm]

	h_{jm} [mm]	$\bar{h}_m$ [mm]	$\bar{h}_0$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]		a_{jm} [mm]	$\bar{a}_m$ [mm]	$\bar{a}_0$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	ε [%]
h1	3,1	3,46	3,43	-0,03	-0,87	a1	18,1	18,32	18,12	-0,20	-1,09
h2	4,4	4,52	4,50	-0,02	-0,44	a2	33,5	33,23	32,96	-0,27	-0,81
h3	6,5	6,51	6,46	-0,05	-0,77	a3	46,0	45,33	45,03	-0,30	-0,66
h4	9,4	9,41	9,34	-0,07	-0,74	a4	58,4	57,46	57,12	-0,34	-0,59
h5	11,2	11,30	11,20	-0,10	-0,88	a5	70,6	69,79	69,05	-0,74	-1,06
h6	16,2	16,20	16,04	-0,16	-0,99	a6	82,4	81,46	80,82	-0,64	-0,79
h7	21,3	21,00	20,85	-0,15	-0,71	a7	92,0	91,10	90,23	-0,87	-0,95
h8	25,6	26,31	26,08	-0,23	-0,87	a8	102,3	101,17	-	-	-
$\varepsilon = -0,694 - 0,007 \bar{h}_m$ [%] $r = -0,357$						$\varepsilon = -0,872 + 0,001 \bar{a}_m$ [%] $r = +0,053$					

průměrná velikost modelů $\bar{h}_m$ [mm]průměrná velikost modelů $\bar{a}_m$ [mm]

c) vzorky typu III

VK V, zasypáno, ocel 11 600

		l	a	b	c
		=====	=====	=====	=====
A	model [mm]	51,43	24,58	24,62	24,53
	odlitek [mm]	51,73	24,70	24,66	24,64
	$\bar{x}$ [mm]	+0,30	+0,12	+0,04	+0,11
	ε [%]	+0,58	+0,49	+0,16	+0,45
B	model [mm]	82,22	24,18	23,79	24,14
	odlitek [mm]	82,66	24,24	23,83	24,24
	$\bar{x}$ [mm]	+0,44	+0,06	+0,04	+0,10
	ε [%]	+0,54	+0,25	+0,17	+0,41
C	model [mm]	111,24	24,85	24,39	24,44
	odlitek [mm]	111,63	24,93	24,62	24,63
	$\bar{x}$ [mm]	+0,39	+0,08	+0,23	+0,19
	ε [%]	+0,35	+0,32	+0,94	+0,78
D	model [mm]	139,16	24,41	23,56	24,32
	odlitek [mm]	139,55	24,38	23,67	24,51
	$\bar{x}$ [mm]	+0,39	-0,03	+0,11	+0,19
	ε [%]	+0,28	-0,12	+0,47	+0,78

VK VII, zasypáno, ocel 11 600

		l	a	b	c
A	model [mm]	51,84	24,94	24,58	24,47
	odlitek [mm]	52,50	24,87	24,61	24,50
	$\bar{x}$ [mm]	+0,66	-0,07	+0,03	+0,03
	ε [%]	+1,28	-0,28	+0,12	+0,12
B	model [mm]	82,16	24,41	24,52	24,47
	odlitek [mm]	-	24,46	24,56	-
	$\bar{x}$ [mm]	-	+0,05	+0,04	-
	ε [%]	-	+0,20	+0,16	-
C	model [mm]	111,01	24,38	24,10	24,39
	odlitek [mm]	-	-	-	-
	$\bar{x}$ [mm]	-	-	-	-
	ε [%]	-	-	-	-
D	model [mm]	138,48	24,71	24,98	24,61
	odlitek [mm]	138,81	24,70	24,92	24,62
	$\bar{x}$ [mm]	+0,33	+0,01	-0,06	+0,01
	ε [%]	+0,24	+0,04	-0,24	+0,04

5.2.3. Dílčí závěry z hodnocení rozměrové přesnosti odlitků

* U odlitků typu I a II bylo naměřeno:

- Smrštění odlitků ($\varepsilon < 0$) u oceli a u slitiny Al (jedná se o volné smršťování), v obou typech forem (VK V, VK VII), ať už byly samonostné nebo zasypané.
- Roztažení odlitků ($\varepsilon > 0$) u litiny (forma z VK V, samonosná).

Z hodnot ε pro jednotlivé případy nelze zjistit podstatné rozdíly mezi jednotlivými typy forem a podmínkami jejich odlévání.

* U odlitků typu III (formy z VK V, VK VII - zasypané) bylo naměřeno:

- Ve většině případů pro jednotlivé rozměry kladné hodnoty ε (což znamená roztažení odlitků).

Toto roztažení je zřejmě dáno předehrátím formy, jejím zasypaním a tím, že se jedná o podmínky brzděného smršťování. Ve srovnání s výsledky, které naměřil ve své diplomové práci T. Hrubý [10] pro samonosné skořepiny, došlo v mém případě k podstatně menším rozdílům v rozměru b (uprostřed vzorku), což vysvětlují právě zpevněním celé formy zásypaním. Kromě toho však chci konstatovat, že počet těchto odlitků (po jednom kuse pro každý délkový rozměr a pro každý typ formy) je pro seriózní závěry zcela nedostatečný. Proto tyto dosažené výsledky je třeba považovat pouze za informativní.

5.3. Zhodnocení výsledků ověřování zkušebních forem

Provedené dílčí zkoušky zaměřené na ověřování zkušebních forem (připravených na bázi TOSILu) ukazují, že:

1. Hydrosolové pojivo TOSIL lze obecně použít pro výrobu keramických skořepinových forem a to i při určitém zředění vodou. Do obalové břechky je však nutno pro první obal přidat přísadu povrchově aktivní látky (PAL). Vlastní výroba skořepinových forem nevykazuje žádné podstatné problémy a je srovnatelná s výrobou skořepin z břechek na bázi alkosolu.

2. Pojivo TOSIL lze použít k výrobě skořepinových forem i v kombinaci s ETS 40, přičemž jeho zředění vodou je podstatně větší. V tomto případě se však ukázaly problémy s dodržením viskozity břechky a tím i s výslednou tloušťkou skořepiny. Skořepiny, které jsem vyrobil z VK VII byly tenčí a choulostivější při manipulaci. Na tuto skutečnost je třeba zaměřit pozornost při dalších zkouškách.

3. Keramické skořepinové formy na bázi hydrosolového pojiva TOSIL lze použít v samonosném provedení pro odlévání slitiny hliníku, pro odlévání slitin železa (litiny, oceli) zatím pouze v provedení zasypané skořepiny. Předpokládám, že dalšími zkouškami se podaří dosáhnout zvýšení odolnosti skořepin proti namáhání při odlévání těchto materiálů i v samonosném provedení.

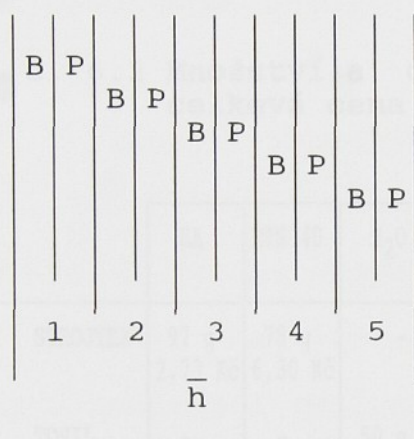
4. Při návrhu výroby modelů a vlastních forem z hlediska rozměrové a tvarové přesnosti odlitků, lze v podstatě vycházet ze zkušeností se skořepinami na bázi alkosolových pojiv, především s ohledem na druh odlévaného materiálu i na druh použitého ostřiva do keramické břechky. To ukazují jak výsledky dilatometrických měření, tak hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti zkušebních odlitků.

6. Rozbor spotřeby materiálů a porovnání nákladů na jednotlivé druhy zkoušených keramických skořepinových forem

Materiál	Množství	Cena (Kč)
LTZ 40	1 000 ml	27,00
podst.	1 000 ml	51,70
SA	1 000 ml	12,50
H ₂ O	1 000 ml	2,00
Mlatý křemen	1 000 kg	1.300,00
Prámen. posyp (T315)	1 000 kg	737,00
Prámen. posyp (T315)*	1 000 kg	617,00

6.1. Rozbor podílu jednotlivých složek materiálů skořepiny a cenové náklady

Pro orientační výpočet byl zvolen model keramické skořepiny vytvořený z pěti obalů, přičemž každý obal tvoří vrstva břčky a vrstva posypového materiálu.



B keramická břčka

P posyp -
křemenné ostřivo

V souladu se získanými parametry (tab. č. 5.4) byl pro výpočet daných hodnot uplatněn zjednodušující předpoklad $B : P = 1 : 1$ (hmotnostně).

Pro účely dalšího hodnocení byl nejprve učiněn průzkum domácího trhu a sestavena tabulka, ukazující ceny jednotlivých materiálů pro výrobu keramických skořepinových forem (tab. č. 6.1).

Tab. č. 6.1

Materiál	Množství	Cena (Kč)
ETS 40	1 000 ml	97,00
TOSIL	1 000 ml	51,20
EA	1 000 ml	22,50
H ₂ O	1 000 ml	8,00
Mletý křemen	1 000 kg	1.300,00
Křemen. posyp (TS15)	1 000 kg	737,00
Křemen. posyp (T2S)	1 000 kg	837,00

Cenově byly porovnány skořepiny vyrobené ze 4 vazných kapalin (VK I, VK V, VK VI, VK VII), přičemž rozhodujícím faktorem bylo množství jednotlivých komponentů, potřebných k vyrobění skořepin o hmotnosti 1 000 g (tab. č. 6.2).

Tab. č. 6.2 Množství a ceny podílů jednotlivých materiálů a celková cena 1000 g skořepiny

		EA	ETS 40	H ₂ O	TOSIL	Mletý křemen	Křemen- posyp	Ostatní	Cena celkem Kč/1 kg skoř. % z VK I	
VK I	STROJTEX	97 g 2,73 Kč	78 g 6,30 Kč	-	-	323 g 0,42 Kč	500 g 0,41 Kč	2 g 0,06 Kč	9,92 Kč	100 %
VK V	TOSIL 2 : 1	-	-	50 g 0,40 Kč	119 g 5,08 Kč	329 g 0,43 Kč	500 g 0,41 Kč	2 g 0,64 Kč	6,96 Kč	70 %
VK VI	TOSIL 1 : 1	-	-	68 g 0,54 Kč	81 g 3,46 Kč	349 g 0,45 Kč	500 g 0,41 Kč	2 g 0,64 Kč	5,50 Kč	55 %
VK VII	TOSIL-ETS	-	14 g 1,13 Kč	115,5 g 0,92 Kč	21 g 0,90 Kč	347 g 0,45 Kč	500 g 0,41 Kč	2,5 g 0,66 Kč	4,47 Kč	45 %

Dále jsem rovněž (s využitím tab. č. 6.2 a tab. č. 5.3) získal údaje o cenových nákladech skořepinových forem připadajících na výrobu 1 kg odlitků (tab. č. 6.3).

Tab. č. 6.3 Náklady na skoř. formu na 1 kg odlitků

Druh VK	Náklady [Kč/1 kg odlitku]	% z VK I
VK I	5,70	100
VK V	3,60	63
VK VI	2,76	48
VK VII	2,02	35

6.2. Diskuse ekonomických výsledků a dílčí závěry

Z uvedeného rozboru a údajů uvedených v tabulkách je patrné, že:

1. Z hlediska materiálových nákladů jako cenově nejdražší vychází keramická skořepina s alkosolovým pojivem na bázi hydrolyzovaného etylsilikátu VK I (podle receptury a.s. STROJTEX).

2. Varianty skořepinových forem na bázi hydrosolového pojiva TOSIL - VK V a VK VI - vycházejí jako lacinější a to o 30 - 45 % (podle stupně zředění TOSILu).

3. Cenově nejvýhodnější se jeví varianta skořepinové formy s kombinací TOSILu a ETS 40 (VK VII), která vychází o více než polovinu levněji. Tento poznatek je v souladu se závěry práce [6]. Avšak právě u této skořepiny, jak jsem si ověřoval zejména při odlévání oceli, se projeví problémy s její pevností a tím i odolností proti namáhání taveninou. Přesto doporučuji tuto variantu skořepinové formy dále ověřovat.

7. Dílčí závěry z ověřování keramických skořepinových forem na bázi hydrosolového pojiva TOSIL

Provedené zkoušky hodnocení jednotlivých variant keramických skořepinových forem a to jak některých jejich vybraných vlastností, tak jejich chování při odlévání a hodnocení zkušebních odlitků, umožňují formulovat tyto dílčí závěry:

1. Hydrosolové pojivo TOSIL lze použít k přípravě keramické obalové břečky a to jak v neředěném stavu, tak i po určitém zředění vodou (destilovanou nebo deionizovanou). Oproti alkosolovým pojivům odpadá zvláštní příprava vazné kapaliny tj. hydrolyza etylsilikátu.

2. Pro přípravu keramické obalové břečky jsem používal pouze mletý křemen SUK, ale předpokládám, že stejně lze použít jiná práškovitá ostřiva (molochit, mletý tavený křemen, zirkon, korund apod.). Práškovité ostřivo je nutno přidávat do vazné kapaliny pomalu za stálého míchání a i po přidání příslušného množství moučky je třeba míchat, aby břečka měla požadovanou viskozitu a co nejmenší podíl vzduchových bublin.

3. Před máčením voskových modelů - stromečků - pro nanesení prvního obalu je nutno přidat do břečky přísadu povrchově aktivní látky (PAL), zajišťující jak smáčení modelu břečkou, tak snížení množství vzduchových bublin v obalu. Takovouto přísadu se podařilo sestavit v podobě kapalného roztoku a její spotřeba je velmi malá. Jinak se postup obalování i posypávání modelů neliší od postupů při výrobě skořepinových forem s alkosolovými pojivy.

4. Sušení jednotlivých vrstev (obalů) při mých experimentech probíhalo po dobu 24 hodin, avšak, předpokládám (i v souladu s údaji v literatuře), že jej lze

zkrátit na dobu mezi 4 až 8 hodinami. To bude třeba ověřit dalšími zkouškami.

5. Odolnost keramických skořepin s hydrosolovým pojivem TOSIL proti jejich namáhání při odlévání je ovlivněno pevností těchto skořepin. Měření pevnosti skořepin v ohybu, které jsem prováděl, ukázala menší pevnost hydrosolových skořepin oproti alkosolovým skořepinám především za syrova. Po vyžehání byla pevnost obou těchto druhů skořepin prakticky srovnatelná. Přesto se ale při odlévání oceli do samonosných skořepin projeví problémy s praskavostí forem. Proto i otázkou zvýšení pevnosti těchto forem se bude třeba dále zabývat.

6. Z hlediska rozměrové a tvarové přesnosti zkušebních odlitků získaných ve formách s pojivem TOSIL jsem nezjistil žádné mimořádné rozdíly oproti údajům, které jsou používány v praxi pro keramické skořepinové formy alkosolové. S ohledem na poměrně malý počet údajů, které jsem při tom zpracovával, se však domnívám, že i v těchto hodnoceních bude nutno pokračovat.

7. Náhrada alkosolových poživ hydrosolovým pojivem TOSIL by přinesla i cenové úspory, jak je uvedeno v kap. 6. Vedle toho by se zjednodušily podmínky skladování těchto materiálů (TOSIL není hořlavina) a výrazně by se zlepšilo pracovní i životní prostředí ve slévárně i jejím okolí.

8. Závěr

Tato diplomová práce měla ukázat možnost použití českého hydrosolového pojiva TOSIL v technologii přesného lití metodou vytavitelného modelu. K tomu byla změřena jak literární příprava, tak vlastní experimentální část práce. Dosažené výsledky ukazují toto ekologické pojivo jako perspektivní a použitelné pro výrobu keramických skořepinových forem a to jak z technologických, tak i ekonomických důvodů.

Důležitým výsledkem práce je to, že se podařilo sestavit složení a laboratorně připravit kapalnou přísadu povrchově aktivní látky (PAL), kterou lze přidávat do keramické obalové břečky před nanášením prvního obalu k zajištění dobré smáčivosti voskových modelů.

Příznivých výsledků při tomto prvním ověřování bylo dosaženo při odlévání slitin hliníku do samonosných skořepin a při odlévání slitin železa (oceli i litiny) do skořepinových forem zasypaných. Skořepinové formy s pojivem TOSIL v provedení samonosném však namáhání při odlévání oceli ve většině případů nevydržely.

Doporučuji proto věnovat při další práci v této problematice zejména pozornost zvýšení pevností těchto forem, čehož může být dosaženo těmito způsoby:

1. snížením stupně zředění TOSILu vodou ve vazné kapalině;
2. zkvalitněním některých jakostních ukazatelů TOSILu - zvýšení obsahu SiO_2 , zmenšení velikosti částic SiO_2 - na základě jednání s výrobcem;
3. zvýšením viskozity břečky pro druhý až pátý obal;
4. zvýšením počtu vytvořených obalů (6, příp. 7 obalů);

5. použitím jiného druhu práškovitého ostríva (moločit, mletý tavený křemen);

6. použitím jiného druhu materiálu pro posyp obalů.

Toto jsou pouze některé z námětů, které by případně měly sloužit k další výzkumné práci pro praktické použití hydrosolového pojiva TOSIL k výrobě keramických skořepinových forem.

9. Literatura

1. Doškar, J. - Gabriel, J.: Výroba přesných odlitků. SNTL Praha, 1976.
2. Doškar, J. - kol.: Přesné lití do keramických forem. SNTL Praha, 1961.
3. Doškar, J. - Matěrnák, O.: Přesné lití. SNTL Praha, 1961.
4. Sklennik, J. I. a kol.: Litie po vyplavňovacím modelovaní. Moskva, Mašinstrojenije, 1964.
5. Malubec, F.: Možnosti výroby odlitků z aluminia v kombinovaných sklopinových formách na 1900 °C. Věstník ÚVVOH MS 60095/197, 1977, číslo 1978.
6. Čuláková, A. B. a kol.: Ispol'zovanie izmenenij dlya izgotovlenija form po vyplavljajemyh modelam. Litovnyje proizvoďstvo 1961, č. 11, str. 14 - 15.
7. Shepherd, G. - Lewis, R. A.: Shell moulds and colloidal silica as bonding agents for ceramic shell moulds. Foundry Trade Journal, 3.11.1961, str. 511 - 512.
8. Prospekt firmy In-Post, Monzón, Technopap.
9. Prospekt firmy TOMASO na TOMIL.
10. Hrubý, T.: Vliv namáhání kombinovaných sklopinových forem na přesnost odlitků ze slitin hliníku. Diplomová práce, TU Liberec 1979.

9. Literatura

1. Doškar, J. - Gabriel, J.: Výroba přesných odlitků. SNTL Praha, 1976.
2. Doškar, J. - kol.: Přesné lití do keramických forem. SNTL Praha, 1961.
3. Doškar, J. - Matěrnák, O.: Přesné lití. SNTL Praha, 1961.
4. Sklennik, J. I. a kol.: Litie po vyplavňovacím modelovaní. Moskva, Mašinstrojenije, 1964.
5. Malubec, F.: Možnosti výroby odlitků z aluminia v kombinovaných sklopinových formách na 1900 °C. Věstník ÚVVOH MS 60095/197, 1977, číslo 1978.
6. Čuláková, A. B. a kol.: Ispol'zovanie izmenenij dlya izgotovlenija form po vyplavljajemyh modelam. Litovnyje proizvoďstvo 1961, č. 11, str. 14 - 15.
7. Shepherd, G. - Lewis, R. A.: Shell moulds and colloidal silica as bonding agents for ceramic shell moulds. Foundry Trade Journal, 3.11.1961, str. 511 - 512.
8. Prospekt firmy In-Post, Monzón, Technopap.
9. Prospekt firmy TOMASO na TOMIL.
10. Hrubý, T.: Vliv namáhání kombinovaných sklopinových forem na přesnost odlitků ze slitin hliníku. Diplomová práce, TU Liberec 1979.

1. Doškář, J. - Gabriel, J.: Výroba přesných odlitků. SNTL Praha, 1976.
2. Doškář, J. a kol.: Přesné lití do keramických forem. SNTL Praha, 1961.
3. Doškář, J. - Kaštánek, O.: Přesné lití. SNTL Praha, 1961.
4. Šklennik, J. I. a kol.: Litje po vyplavljajemym modeljam. Moskva, Mašinostrojenje, 1984.
5. Holubec, Z.: Možnosti výroby odlitků z Al slitin v kombinovaných skořepinových formách na bázi lupku a sádry. Závěrečná zpráva úkolu HS 60095/210, VŠST Liberec 1991.
6. Čulkova, A. D. a kol.: Ispolzovaniye kremnězolja dlja izgotovlenija form po vyplavljajemym modeljam. Litějnoje proizvodstvo 1981, č. 11, str. 16 - 18.
7. Shepherd, J. - Lewis, N. S.: Ethyl silicate and colloidal silica as bonding agents for ceramic shell molds, Foundry Trade Journal, 2.11.1961, str. 551 - 552.
8. Prospekty firem Du-Pont, Monsanto, Techmapos.
9. Prospekt firmy TONASO na TOSIL.
10. Hrubý, T.: Vliv namáhání kombinovaných skořepinových forem na přesnost odlitků ze slitin hliníku. Diplomová práce, TU Liberec 1995.