

Výskum technológie výroby keramických náradí na spracovanie plastov

Tomáš Majerník

Bakalárska práca
2006

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš MAJERNÍK**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Výzkum technologie výroby keramických nářadí pro zpracování polymerů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte studium literatury z oblasti výroby keramiky**
- 2. Určte vliv technologických podmínek na fyzikálně-mechanické charakteristiky keramiky**
- 3. Vypracujte výkresovou dokumentaci pomocných zařízení**
- 4. Vyhodnoťte výsledky experimentu**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Ptáček, Luděk a kolektiv. Nauka o materiálu II.. Brno: Cerm, 1999. 350 s.
ISBN 80-7204-130-4.**

Hlaváč, Jan. Základy technologie silikátů. 2. vyd. Praha: SNTL, 1988. 516 s.

Kuneš, K., Špičák K.. Procesy a zařízení II. Tvarování. Praha: Ediční středisko VŠCHT, 1993

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2006**

Ve Zlíně dne 16. ledna 2006


prof. Ing. Josef Šimonik, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce bol výskum technológie výroby keramických náradí na spracovanie plastov. Na zhodnotenie mechanických vlastností vzoriek z keramickej hlíny bola použitá tlaková skúška. Pri skúškach bola meraná zmluvná medza pevnosti. Pri výrobe vzoriek boli menené lisovacie tlaky a teploty vypaľovania. Tieto hodnoty boli spracované a vyhodnotené v grafoch.

Kľúčové slová: keramika, technológia výroby

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis was the research in production technology of ceramics equipment for plastics working. The mechanical characteristics of the ceramic specimens were examined by press testing. By examinations the bound of resistance was measured. In production process of specimens the different pressing tensions and temperatures were used. The examinations' results were worked and evaluated in graphics.

Keywords: ceramic, production technique

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce pánovi Doc. Ing. Imrichovi Lukovicsovi, CSc. za odborné vedenie, cenné pripomienky a rady, ktoré mi poskytoval v priebehu vypracovania celej bakalárskej práce.

Súhlasím s tým, že s výsledky mojej práce môžu byť použité podľa uváženia vedúceho bakalárskej práce a riaditeľa ústavu. V prípade publikácie budem uvedený ako spoluautor.

Prehlasujem, že som na celej bakalárskej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval.

V Zlíne, 4. 9. 2006

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	6
I TEORETICKÁ ČASŤ	7
1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA VÝROBU FORIEM	8
1.1 VOEBA OCELÍ PRE VÝROBU FORIEM	8
1.2 POUŽÍVANÉ OCELE NA VÝROBU FORIEM.....	9
2 KERAMIKA	10
2.1 ŠTRUKTÚRA KERAMICKÝCH MATERIÁLOV	11
2.2 ŠTRUKTÚRA KRYŠTALICKÝCH KERAMICKÝCH LÁTOK	12
2.3 POUŽITIE KONŠTRUKČNÝCH KERAMICKÝCH MATERIÁLOV	15
2.4 VÝCHODZIE MATERIÁLY PRE KERAMIKU.....	19
2.4.1 Oxidová keramika	19
2.4.2 Neoxidová keramika.....	20
2.5 OPRACOVANIE KERAMICKÝCH MATERIÁLOV	22
2.5.1 Brúsenie keramických materiálov	22
3 PRÍPRAVA ZMESÍ K TVAROVANIU	23
3.1 MIESENIE.....	23
3.2 LISOVANIE	24
3.2.1 Jednostranné lisovanie.....	24
3.2.2 Dvojstranné lisovanie	25
3.2.3 Izostatické lisovanie	27
3.2.4 Vlhké lisovanie.....	28
3.2.5 Prietokové lisovanie	29
3.2.6 Piestové lisovanie	29
3.3 LISY.....	29
3.3.1 Mechanické lisy.....	30
3.4 TVAROVANIE	31
3.4.1 Liatie tekutých suspenzií	31
3.4.2 Tvarovanie plastického telesa.....	32
3.4.3 Vytlačanie.....	34
3.4.4 Lisovanie práškových zmesí.....	34
4 TEPELNÉ SPRACOVANIE (VYPALOVANIE)	35
4.1 TEPLoty VYPALOVANIA	35
4.1.1 Spekanie kryštalických látok	36
Spekanie so súčasou reakciou (karbidy, nitridy)	39
4.2 PRIEMYSELNÉ PECE.....	39

5	SKÚŠANIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KERAMIKY.....	40
5.1	SKÚŠKA TLAKOM	40
5.2	PRÍPRAVA SKÚŠOBNÝCH TELIES.....	44
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	45
6	CIEĽ BAKALÁRSKEJ PRÁCE.....	46
7	LISOVANIE, SPEKANIE A MECHANICKÁ SKÚŠKA TLAKOM	46
7.1	HYDRAULICKÝ LIS CDC 2-7	46
7.2	ELEKTRICKÁ PEC MIWYCALOR K.....	47
7.3	SKÚŠOBNÉ ZARIADENIE ZWICK 145 665	48
8	PRÍPRAVA SKÚŠOBNÝCH KERAMICKÝCH TELIES PRE TLAKOVÉ SKÚŠKY	49
8.1	LISOVACÍ PRÍPRAVOK PRE SKÚŠOBNÉ TELIESKA.....	49
8.2	POUŽITÝ MATERIÁL	51
8.3	LISOVACIE TLAKY	51
8.4	VYPALOVACIE TEPLoty.....	51
8.4.1	Teplotný diagram vypalovania.....	52
9	VÝSLEDKY MERANÍ TLAKOVEJ SKÚŠKY	54
9.1	VPLYV TEPLoty NA PEVNOSŤ KERAMIKY	54
9.1.1	Spracovanie výsledkov tlakovej skúšky pri zmene teploty vypalovania	54
9.2	VPLYV LISOVACIEHO TLAKU NA PEVNOSŤ KERAMIKY	57
9.2.1	Spracovanie výsledkov tlakovej skúšky pri zmene lisovacieho tlaku	57
9.2.2	Použité vzťahy pri spracovaní výsledkov	59
	ZÁVER.....	60
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	61
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	62
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	63
	ZOZNAM TABULIEK.....	64
	ZOZNAM PRÍLOH	65

ÚVOD

Úlohou tejto bakalárskej práce je zistiť a overiť vplyv technológie výroby na vlastnosti keramických náradí na spracovanie plastov. Vzhľadom k tomu, že na výslednú vnútornú štruktúru materiálu nástroja a tým aj fyzikálno-mechanické vlastnosti má podstatný vplyv teplota a lisovací tlak, boli pri výrobe skúšobných teliesok z keramiky použité rôzne teploty a lisovacie tlaky.

Vplyv rôznych lisovacích tlakov a vypaľovacích teplôt skúšobného telieska na výsledne mechanické vlastnosti bol testovaný tlakovou skúškou. Skúšobné telieska boli vyrobené pri piatich lisovacích tlakoch a spekané tromi vypaľovacími teplotami. Z tlakových skúšok bola vyhodnotená veľkosť modulu pružnosti, zmluvná medza pevnosti v tlaku a merné stlačenie na medzi pevnosti.

Vzhľadom k tomu, že skúmaným materiálom bola keramika, bola vykonaná štúdia keramických materiálov, ich vlastností, technológie prípravy, spracovania a výroby.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA VÝROBU FORIEM

Formy sú nástroje zostavené z funkčných a pomocných dielov. Pri výrobe výstreku sa od nich vyžaduje splnenie požiadaviek kvality, životnosti a nízke obstarávacie náklady. Významným činiteľom pre splnenie týchto podmienok je materiál na výrobu foriem, ktorý je ovplyvnený prevádzkovými podmienkami výroby, ktoré závisia od:

- druhu vstrekovaneho plastu
- presnosti a akosti výstreku
- podmienok vstrekovania
- vstrekovacieho stroja

Pre výrobu foriem sa teda používajú také materiály, ktoré spĺňajú prevádzkové požiadavky v optimalnej miere. Široký výber bol zúžený na úzky sortiment akostí a rozmerov. Ďalej sa dáva prednosť materiálom univerzálnych typov so širokým rozsahom úžitkových vlastností. Tieto materiály predstavujú:

- ocele vhodných akostí
- neželezné zliatiny (Al, Cu,....)
- ostatné materiály (tepelne nevodivé,)

Ocele sú ďaleko najvýznamnejším druhom používaných materiálov na výrobu foriem. Svojou pevnosťou a ďalšími mechanickými vlastnosťami sa dajú len ťažko nahradiť. Účelové konštrukcie, vhodné vložkovanie, celkové dimenzie jednotlivých dielov, tepelné spracovanie má vplyv na kvalitu foriem.

1.1 Voľba ocelí pre výrobu foriem

Na trvanlivosť foriem má značný vplyv voľba vhodných ocelí a vhodné tepelné spracovanie jednotlivých súčastí. Vzhľadom k veľkej pracnosti výroby tvarových častí je podiel nákladov na materiál formy pomerne nízky a tvorí asi 8% celkových výrobných nákladov. Voľba kvality ocele nemá výrazný vplyv na výrobné náklady. To platí nie len pre výber materiálu na tvarové časti, ale tiež na rámy, oporné a kotviace dosky, kde použitie materiálov s väčšou pevnosťou značne zvýši životnosť formy a výrobné náklady sa zvýšia len nepatrne. Tiež spôsob tepelného spracovania týchto súčastí znateľne predlžuje životnosť foriem.

U tvarových částí foriem je treba zvlášť dôkladne sledovať deformácie pri tepelnom spracovaní. Pri výbere ocelí je treba prihliadať na:

- obrobiteľnosť a lešiteľnosť povrchu
- odolnosť proti opotrebeniu
- odolnosť proti korózii a chemickým vplyvom plastov
- vyhovujúcu kaliteľnosť a prekaliteľnosť. [8]

1.2 Používané ocele na výrobu foriem

Formy alebo ich súčasti sa vyrábajú najčastejšie z kovových materiálov, medzi ktorými prevláda oceľ. Požaduje sa, aby ocele boli vysoko homogénne a mali primeranú tvrdosť. S ohľadom na možnosť leštenia tvárniacich častí by ich tvrdosť nemala klesnúť pod 30 HRC a v prípade požiadavky zrkadlového lesku dokonca pod 54 HRC. Formy, v ktorých sa majú tvárniť lepidivé materiály, vyžadujú práve vysoký lesk. Pre spracovanie materiálov s abrazívnymi účinkami treba voliť ocele oderuvzdorné, ktorých tvrdosť býva 62-64 HRC. Formy s náročným použitím by mali mať tvrdosť 48-50 HRC. Spracovávané materiály s agresívnymi účinkami (PVC, IF) vyžadujú korozivzdorné materiály foriem, prípadne povrchové úpravy bežných materiálov. Medzi ocelami sú spravidla druhy triedy 16 alebo 19. [8]

Tab. 1 Prehľad tried ocelí

Trieda	názov	legujúce prvky
10	stavebné ocele	
11	strojné ocele	
12	úšľachtilé uhlíkové ocele	
13	zliatinové ocele	Mn, Si, Mn-Si
14	zliatinové ocele	Cr, Cr-Mn, Cr-Si, Cr-Al
15	zliatinové ocele	Cr-Mo, Cr-V, Mn-Cr-Mo, Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Mo-Al
16	zliatinové ocele	
19	špeciálne ocele	Ni, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo

[5]

2 KERAMIKA

Keramické materiály sú anorganické nekovové materiály, ktoré obsahujú kovové a nekovové prvky viazané predovšetkým iónovými alebo iónovo-kovalentnými väzbami. Chemické zloženie keramických materiálov sa mení v širokom rozmedzí, od jednoduchých zlúčenín až po zmesi komplexných fáz. Obvykle sa keramické materiály používané pre konštrukčné aplikácie rozdeľujú na tradičné keramické materiály, progresívne keramické materiály a materiály so sklenenou štruktúrou.

Vlastnosti charakteristické pre keramické materiály ich predurčujú k praktickému použitiu v nasledujúcich oblastiach:

- tepelné aplikácie (odolnosť voči vysokým teplotám, stabilita tvaru pri tlakovom a ťahovom namáhaní aj pri vysokých teplotách, odolnosť voči náhlým zmenám teploty, nízka tepelná rozťažnosť, vysoká, alebo nízka tepelná vodivosť, vysoká schopnosť akumulácie tepla)
- mechanické aplikácie (vysoká tvrdosť, odolnosť voči opotrebeniu, dobré a stabilné šmykové vlastnosti, neprítomnosť statického náboja, nízka meraná hmotnosť, vysoká presnosť tvaru, nízke rozmerové tolerancie, možnosť použitia rôznych spojovacích techník)
- elektrotechnika, elektronika (výborné izolačné vlastnosti aj pri vysokých teplotách, vysoká dielektrická vodivosť, vysoká stabilita výboja, vysoký výkon zhášania výboja, definovaná dielektrická konštanta, dobré vysokofrekvenčné vlastnosti)
- fyzikálne a chemické aplikácie (chemická odolnosť voči kyselinám a liehom, chemická inertnosť, odolnosť voči korózii a erózii, akumulácia a pohlcovacia schopnosť, definovaná filtračná schopnosť, plynotesnosť)

Základným prvkom vysokokvalitných keramických materiálov je oxid hliníka, kremíka a iné neorganické látky. [1]

2.1 Štruktúra keramických materiálov

Štruktúra akéhokoľvek materiálu závisí na type väzieb medzi atómami prítomnými v materiále. Atómy v keramických materiáloch sú spojené kovalentnými alebo iónovými väzbami, alebo kombináciou oboch typov väzieb. V kovalentných väzbách sú elektróny zdieľané iba dvoma susednými atómami. Výsledkom je smerová väzba. Charakteristickými vlastnosťami keramik s kovalentnými väzbami sú vysoká tvrdosť, vynikajúca chemická odolnosť, zanedbateľná tvárnosť, nízka tepelná rozťažnosť a značná elektrónová vodivosť. Iónová väzba vzniká prenosom jedného alebo viacerých elektrónov medzi susednými atómami za vzniku opačne nabitých iónov, ktoré sú priťahované coulombovými silami. Príkladom nekovových materiálov s vysoko iónovými väzbami je chlorid sodný, oxid vápenatý alebo oxid horečnatý. Iónové keramiky majú tendenciu tvoriť tesne usporiadanú štruktúru podobnú štruktúram čistých kovov. Odlišujú sa však od kovov tým, že nemajú voľné elektróny a atómy majú rôznu veľkosť. Výsledkom je, že iónové keramiky majú nízku tvárnosť, vysokú tepelnú rozťažnosť a nízku elektrónovú vodivosť.

U väčšiny keramických látok má väzba medzi atómami iónovo-kovalentný charakter. Zastúpenie iónového alebo kovalentného charakteru, ktoré závisí na rozdiel elektronegativít atómov tvoriacich väzbu určuje typ kryštálovej štruktúry, v ktorej sa bude keramická látka nachádzať.

Tab. 2 Iónový a kovalentný charakter väzby v niektorých keramických látkach

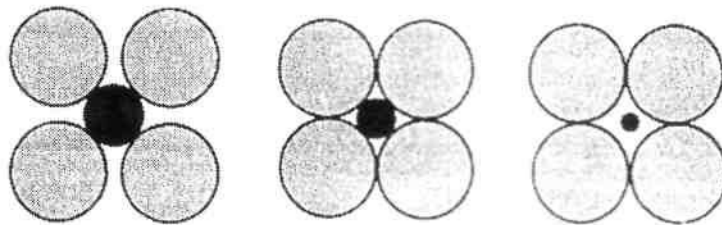
Keramická látka	Väzba	Rozdiel elektronegativít	Iónový charakter [%]	Kovalentný charakter [%]
MgO	Mg-O	2,3	77	23
Al ₂ O ₃	Al-O	2	63	37
SiO ₂	Si-O	1,7	51	49
Si ₃ N ₄	Si-N	1,2	30	70
SiC	Si-C	0,7	11	89

2.2 Štruktúra kryštalických keramických látok

V iónovej keramickej látke je usporiadanie katiónov a iónov určené predovšetkým dvoma faktormi:

1. relatívnou veľkosťou iónov v iónovej látke
2. nutnosťou elektrostatickej rovnováhy nábojov

Aby sa dosiahla čo najnižšia celková energia látky, musí byť usporiadanie iónov v látke čo najtesnejšie. Látka je však stabilná, ak sú atómy v kontakte s centrálnym katiónom a súčasne je dosiahnutá nábojová neutralita.



Stabilná

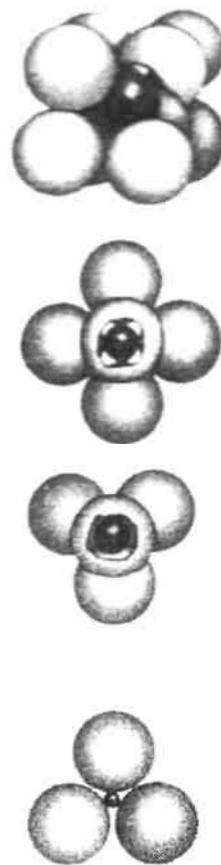
Stabilná

Nestabilná

Obr. 1 Stabilné a nestabilné usporiadanie aniónov okolo centrálného katiónu.

Obrázok 1 ukazuje rozdiely v stabilite v závislosti od usporiadania aniónov okolo centrálného katiónu v tuhej iónovej látke. Ak sa anióny nedotýkajú centrálného katiónu, štruktúra sa stáva nestabilnou, pretože sa centrálny katión môže voľne pohybovať. Pomer polomerov centrálného katiónu k polomeru obklopujúcich iónov sa nazýva pomer polomerov $r_{\text{anion}}/r_{\text{kation}}$. Možné pomery polomerov pre stabilné tuhé látky s koordinačným číslom 3, 4, 6 a 8 s ilustráciami koordinácii sú na obrázku 2 (koordinačné číslo odpovedá počtu najbližších susedov okolo centrálného atómu).

Rozloženie iónov okolo centrálneho iónu	Rozsah pomeru polomeru katiónu a aniónu
vrcholy kocky	≥ 0.732
vrcholy oktaedru	≥ 0.414
vrcholy tetraedru	≥ 0.225
vrcholy trojuholníka	≥ 0.155



Obr. 2 Pomerly iónov pre koordinačné čísla 3, 4, 6 a 8 a rozmiestnenie aniónov okolo centrálneho katiónu v iónových látkach.

Tab. 3 Jednoduché iónové štruktúry vybraných progresívnych konštrukčných keramických materiálov

Keramický materiál	Usporiadanie katiónov	Koordinačné číslo M a O	Názov štruktúry
MgO, CaO, NiO, CoO	kubické tesné usporiadanie	6:6	kamenná soľ (NaCl)
SiC, BeO	kubické tesné usporiadanie	4:4	blejno zinkové (ZnS)
ZrO ₂ , ZrO ₂ , HfO ₂	kubické usporiadanie	8:4	fluorid (CaF ₂)
SiC, ZnO	hexagonálne, tesné usporiadanie	4:4	wurtzit (ZnS)
Al ₂ O ₃ , Y ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃	hexagonálne, tesné usporiadanie	6:4	korund (Al ₂ O ₃)

V tabuľke sú uvedené iónové štruktúry najznámejších progresívnych keramických materiálov. Je zrejmé, že väčšina progresívnych keramických materiálov má kubickú, alebo hexagonálnu štruktúru v tesnom usporiadaní aniónov.

Aj napriek tesnému usporiadaniu iónov však v kryštálovej mriežke existujú prázdne priestory. Do týchto intersticiálnych miest môžu vstúpiť atómy, alebo ióny odlišné od materskej mriežky. Tieto ióny ideálnej kryštálovej mriežky môžu byť nahradené inými iónmi, katiónmi alebo iónmi podobého iónového polomeru. Obsadenie intersticiálnych miest inými iónmi, alebo náhrada iónov na pravidelných miestach kryštálovej mriežky, vedie k bodovým poruchám kryštálovej mriežky. Defekty v keramických materiáloch významne ovplyvňujú technologické vlastnosti keramických materiálov, hlavne ich chovanie pri spekaní, aj materiálové vlastnosti, ako je tepelná a elektrická vodivosť, optické vlastnosti a chemické vlastnosti. [1]

2.3 Použitie konštrukčných keramických materiálov

Popri výrobe a použití keramických materiálov založených prevažne na použití prírodných surovín si vynútila technická prax výskum, vývoj, výrobu a použitie materiálov založených na východiskových látkach produkovaných vo forme veľkotonážnych výrob, alebo látkach pripravovaných len pre keramické účely s predpísanými vlastnosťami s ohľadom na zvláštnosti keramickej technológie.

Keramické materiály zaisťujú najmä tieto funkcie:

- elektrické
- magnetické
- optické
- chemické
- tepelné
- mechanické
- biologické
- nukleárne

Konštrukčné progresívne keramické materiály môžeme podľa použitia rozdeliť do týchto skupín:

- oteruvzdorné súčasti
- rezné nástroje
- ložiská
- biokeramika
- elektrochemické zariadenia
- tepelné stroje
- povlaky
- vojenské a kozmické aplikácie

Oteruvzdorné súčasti

Prednosťou keramických materiálov v porovnaní s kovmi alebo s polymérmi je vysoká tvrdosť, chemická odolnosť, schopnosť opracovania na veľmi jemný povrch s vysokými toleranciami, udržiavanie pevnosti v širokom rozsahu teplôt a nízke náklady. Najbežnejšími materiálmi pre oteruvzdorné aplikácie je oxid hlinitý, nitrid kremíka, čiastočne stabilizovaný oxid zirkoničitý, tetragonálny oxid zirkoničitý, karbid kremíka, zhúževnatý oxid hlinitý, karbid bóru a nitrid bóru. Tieto materiály majú popri už citovaných vlastnostiach dostatočnú

húževnatosť a koróznou odolnosť. Medzi abrazivzdorné súčasti patria mlecie telesá pre guľové mlyny, tvárniace a vytlačovacie nástroje pre tvárnenie a vytlačovanie kovov ako je meď, hliník, bronz alebo oceľ. Tieto nástroje musia mať dostatočnú lomovú húževnatosť. Jedným z najlepších materiálov pre tieto aplikácie je čiastočne stabilizovaný oxid zirkoničitý. Keramické výstelky spaľovacích motorov sa najčastejšie vyrábajú z materiálov na báze oxidu zirkoničitého alebo nitridu kremíka. Tiež časti vysokotlakových čerpadiel korózných suspenzií sa tiež vyrábajú z uvedených materiálov rovnako ako ventily a ventilové sedlá pre tieto typy čerpadiel. Keramické tesnenia sú ďalšou priemyslovou aplikáciou, ktorá vyžaduje tvrdosť, vysokú abrazivzdornosť a rezistenciu voči korózii pri vyšších teplotách. Rovnako tieto časti sú najčastejšie vyrábané z uvedených keramických materiálov.

Keramické brúsne materiály

Vysoká tvrdosť niektorých keramických materiálov ich predurčuje ako brusné materiály pre rezanie, brúsenie a leštenie iných materiálov s nižšou tvrdosťou. Tavený oxid hlinitý a karbid kremíka sú dva najčastejšie používané brúsne materiály. Iným dôležitým keramickým brusivom je kubický nitrid bóru nazývaný borazon. Tento materiál je tvrdý ako diamant, ale má lepšiu tepelnú stabilitu.

Rezné nástroje

V porovnaní so spekanými karbidmi si keramické materiály uchovávajú tvrdosť a pevnosť aj pri teplotách nad 600°C. Majú dlhšiu životnosť a odolnosť voči vysoko teplotným deformáciami. Môžu slúžiť aj pri vysoko teplotných podmienkach, ktoré panujú pri veľmi výkonnom vysokorýchlostnom obrábaní. Pre výrobu rezných nástrojov sa používa keramika na báze oxidu hlinitého, keramická zmes na báze oxidu hlinitého a karbidu titánu, keramika na báze oxidu hlinitého spevnená whiskermi karbidu kremíka, keramika na báze nitridu kremíka a v poslednej dobe sa začínajú aplikovať aj keramiky na báze karbidu kremíka a zhúževnatého oxidu hlinitého.

Ložiská

Keramické materiály sú odolné voči únave, korózii, vysokej teplote a strate mazacích vlastností lepšie ako kovy. Preto sú atraktívnym materiálom pre výrobu guľových aj valčekových ložísk. Vysoká tvrdosť a vynikajúce vysoko teplotné vlastnosti keramiky sú dôležité pri konštrukcii nových typov motorov s vysokou tepelnou účinnosťou. Nízka hustota keramiky má za následok nižšie odstredivé zaťaženie, nižšie prešmykovanie pri vyšších rýchlostiach

a z toho vyplývajúcu vyššiu životnosť keramických komponentov v porovnaní s oceľou, superliatinami alebo cermetmi. Predovšetkým nitrid kremíka má širokú použiteľnosť v guľičkových ložiskách, pretože má malý trecí koeficient, vysokú odolnosť voči oderu, vysokú pevnosť v tlaku a extrémne dlhú životnosť. Avšak aj ďalšie keramiky ako je oxid hlinitý a karbid kremíka sa používajú na výrobu guľičkových ložísk.

Biokeramické materiály

Biokeramika alebo keramiky pre lekárske aplikácie ako sú dentálne alebo ortopedické implantáty môžeme rozdeliť do troch kategórií – na inertné, bioaktívne a resorbovateľné keramické materiály.

Elektrochemické zariadenia

Keramika pre elektrochemické zariadenia musí mať nie len vhodné elektrické vlastnosti, ale súčasne aj vyhovujúce mechanické vlastnosti. Keramiky na báze oxidu zirkoničitého alebo β -oxidu hlinitého slúžia ako vysoko tepelné supraiónové vodiče. Tie sa používajú v palivových článkoch, batériách, tepelných strojoch, elektródach alebo senzoroch kyslíka.

Tepelné výmenníky

Na výrobu tepelných výmenníkov a rekuperátorov sa začína používať predovšetkým karbid kremíka. Ten má vysokú teplotnú odolnosť, vynikajúcu tepelnú vodivosť, odolnosť voči korózii a dobrú odolnosť voči teplotným rázom. Ďalším kandidátom na tieto aplikácie je nitrid kremíka.

Povlaky

Keramické povlaky zvyšujú odolnosť materiálu proti abrazii, zlepšujú jeho tepelnú a chemickú odolnosť a zvyšujú vysokoteplotné mazacie vlastnosti. Aplikácie zahŕňujú ultratvrde povlaky pre rezné nástroje, tepelné izolácie, samomazacie povlaky pre vznetové motory a plynové turbíny. Povlaky bioaktívnych skiel a sklokeramik sa používajú na výrobu ortopedických implantátov.

Tepelné stroje

Keramické materiály ako je nitrid a karbid kremíka, sa používajú v troch oblastiach – ako diskrétné súčiastky turbokompresorov, ako povlaky alebo monolitické komponenty hlavne pre vznetové motory a ako materiál pre výrobu celo keramických plynových turbín.

Vojenské a kozmické aplikácie

Keramické progresívne materiály patria medzi najdôležitejšie materiály pre výrobu vojenských a kozmických zariadení ako sú raketové trysky alebo súčasti spaľovacích motorov. Prekvapujúce je použitie keramických materiálov ako je oxid hlinitý, karbid bóru, karbid kremíka alebo bórid titánu na pancierovaní vojenských strojov, hlavne lietadiel a helikoptér. Zistilo sa, že dosky z krehkého keramického materiálu uchytené na pružnom podklade majú rovnaké vlastnosti ako kovové pancierovanie, ale súčasne podstatne nižšiu hmotnosť. [1]

Typickou mechanickou vlastnosťou keramiky je krehkosť – keramika nie je schopná plastickej deformácie a porušuje sa krehkým lomom (malá absorpcia energie a nestabilný krehký štiepený lom). Chýbajú jej teda vlastnosti typické pre kovy, ako tvárnosť a húževnatosť. [6]

2.4 Východzie materiály pre keramiku

Keramické materiály stále častejšie používané v technických aplikáciách môžeme rozdeliť do jednotlivých skupín podľa rôznych hľadísk, najčastejšie sa používa rozdelenie podľa chemického zloženia:

- oxidové
- neoxidové
- zmiešané
- kompozitné

2.4.1 Oxidová keramika

Týmto pojmom sa označujú materiály tvorené úplne alebo prevažne jedným oxidom. Pri výpale nedochádza k chemickej premene základnej zložky, aspoň nie v podstatnej miere. Práškový základný materiál sa len prevádza spekaním na hutný jemnozrnný polykryštalický materiál s vysokou pevnosťou. Niekedy sa spekaniu napomáha prídavkom malého množstva ďalších látok, hlavnou fázou produktu však zostáva príslušný oxid: Al_2O_3 (vo forme α , zvané korund), BeO , MgO , ZrO_2 , ThO_2 , UO_2 a iné. Príčinou značného rozšírenia týchto materiálov v poslednej dobe je mimo výhodnej vlastnosti aj tá okolnosť, že jednoduchosť zloženia a použitie syntetických surovín umožňuje lepšiu kontrolu aj ovládanie výrobného procesu, takže pri výrobku sa znižuje kolísanie vlastností na minimum. Mechanické vlastnosti polykryštalických oxidov (oxidovej keramiky) silne závisia na čistote, pórovitosti a štruktúre. Najvyšších pevností sa dosahuje pri spekaní Al_2O_3 , nasleduje BeO a stabilizovaný ZrO_2 .

Spekaný korund

Spekaný korund je najviac rozšírený ako konštrukčný materiál pre techniku vysokých teplôt (trubice, tégliky, pyrometrické trubice ai.) a ako izolátory zapaľovacích sviečok.

V prvom prípade sa používa vysoká žiaruvzdornosť a dobré mechanické vlastnosti aj pri vysokých teplotách, v druhom výhodné elektrické a mechanické vlastnosti, dobrá tepelná vodivosť a odolnosť voči zlúčeninám olova, ktoré sa pridávajú do benzínu ako antidetonačné prostriedky. Ďalej sa zo spekaného korundu zhotovujú taviace tégliky na korozívne taveniny, rezné plátky na obrábanie kovov, prievlaky a vodiče textilných strojov ai. Spekaný korund má vysokú pevnosť a tvrdosť, elektrickú izolačnosť, žiaruvzdornosť, vysokú tepelnú odol-

nost', pomerne veľkú tepelnú vodivosť a odolnosť voči plynom (okrem fluóru), kvapalinám a taveninám.

Rozlišujeme dva typy spekaného korundu:

- čistý spekaný korund, kde obsah nečistôt je najviac v desatinách percent a u ktorého sa dosahuje hraničných vlastností
- spekaný korund, obsahujúci prísady, ktoré majú uľahčiť spekanie. Je ich niekoľko percent, priemerne 5 %.

Pri tvarovaní je nutné počítať s úplným nedostatkom plasticosti. Pre lisovanie a ťahanie sa používajú organické plastifikátory a spojivá. Možné je aj liatie suspenzií do sadrových foriem, obvykle v kyslom prostredí. Často sa používa metóda hydrostatického (izostatického) lisovania. Výrobky sa vypaľujú najčastejšie v tunelových peciach vyhrievaných kvapalnými palivami pri teplotách 1600 až 1800 °C.

2.4.2 Neoxidová keramika

Vývoj tejto skupiny bol vyvolaný potrebou dosiahnuť extrémne vysokých teplôt a neobvyklých kombinácií vlastností, hlavne pre jadrovú a raketovú techniku. Uvedené zlúčeniny majú popri oxidoch najvyššie teploty topenia zo známych látok. Od oxidov sa líšia už svojou chemickou povahou, kým u oxidov prevažuje iónová väzba a štruktúrnú mriežku tvoria veľké kyslíkové ióny, s kationmi umiestnenými v medzerách medzi nimi, u uvedených nekyslíkatých zlúčenín prevažuje kovalentná väzba (SiC, BN,...) alebo kovová (TiC, UC, WC, TaC, TiN). Pre prvú skupinu je charakteristický pomerne vysoký elektrický odpor a polovodičové chovanie. Druhá skupina sa vyznačuje vlastnosťami podobnými kovom.

Z technického hľadiska je významné, že k spekaniu týchto látok sú potrebné veľmi vysoké teploty v atmosfére bez kyslíka. Niektoré z uvedených zlúčenín len vystavením vysokým teplotám sa nespekajú v obvyklom zmysle, tj. nezhuťujú sa (napr.: SiC, BN). V týchto prípadoch je nutné použiť metódy tlakového spekania, reaktívneho spekania a pod. Pre praktické aplikácie je nutné počítať s pomerne nízkou odolnosťou voči oxidácii, takže za vysokých teplôt je obmedzené na redukčnú, neutrálnu atmosféru alebo vákuum.

Karbidy

Vyznačujú sa najvyššími teplotami topenia zo známych látok (napr.: HfC a TaC asi 3900°C). Ďalšími znakmi sú extrémna tvrdosť, dobrá tepelná a elektrická vodivosť a vysoká stabilita, s výnimkou odolnosti k oxidácii, tá je však u mnohých karbidov vyššia ako u kovov s porovnateľnou teplotou topenia. Najväčší význam majú karbidy kremíka, bóru, prechodných prvkov, vzácnych zemín a aktinoidov.

Výroba karbidových materiálov zahŕňa dve štádiá: prvým je príprava samotnej zlúčeniny (syntézou z prvkov, redukciou oxidov, a i.), druhé zahŕňa tvarovanie prášku keramikými technikami a spevnenie v žiare na kompaktné teleso. Karbidy sú málo náchylné na spekanie, preto sa často používajú techniky tlakového spekania, reaktívneho spekania, spekanie s malým množstvom kvapalnej fázy a konečné vytváranie vrstiev na rôznych substrátoch depozíciou z pár, plazmovým nanášaním a pod.

Karbid kremíka

Je najrozšírenejší z karbidov. Používa sa pre vysokú tvrdosť ako brusivo a to buď v podobe prášku alebo nástrojov viazaných anorganickým spojivom. K menej náročným žiaruvzdorným účelom sa používa SiC viazaný ílmi alebo oxidmi. Ďalšou aplikáciou sú elektrické vyhrevné články.

Karbid kremíka sa vyrába redukciou SiO_2 uhlíkom v elektrických peciach pri teplote okolo 2 200 °C

Karbid bóru B_4C

Je ďalším významným karbidom s teplotou topenia 2 350°C, pre vysokú tvrdosť sa uplatňuje v zariadeniach s vysokou odolnosťou proti abrazii, na leštenie tvrdých kovov a pod.. [4]

2.5 Opracovanie keramických materiálov

2.5.1 Brúsenie keramických materiálov

Na brúsenie keramických materiálov sa najviac používajú diamantové kotúče a proces prebieha podobne ako pri brúsení kovov. Rovnako ako u kovov je nutné pri brúsení keramických materiálov vychádzať z vlastností týchto materiálov a z mechanizmu pôsobenia nástroja na tento materiál.

Pri keramických materiáloch je nutné počítať s tým, že ide o krehké materiály, ktoré sú veľmi citlivé na defekty v štruktúre. Pri týchto materiáloch dochádza pri zaťažení k pohybu dizlokácií, pretože obsahujú množstvo prekážok, ktoré bránia v ich pohybe. Týmito prekážkami sú póry a mikrotrhlíny, ktoré keramické materiály obsahujú už po výrobe. V miestach defektov vznikajú mikronapätia, ktoré sú veľmi vysoké aj keď nominálne napätia vztiahnuté na prierez telesa sú nízke. Z toho vyplýva, že pevnosť keramického materiálu je určovaná vznikom a šírením mikrotrhlín a rozvojom pórov.

S ohľadom na vlastnosti keramických materiálov je pravdepodobné, že sa nedá očakávať ich tvárne chovanie počas rezania, porovnateľné s chovaním kovov. Keramické materiály sa budú oddeľovať pri brúsení krehkým lomom s minimálnou, alebo žiadnou plastickou deformáciou.

Oddelenie triesky pri brúsení bude prebiehať tak, že zrno brúsiaceho kotúča bude najskôr trieť po obrobku, potom vnikne do povrchu materiálu a v konečnej fáze sa oddelí trieska. [4]

3 PRÍPRAVA ZMESÍ K TVAROVANIU

3.1 Miesenie

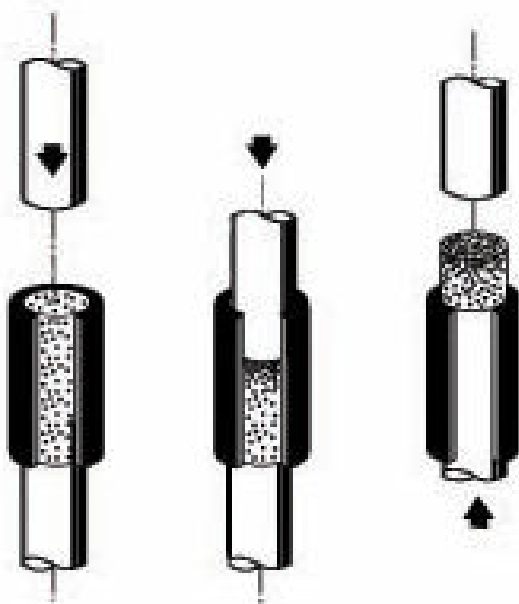
Najbežnejším spôsobom prípravy keramických zmesí je miesenie, prípadne miesenie za súčasného mletia, v rotujúcich bubnoch s mlecími telesami z materiálu, ktorý nespôsobí škodlivú kontamináciu pripravovanej zmesi. Ak suroviny boli dodané už v mletom stave, je účelom tejto operácie rozpojenie zhlukov (napr. ílových surovín, Al_2O_3) a dôkladné premiešanie. Miesenie je najúčinnnejšie vo vodnej suspenzii, avšak v niektorých prípadoch sa vykonáva aj v suchom stave, takže odpadá proces odstraňovania vody po tvarovaní lisovaním. Suspenzia prechádza sitom a magnetickým separátorom, aby sa odstránili úlomky, ktoré sa pri transporte a mletí môžu dostať do zmesi.

Plastické telesá sa pripravujú použitím tzv. rozprašovacích sušiarňí, v ktorých sa suspenzia zbavuje vody a súčasne granuluje na veľkosť častíc rádu desiatín milimetrov. Obsah vody v granulách a ich rozmer sa dá regulovať. Suspenzia sa rozprašuje do prúdu horúceho vzduchu, kvapky suspenzie sa vo vztlaku vysušia do požadovanej vlhkosti a granulovaný produkt sa usadzuje na dne nádoby, odkiaľ sa kontinuálne odoberá. [2]

3.2 Lisovanie

3.2.1 Jednostranné lisovanie

Jednoduchý nástroj pre jednostranné lisovanie sa skladá z matrice (lisovnice – plášť'a), horného razníka (lisovníka) a podložky alebo dna. Po vylisovaní sa miesto podložky vloží pod plášť krúžok, do ktorého sa výlisok vytlačí lisovníkom.



Obr. 3. Jednostranné lisovanie

Lisuje sa stálym maximálnym tlakom, alebo na stálu výšku výlisiku.

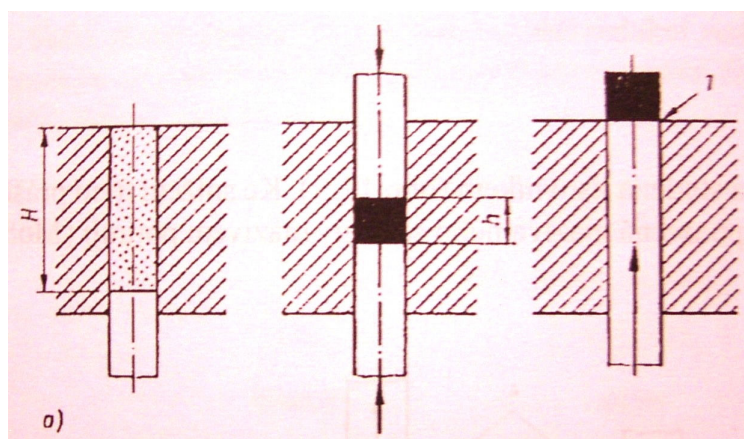
Stálym maximálnym tlakom sa lisuje na hydraulických lisoch s nastaviteľným tlakom. Docieluje sa konštantné zhutnenie výlisiku aj pri určitom kolísaní objemu zásypu. Výška výlisiku môže kolísať. Hodí sa na predlisky, ktoré sa pred vypálením ešte obrábajú, zmrštenie vypálením je konštantné a rozmery stále.

Na stálu výšku sa lisuje mechanickými lismi s konštantným zdvihom. Lisovník vstupuje do matrice stále rovnako hlboko, tlak je závislý na objeme zásypu. Hutnosť výlisiku kolísajú podľa zásypu, ale výška je stála. Je nutné prísne dodržiavať množstvo zásypu a jeho vlastnosti (vlhkosť, objemovú hmotnosť), aby výpalky mali rovnaké zmrštenie a súčasne rovnaké rozmery. [3]

3.2.2 Dvojstranné lisovanie

Pri rovnakosmernom lisovaní je nutné vykonať lisovanie z dvoch strán. Dvojstranné lisovanie môže byť simultánne, následné, alebo s odpruženou maticou.

Lisovanie simultánne je pravé dvojstranné lisovanie, tj. Pôsobí rovnakou silou v rovnakej dobe, rovnakou rýchlosťou z oboch strán. Je možné len na špeciálnych lisoch. Na bežných lisoch nie je možné, lebo lisovacím tlakom pôsobí obvykle len horný baran lisu, dolný baran lisu – vynášač slúži len k vytlačeniu výlisku, pracuje s podstatne menším tlakom.

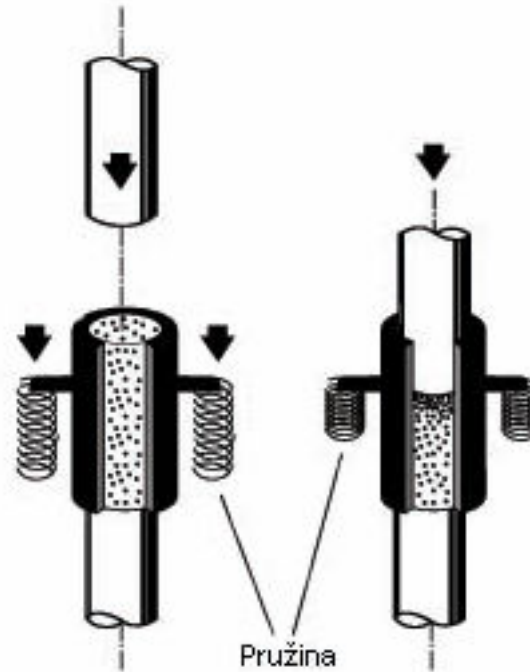


Obr. 4. pevná lisovnica, pohyblivý horný a dolný lisovník

Následne dvojstranné lisovanie – nesimultánne, lisuje sa najprv z jednej strany, potom z druhej za použitia posuvného plášt'a a dorazových skrutiek, po stranách horného lisu, sú nastaviteľné a po zlisovaní zhora dosadnú na maticu, tá sa potom s horným razníkom tlačí dolu proti dolnému pevnému razníku, ktorý vstupuje do matrice a pôsobí tak lisovanie zdola.

Lisovanie s odpruženou maticou, matrica môže byť odpružená predpätými pružinami, alebo hydraulikou. Zásyp do matrice sa najskôr zlisováva horným lisovníkom ako pri jednostrannom lisovaní. Po dosiahnutí určitého tlaku – zhutnenia sa začne pohybovať spolu s horným lisovníkom aj matrica proti dolnému lisovníku, takže sa na ňu nasúva a prebieha lisovanie zdola a to tak dlho, až trením materiálu v dolnej časti matrice spolu s tlakom pružiny prekročí trenie materiálu v hornej časti matrice, kedy nastáva opäť lisovanie zhora. Proces strieda-

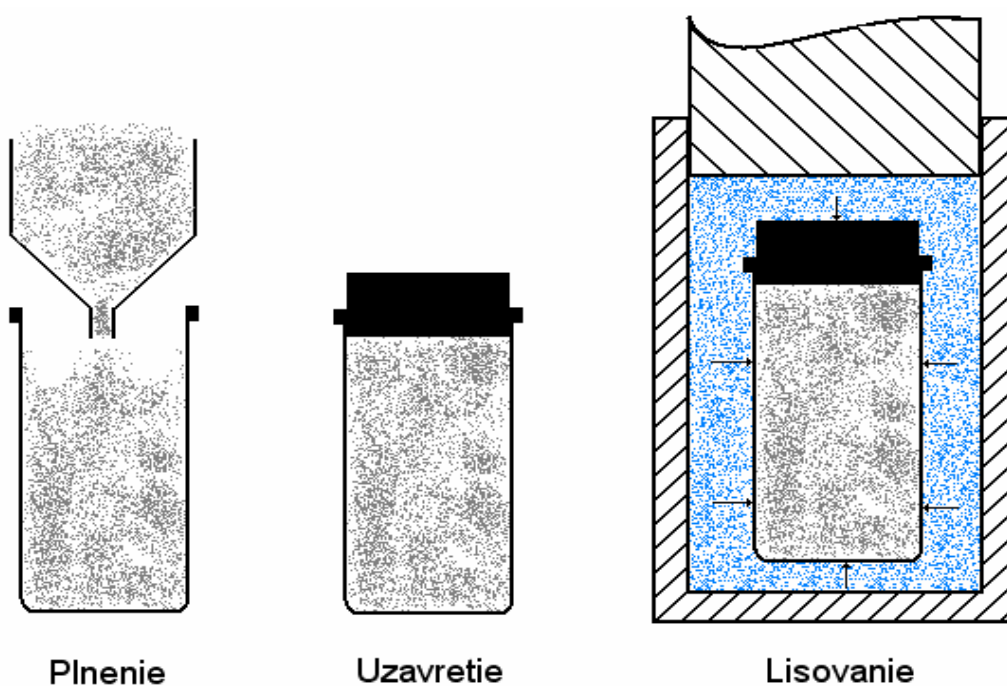
nia lisovacieho smeru sa opakuje. Prelisovanie pri tomto spôsobe je menej dokonalé ako pri simultánnom lisovaní z oboch smerov, ale podstatne lepšie ako pri jednoduchom, jednostrannom lisovaní. [3]



*Obr. 5. Jednostranné lisovanie
s odpruženou maticou*

3.2.3 Izostatické lisovanie

Izostatické lisovanie je spôsob tvarovania, pri ktorom sa k prenosu tlaku používa kvapalina (hydrostatické lisovanie) eventuálne plyn, takže tlak pôsobí všade rovnomerne (izostatický) všetkými smermi. K tvarovaniu sa používajú lisovacie granuláty známe pre suché (do 5% vlhkosti), ale aj pre vlhké lisovanie (s vlhkosťou aj 10%). V keramike sa začal tento spôsob lisovania používať v 60-70 rokoch, kedy sa väčšou mierou začali spracovávať neplastické suroviny (oxidy, karbidy, nitridy). Veľkosť častíc pre neplastické zmesi má byť pod $20\mu\text{m}$, pri plastických zmesiach môže byť väčšia.



Obr. 6 Princíp izostatického lisovania

Výhody izostatického lisovania:

- je možné získať rovnomerne hutné výlisky pomerne veľkých rozmerov bez ohľadu na pomer h/D a to bez veľkého množstva plastifikátorov
- na dosiahnutie rovnakej objemovej hmotnosti stačí tlak 2-3x menší
- väčšia pevnosť výlisku vplyvom homogénneho prelisovania
- možnosť lisovať tégliky, trubky ai. zložité tvary

Nevýhody:

- náročné plnenie a vyprázdňovanie foriem, doporučuje sa vibrácia a vákuovanie
- nepresnosť rozmerov (tvaru, tupé hrany) vplyvom nerovnomernosti plnenia, polotovary je nutné obrábať (za surova), alebo funkčnú stenu voliť tak, aby bola na tŕni alebo na stene formy
- zdĺhavosť hydraulického procesu, malá výkonnosť

Metódy izostatického lisovania:

- *lisovanie s mokrou matricou* (metóda gumového vaku – autoklávová). Materiál sa uzatvára do gumového obalu – matrice, pričom rozmery a kontúry výlisku môže určovať kovová matrica vložená do materiálu alebo priložená vnútri. Lisovanie prebieha v autokláve obvykle pri tlakoch 100 – 200Mpa. Výlisok je spravidla nutné pred vypálením obrábať. Takto sa lisujú tégliky, trubica raketovej hmoty ai.
- *lisovanie so suchou matricou*, táto metóda je vhodná k automatizovaniu (tzv. izomatické lisovanie). Gumová forma – matrica je pevne spojená s lisovacím nástrojom. Takto sa lisujú napr. taniere. [3]

3.2.4 Vlhké lisovanie

Za vlhké lisovanie sa považuje lisovanie zo zmesi obsahujúcich 15 až 25% vody alebo vlhčiv tj. vody a tekutých prísad napr.: lisovacieho oleja, plastifikátorov a separátorov tlakom 1-20 MPa. Vykonáva sa v jemnej keramike zvlášť v elektrokeramike pri príprave členitých tvarov, tak aj v hrubej – stavebnej keramike napr.: pri lisovaní krytiny z tehlárskeho cesta alebo pri výrobe žiaruvzdorných stavebnín.

3.2.5 Prietokové lisovanie

Pri tomto lisovaní sa dávkuje viac materiálu ako je potrebné na výlisok. Lisuje sa v otvorenej matrici, pričom výška výlisoku zodpovedá hĺbke matrice. Lisovník nevstupuje do matrice, ale dosadá v prebytku nakopeného materiálu, zatlačuje ho do všetkých záhybov matrice a prebytok roztlačuje nad matricu do strán prietokovou štrbinou, alebo ju odstrekuje špeciálnymi otvormi. Tlak býva 1 až 15 MPa.

3.2.6 Piestové lisovanie

Prevádza sa v uzavretej forme. Materiál sa dávkuje odvažovaním alebo odmeriavaním. Lisovník vstupuje do matrice, tlak býva až 20 MPa a je určovaný lisom podobne ako u suchého lisovania. Vytváraná zmes môže byť menej tvárna a možno použiť vyššie tlaky.

3.3 Lisy

Lisy sú zariadenia, ktoré dávajú pôsobením tlaku lisovanej zmesi požadované rozmery a tvary. Spôsob lisovania, metódu i časový režim je nutné voliť podľa mechanických (reologických) vlastností lisovaného materiálu, podľa veľkosti – členitosti výlisoku, podľa požiadavkov na presnosť s prihliadnutím k ekonomike výroby. Dôležitá je nie len konečná výška lisovacieho tlaku, ale aj rýchlosť jeho vzostupu, oneskorenie a výdrž.

Na základe rozdelenia tlaku sa lisy môžu deliť na:

- Lisy s miestnym (stacionárnym) rozdelením tlaku, ako u vytlačovacích lisov (pásmových), ktoré dávajú materiálu iba určitý profil – dva rozmery, tretí určuje odrezanie, slúži prevažne k plastickému vytváraniu
- Lisy s časovým rozdelením tlaku, vzostup tlaku, výdrž sa prevádza na jednom mieste v lisovacom stroji

Tieto lisy sa delia podľa spôsobu získavania tlaku na:

- mechanické – pre rýchly vzostup tlaku nazývané tiež raziace
- hydraulické a pneumatické
- izostatické so všesmerovým pôsobením tlaku prostredníctvom tekutého média.

3.3.1 Mechanické lisy

Mechanické lisy sa obvykle delia podľa základného princípu získavania tlaku na:

- vretenové (skrutkové)
- výstředníkové (excentrové)
- klbové kolenové
- kľukové
- vačkové
- pákové

Na základe niektorých charakteristických konštrukcií sa ustálili názvy ako:

- lisy frikčné, trecie – s trecím prevodom, s vretenovým princípom
- lisy sánkové – s horizontálnym priamočiarym pohybom nástroja, s klinovým princípom
- lisy s otočným stolom (otočné), spravidla s klinovým, alebo vačkovým princípom
- rotačné – s plynulým otáčaním vodorovného pracovného stola
- revolverové alebo karuselové
- lisy kombinované – spájajúce niekoľko mechanizmov
- prelisy – slúžia na prelisovanie polotovarov z pásmového lisu [3]

3.4 Tvarovanie

Spôsoby tvarovania je možné rozdeliť jednak podľa povahy tvarovanej hmoty (tekutá suspenzia, plastické teleso, prášková zmes), jednak podľa povahy vonkajších tvarovacích síl.

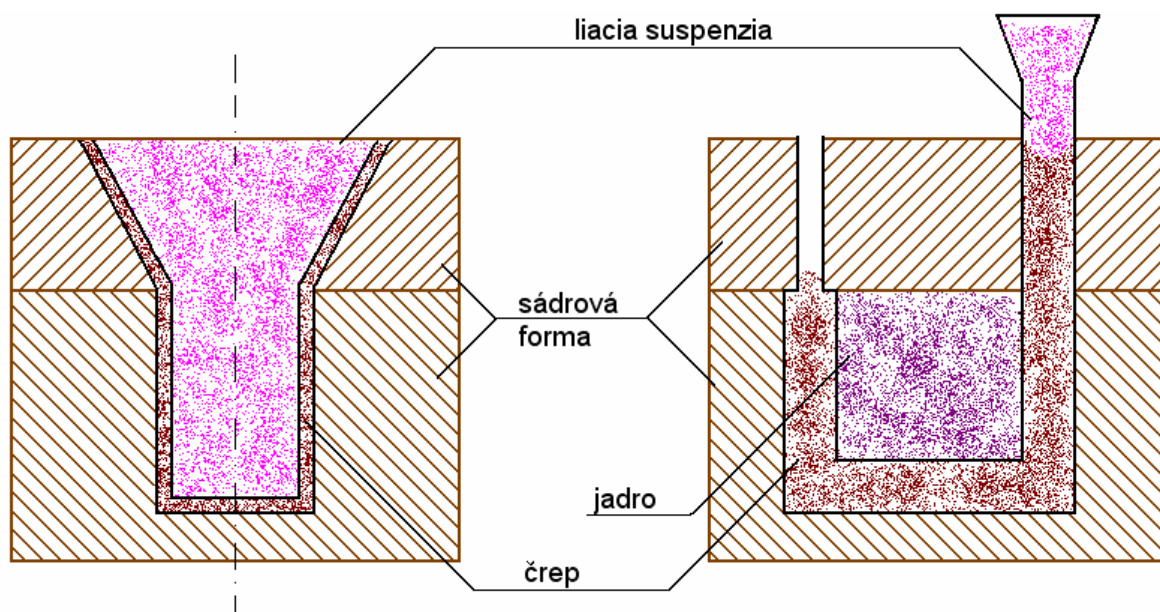
3.4.1 Liatie tekutých suspenzií

Liatie suspenzií do sadrových foriem je jednou z tradičných keramických tvarovacích techník, ktorá sa používa hlavne pre nesymetrické a komplikované tenkostenné tvary.

Po naliati suspenzie do formy vzniká na styku so sadrou spevnená šupka, lebo sadra odsáva zo zmesi vodu. Po určitej dobe sa zbytok suspenzie vyleje. Šupka zostáva prilepená na stene a po čiastočnom zmrštení sa dá z formy vybrať. Inokedy sa necháva odsávanie vody formou tak dlho, až sa vytvorí masívny tvar v celom priestore formy.

Liacia suspenzia sa musí deflokulovať (peptizovať). Tým sa dosiahne:

- vhodná tuhosť pri minimálnom obsahu vody
- stabilná suspenzia bez zreteľnej sedimentácie vo forme
- Vznik spevnenej vrstvy na rozhraní



Obr. 7. Schéma liatia do sadrových foriem

Tvarovanie liatím sa používa tiež pri plastických látkach (oxidoch, karbidoch, a pod.). V týchto prípadoch sú vhodné skôr zmesi jemnozrnné (pod $10\mu\text{m}$) a polydisperzné.

Najvýhodnejším materiálom pre liacie formy zostáva stále sadra, pretože je pomerne lacná a formy sa ľahko obrábajú, dá sa tiež dobre regulovať ich sacia schopnosť. Nevýhodou je obmedzená životnosť.

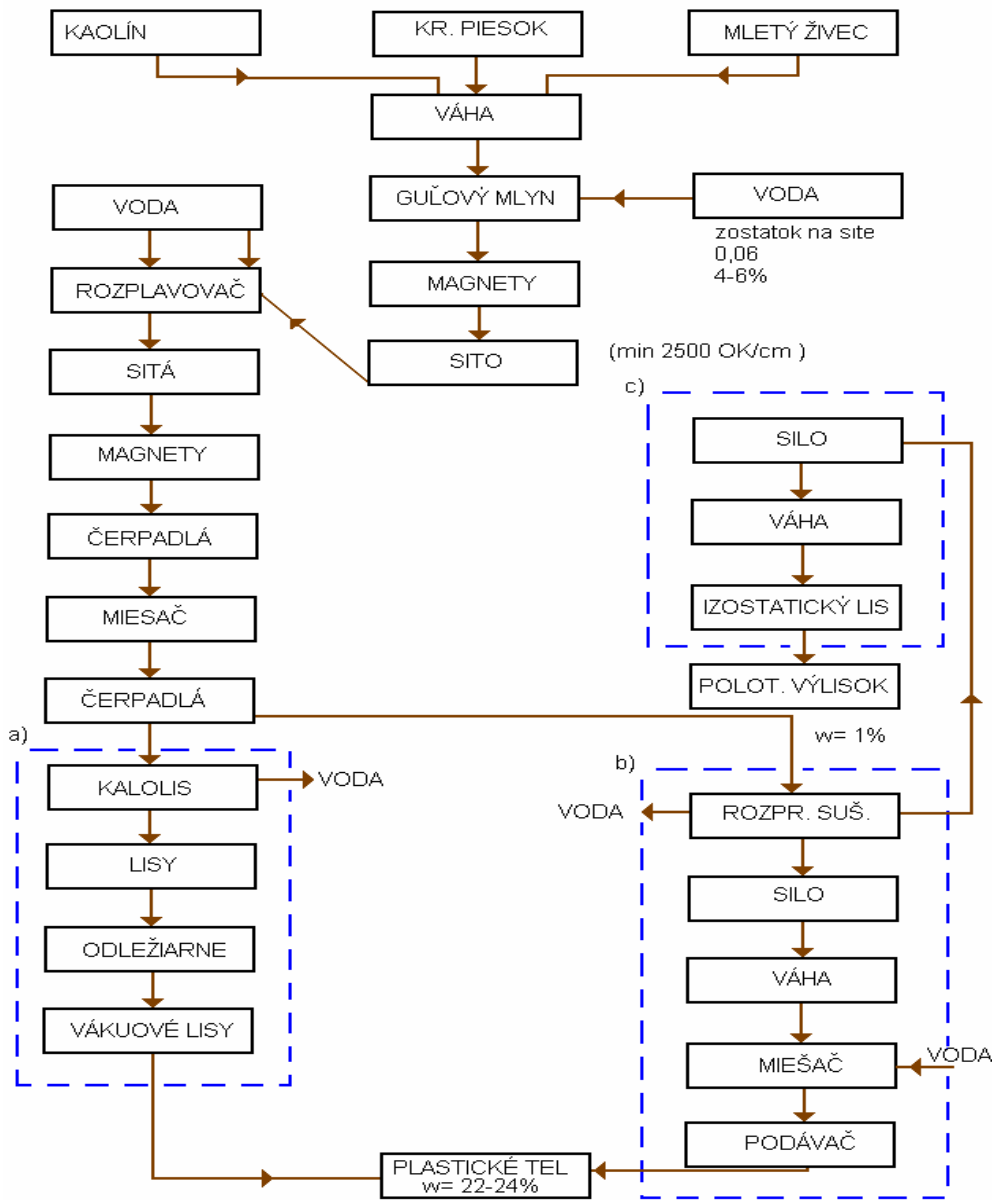
Špeciálnou technikou je tlakové liatie. Voda sa zo suspenzie nasáva do pórov sadrovej formy tlakom pôsobiacim na suspenziu v zásobníku. Veľmi podstatne sa tým urýchli tvorba čreпов a zníži sa zmrštenie sušením. [2]

3.4.2 Tvarovanie plastického telesa

Plastické teleso sa obvykle homogenizuje, prípadne aj odvzdušňuje na pásovom lise, z ktorého môže vychádzať už v konečnom stave, resp. ako nepretržitý pás, z ktorého sa konečný tvar odrezáva. Tento spôsob tvarovania sa nazýva ťahanie a používa sa napr.: k výrobe tehál, trubíc, tyčí a to ako pre zmesi na báze ílových surovín, tak aj pre zmesi neplastické (technická keramika). Prvé obsahujú z pravidla 15-25% vody, druhé musia byť plastifikované organickými látkami.

Plastické teleso je dávkované do komory, odkiaľ je po premiešaní vtláčané závitnicou do otvoru v doske. Cesto sa tak rozdelí na malé kúsky, z ktorých sa v komore odstráni vákuom vzduch. Ďalšou závitnicou sa kúsky znova spoja a premiešajú. Cesto je potom vytlačané oceľovým ústím, ktoré je profilované podľa tvaru žiadaného výrobku. Pre menšie výrobky sa používajú tiež piestové lisy. Niekedy sa ťahaním a odrezávaním vyrobí iba predbežný tvar, ten sa potom dolisuje do oceľovej formy, aby sa získali rovné a hladké hrany, alebo sa po čiastočnom vysušení obrába postupom podobným sústruženiu (vhodné pre rotačné tvary napr. porcelánové izolátory).

Jedným zo spôsobov ďalšieho spracovania takýchto dávok cesta je lisovanie do sadrových foriem. Sadrová forma je pórovitá, takže umožňuje únik stlačeného vzduchu a zároveň odsáva časť vody zo zmesi. Tento postup sa používa hlavne pre malé jednoduché tvary, pri ktorých vystačíme s malými lisovacími tlakmi. [2]



Obr. 8. Schéma prípravy plastického keramického telesa

3.4.3 Vytlačanie

Ide o významný spôsob tvarovania, požívaný hlavne pri výrobe úžitkového porcelánu. Dávka homogénneho odvzdušneného plastického telesa je umiestnená na otáčavú sadrovú formu, ktorá je príslušne tvarovaná. K forme sa potom priblíži vyhrievaný otáčajúci sa nástroj (odvalovacia hlava), ktorý z dávky telesa vytvorí plochý tvar. Zahrievanie je nutné preto, aby sa na povrchu utvoril film vodnej pary, ktorý má zabrániť lepeniu cesta na nástroj.

3.4.4 Lisovanie práškových zmesí

Tento spôsob je vhodný hlavne pre ploché tvary, u ktorých je pomer výšky k priemeru menší ako 1. V smere lisovacieho tlaku nesmie byť tvar profilovaný, lebo lisovaný materiál pri tvarovaní tlaku nevykazuje podstatný sklon k tečeniu. Výhodou lisovania je rozmerová presnosť výrobku, úspora tepla pri sušení a dobrá možnosť automatizácie. Lisovacie formy sú najčastejšie oceľové, niekedy aj zo špeciálnych zliatin, prípadne častí zo spekaných karbidov, lebo niektoré zmesi majú silný abrazívny účinok. Používajú sa rôzne typy lisov: hydraulické, vretenové, výstredníkové ai.

Zmesi na báze plastických ílov sa lisujú odvlhčené 5 – 12 % vody, tlaky sa pohybujú medzi 20 až 60 MPa. Technická keramika sa lisuje tlakmi ešte vyššími, lebo vyšším zhutnením sa zníži rozmerový rozptyl a uľahčí sa spekanie. K neplastickým zmesiam (k výrobe oxidovej keramiky, titánu ai.) sa pridávajú organické látky, napr. methylcelulóza, polivynil alkohol, dextrin, emulzie voskov a pod., ktoré uľahčujú spekanie a hlavne dodávajú vyššiu pevnosť po vysušení.

Pri lisovaní musí byť vytlačená časť vzduchu, ktorý je uzavretý v póroch voľne sypaného prášku. Čím je zmes jemnejšia a čím rýchlejšie sa aplikuje tlak, tým ťažšie vzduch uniká. Časť vzduchu môže potom v zmesi zostať skomprimovaná. Pri rýchlom uvoľnení tlaku sa poruší výrobok vznikom kolmých trhlín k smeru lisovania. Aby sa tomu predišlo, lisuje sa obvykle na dvakrát: predlisovanie - uvoľnenie tlaku (tzv. odvzdušnenie) a dolisovanie. [2]

4 TEPELNÉ SPRACOVANIE (VYPALOVANIE)

Účinkom vysokej teploty nastane konečná fixácia tvaru hmoty, proces spekania. Obvykle prebieha súčasne aj zhutňovanie alebo až úplná eliminácia pórov.

4.1 Teploty vypaľovania

V praxi sa teploty vypaľovania pohybujú najčastejšie medzi 1000 až 1400 °C. Žiaruvzdorná a špeciálna keramika sa vypaľuje aj pri oveľa vyšších teplotách, napr.: korundová keramika okolo 1700 °C. Celková vypaľovacia doba sú obvykle hodiny až desiatky hodín. Najväčšiu časť tvorí vyhrievanie a postupné chladenie výrobku. Doba výdrže na najvyššej teplote, kedy prebieha spekanie, býva len zlomok celej doby.

V prvom štádiu vypaľovacieho procesu sa výrobky postupne zahrievajú na vypaľovaciu teplotu. Rýchlosť zahrievania nesmie prekročiť bezpečnú medzu, nad ktorou by gradient teploty vo vysušených výrobkoch vyvolal príliš vysoké napätia.

Výdrž na najvyššej teplote je daná kinetikou spekacích procesov.

Rýchlosť ochladzovania je limitovaná vznikom napätí, v tomto prípade na povrchu výrobku. Pevnosť vypáleného materiálu je však už podstatne vyššia ako v prvej etape. Špeciálne ochladzovacie postupy nie sú obvykle potrebné.

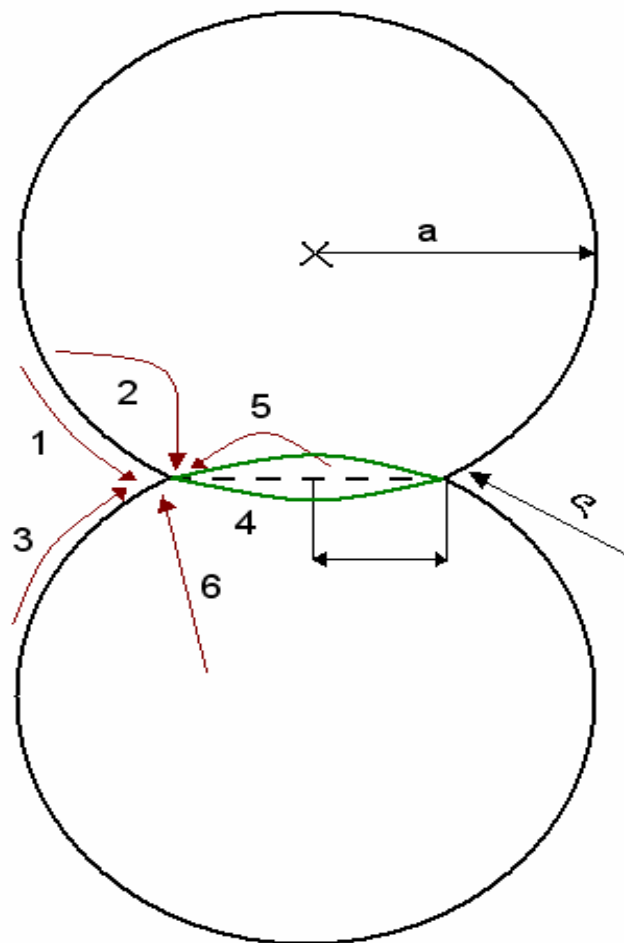
Významnou metódou k urýchleniu spekania a k dosiahnutiu vysokých konečných hustôt je tzv. žiarové lisovanie (tlakové lisovanie), kedy látky spekajú pod vonkajším tlakom, ktorý umožňuje plastickú deformáciu zrn.

Tento spôsob sa používa pri oxidovej keramike ak sa má dosiahnuť extrémnych pevností úplnou elimináciou pórov pri ponechaní jemnozrnnej štruktúry. Pri karbidovej a nitridovej keramike je často tlakové spekanie nevyhnutné.

Teploty pri tlakovom spekaní sú o niekoľko stoviek stupňov nižšie ako pri spekaní pri normálnom tlaku. Táto technika umožňuje získať oxidové materiály (Al_2O_3 , MgO). [2]

4.1.1 Spekanie kryštalických látok

Spekanie súvisí s existenciou zakrivených povrchov spekajúcich častíc. Častice sú najskôr v bodovom kontakte, v ktorom pod vplyvom negatívneho zakrivenia vznikne podtlak, pôsobiaci ako hnacia sila pre zväčšovanie kontaktnej plochy. Zvyšovaním teploty sa vytvorí zrast, tzv. krček, ktorý rastie. Model spekania dvoch gúľ je znázornený na obrázku 9, a predstavuje polomer idealizovanej guľovej častice, ρ znázorňuje polomer vznikajúceho krčku a 1,2,3,4,5,6 sú difúzne mechanizmy rastu krčku.



Obr. 9 Model spekania dvoch gúľ

Nulté štádium

Nulté štádium významne ovplyvňuje vlastnosti výsledného produktu spekania. Pri lisovaní sa vytvára mikroštruktúra budúceho telesa. „Tesnosť“ častíc prášku ovplyvňuje počet vzniknutých kontaktov medzi nimi - koordinačné číslo. Od koordinačného čísla závisí pomer voľnej plochy povrchu častíc, k ploche hraníc medzi časticami. Tento pomer ovplyvňuje podmienky spekania.

Výsledné vlastnosti spekania (pri tých istých podmienkach výpalu) sú predurčené v nultom štádiu spekania.

Počiatkové štádium

V počiatkovom štádiu spekania kryštalických látok sa uplatňuje šesť difúzných mechanizmov:

Mechanizmus	Odkiaľ dif. látka do krčku
1. Povrchová difúzia	povrch častice
2. Objemová difúzia	povrch častice
3. Vyparovanie-kondenzácia	povrch častice
Neprispiievajú k zmršteniu	
4. Hraničná difúzia	hranica medzi časticami
5. Objemová difúzia	hranica medzi časticami
6. Objemová difúzia	dislokácie
Prispievajú k zmršteniu	

Povrchová difúzia

Objem krčku je tvorený látkou difundujúcou do krčku iba z povrchu a nie z hranice medzi časticami.

Difúzia z povrchu je riadená rozdielom chemických potenciálov na konvexnom povrchu častíc a konkávnom povrchu krčku.

Objemová difúzia z povrchu

Difúzia častíc z povrchu cez objem častice, rovnako difúzia vakancií z krčka (koncentrácia vyššia) na povrch.

Vyparovanie - kondenzácia

Transport látky prostredníctvom plynnej fázy.

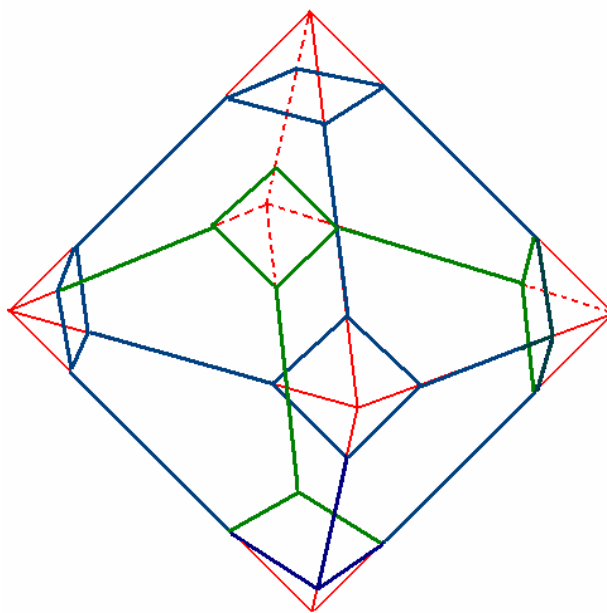
Vyparovanie → difúzia cez plynnú fázu → kondenzácia na povrchu krčku.

Určujúcim faktorom je rýchlosť kondenzácie.

Difúzne procesy, ktoré prispievajú k zmrašteniu vzorky, vychádzajú z princípu zániku vakancií na hranici medzi časticami.

Stredné štádium spekania

Je charakterizované vznikom hraníc zrn a vytvorením spojitaj siete pórov. Parameter „polomer krčku“ sa nahrádza zmraštením resp. pórovitosťou (pórovitosť je pomer objemu pórov k celkovému objemu telesa). V strednom štádiu spekania sa uplatňujú iba mechanizmy prispievajúce k zmrašteniu vzorky (hraničná a objemová difúzia hranice). Pretože hranica medzi časticami je miestom zániku vakancií, stáva sa dôležitý tvar častice, počet kontaktov (hraničných plôch) na jednu časticu.



Obr. 10 Častica štrnásťstenu

V strednom štádiu sa predpokladá spojená sieť pórov (pozdĺž každej hrany štrnásťstena je umiestnený jeden valcový pór, ktorý sa vo vrcholoch spája s ostatnými pórmi a vytvára spojitú sieť pórov v celom telese).

Konečné štádium spekania

Je charakterizované vznikom izolovaných pórov. Póry môžu byť na hraniciach medzi časťami alebo vo vnútri častíc.

Póry môžu znižovať svoj objem až na nulu a spekaním sa môže dosiahnuť teoretická hustota východiskovej látky, pokiaľ póry neobsahujú plyn. Znižovanie sa zastaví na určitej kritickej úrovni, ktorá zodpovedá rovnováhe vnútorného tlaku v póre a povrchového napätia.

Spekanie so súčasnou reakciou (karbidy, nitridy)

Vypaľovanie výlisku z uhlíka v parách kremíka sa získava hutný SiC. Obdobným prípadom je výroba zhutnených nitridových materiálov, kedy príslušný nitrid vzniká v práškovom kovovom výlisku reakciou s dusíkom, vyplňuje póry a tým umožňuje dosiahnutie nízkej pórovitosti. [11]

4.2 Priemyselné pece

Vývoj sa ustálil na štandardných typoch tunelových kontinuálnych pecí. Periodické pece sú vhodné pre menšie prevádzky.

- Periodické pece na výrobu veľkých rozmerov (vysokonapäťové izolátory)
- periodické zvonové pece (vyhrievané plynným, kvapalným palivom, elektrinou)
- etážové pece (porcelán)

tunelové pece:

- teplota sa v jednotlivých pásmach nemení
- výrobky sa nakladajú a vykladajú mimo pece
- hospodárnosť prevádzky [2]

5 SKÚŠANIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KERAMIKY

Jedným zo základných podkladov pre pevnostný výpočet a navrhovanie konštrukčných dielov je súbor napäťových a deformačných materiálových charakteristík, ktoré nazývame mechanické vlastnosti. Umožňujú hodnotenie správania materiálov pri pôsobení vonkajších síl, prípadne aj ďalších vplyvov a voliť pre daný účel materiál s optimálnymi technickými i ekonomickými parametrami.

Výsledky niektorých mechanických skúšok, napr. skúšky ťahom, tlakom sa môžu použiť priamo na výpočty, iné skúšky informujú o vlastnostiach, ktoré sú dôležité pre funkciu výrobku.

Rozdelenie mechanických skúšok:

1. Statické: a.) krátkodobé (napr. skúška ťahom, tlakom),
 b.) dlhodobé (napr. medza tečenia materiálov);
2. Dynamické: a.) krátkodobé (napr. skúška vrubovej húževnatosti),
 b.) dlhodobé (napr. medza únavy) [10]

5.1 Skúška tlakom

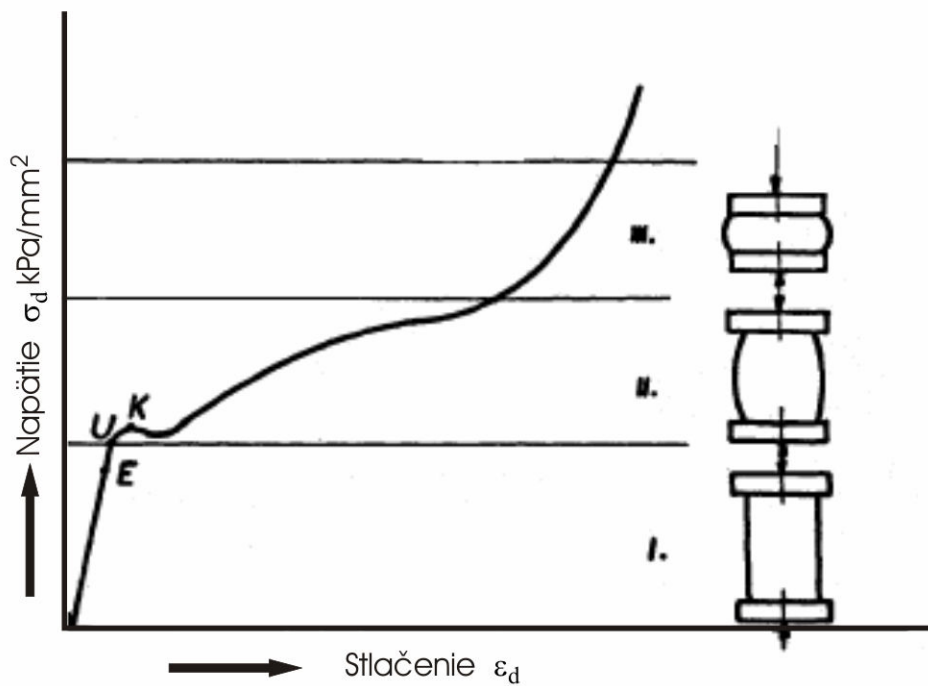
Táto skúška sa používa len pri krehkých materiáloch, ktoré sú namáhané tlakom. Pri húževnatých materiáloch nedochádza pri tlakovom namáhaní k lomu, a preto pre takéto materiály táto skúška nie je normalizovaná. Používa sa vo veľkom rozsahu pri skúšaní stavebných materiálov, keramiky, kameňa, betónu, tehál a pod.. Z kovov sa pevnosť v tlaku určuje napr. pri liatinách alebo kompozíciách.

Pri skúške tlakom podobne ako pri skúške ťahom získavame diagram $\sigma - \varepsilon$ (obr. 11 a 12). Na diagramoch možno určiť podobné medze ako pri skúške ťahom:

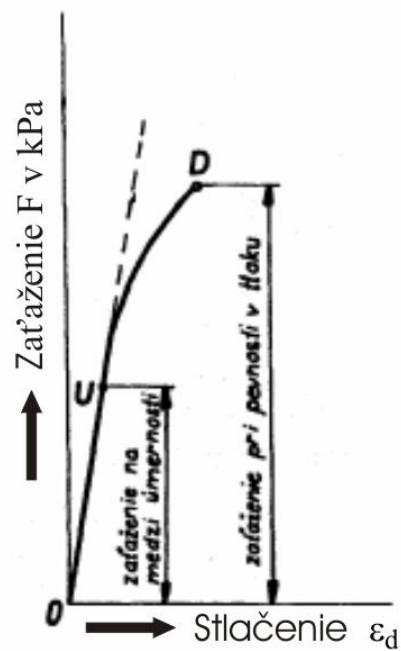
E - medzu pružnosti v tlaku,

U - medzu úmernosti v tlaku,

K - medzu klzu v tlaku.



Obr. 11 Diagram tlakovej skúšky materiálov s veľkou ťažnosťou



Obr. 12 Diagram tlakovej skúšky krehkých materiálov

Prekročením medze klzu nastáva vplyvom spevnenia po plastickej deformácii vzrast odolnosti materiálu proti tlaku, prejavujúci sa na diagrame. Mäkké a tvárne materiály majú spevnenie veľmi malé, a preto je ťažko určiť okamih, v ktorom dochádza k ich porušeniu. Z toho dôvodu sa skúška robí len na napätie málo presahujúce medzu klzu. V prípade, že medza klzu nie je na diagrame výrazná, určuje sa zmluvná medza klzu.

Pri skúšaní krehkého materiálu vzniká lom bez predchádzajúcej plastickej deformácie, a preto sa obyčajne určuje len pevnosť v tlaku.

Výsledkom tlakových skúšok bývajú nasledujúce veličiny:

Napätie na medzi priet'ažnosti

$$\sigma_{Kd} = \frac{F_{Kd}}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

kde F_{Kd} - sila na medzi klzu v tlaku (kp),

S_0 - počiatočný prierez tyče (mm^2)

Napätie na medzi pevnosti - pevnosť materiálu

$$\sigma_{Pd} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

Pomerné stlačenie

$$\sigma_d = \frac{l_0 \cdot l}{l_0} \cdot 100 = \varepsilon_d \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde l_0 je meraná dĺžka skúšobného telesa pred stlačením,

l - meraná dĺžka skúšobného telesa po stlačení.

Pomerné priečne rozšírenie

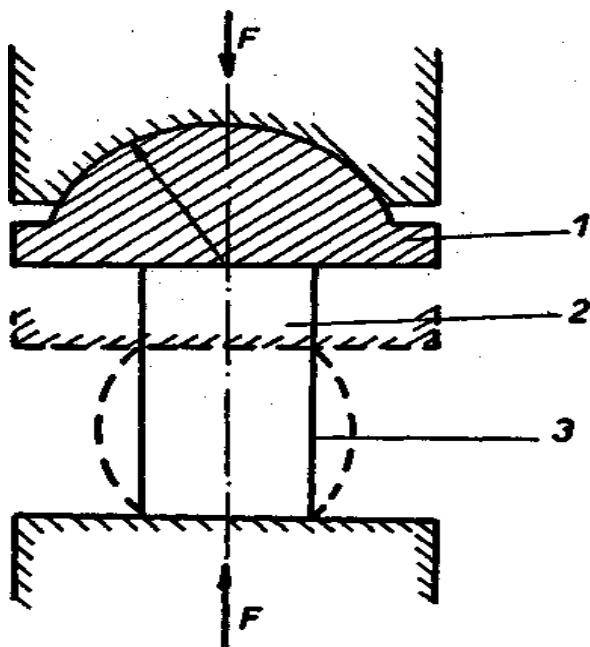
$$\psi = \frac{S_0 \cdot S}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

kde S_0 je pôvodný prierez skúšobného telesa,

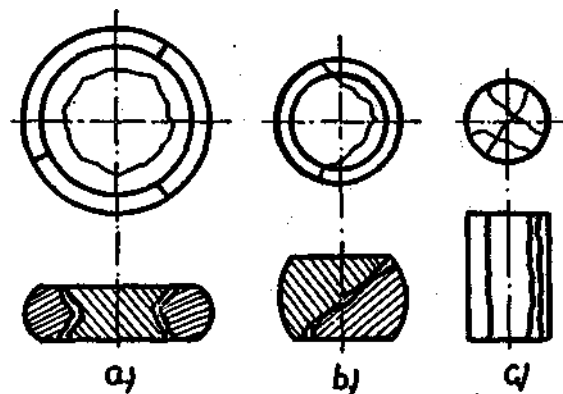
S - prierez skúšobného telesa po skúške.

Pri skúške tlakom sa obyčajne používajú telesá valcovitého tvaru o priemere 10 až 30 mm. Ak nezistujeme presne deformáciu, výška h sa rovná priemeru d_0 . Pri presných meraniach sa výška h volí 2,5 až 3 d_0 . Meraná dĺžka je o niečo kratšia. Aby sme mohli porovnať hodnoty získané pri dvoch skúšobných telesách s rôznymi hodnotami h a d_0 , musia mať rovnaký pomer $h/\sqrt{S_0}$.

Pri skúške je dôležité, aby tlaková sila prechádzala osou skúšobného telesa. Aby bola táto podmienka splnená, prevádza sa tlak zaťažovacieho zariadenia na skúšobné teleso cez skúšobné tlakové podložky. Najmenej jedna z nich býva guľovite uložená.



Obr. 13 Skúška na tlak 1 - guľovitá podložka. 2 - skúšobná tyč pred skúškou, 3 - skúšobná tyč po skúške



Obr. 14 Druhy lomov pri skúške tlakom

Ak nemali na lom pri skúške vplyv povrchové chyby skúšaného materiálu, možno na základe tvaru lomu posúdiť aj húževnatosť materiálu. Lomy húževnatého (a), čiastočne húževnatého (b) a krehkého materiálu (c) schematicky znázorňuje obrázok 14. Deformácia húževnatého materiálu je najväčšia. Krehký materiál sa pri skúške rozdrví bez predchádzajúcej výraznejšej deformácie. [9]

5.2 Príprava skúšobných telies

Pri skúške tlakom sa obyčajne používajú telesá valcovitého tvaru o priemere 10 až 30 mm. Ak nezistujeme presne deformáciu, výška h sa rovná priemeru d_0 . Pri presných meraniach sa výška h volí 2,5 až 3 d_0 . Meraná dĺžka je o niečo kratšia. Aby sme mohli porovnať hodnoty získané pri dvoch skúšobných telesách s rôznymi hodnotami h a d_0 , musia mať rovnaký pomer $h / \sqrt{S_0}$.

Výsledky mechanických skúšok sú závislé nie len na vlastnostiach keramiky, tj. Chemickom zložení, molekulovej hmotnosti a jej distribúcii, obsahu nečistôt, a pod., ale v značnej miere aj na režime spracovania a spôsobe prípravy skúšobných teliesok. [9]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

6 CIEĽ BAKALÁRSKEJ PRÁCE

1. Učenie vplyv technologických podmienok na fyzikálno-mechanické charakteristiky keramiky.
2. Vypracujte výkresovú dokumentáciu pomocných zariadení.
3. Vyhodnoťte výsledky experimentu.

7 LISOVANIE, SPEKANIE A MECHANICKÁ SKÚŠKA TLAKOM

7.1 Hydraulický lis CDC 2-7

Hydraulický lis je stolnej konštrukcie, určený pre rôzne výrobné a montážne práce. Na lisovanie je možné použiť dva spôsoby:

- Lis po dosiahnutí nastaveného tlaku udržiava stále jednu hodnotu
- Po zalisovaní klesne pracovný tlak a čerpadlo pracuje naprázdno.

Lisovacia sila je nastaviteľná plynule v celom rozsahu po maximálnu lisovaciu silu 20 kN. Rozsah pracovného lisovacieho tlaku je 0,8 – 4,9 MPa.

Lis sa ovláda ručnou pákou. [12]



Obr. 15 Hydraulický lis CDC 2-7

7.2 Elektrická pec MIWYcalor K

Elektrická odporová komorová pec MIWYcalor K je určena k výpalu tovaru v oxidačním prostředí s rastom teplôt do T_{\max} .

Tab. 4 Parametre elektrickej komorovej pece MIWYcalor K

Technické údaje	Model V 225
Teplota max. °C	1250
Vnútoraná výška [mm]	300
Šírka [mm]	300
Hĺbka [mm]	300
Užitočný objem [dm ³]	27
Počet vykurovaných stien	2
Inštalovaný príkon [kW]	3
Regulácia teploty	Programovateľný regulátor MIWY TS 1300



Obr. 16 Elektrická odporová pec

MIWYcalor K má tieto hlavné časti:

1. Plášť pece s izolačnou žiaruvzdornou výplňou
2. Elektročasť, postávajúcu z výhrevnej odporovej sekcie, regulácia vrátane riadiaceho mikropočítača MIWY TS 1300

Regulovateľný termostat TS 1300 je určený na meranie teplôt v rozsahu 0-1300 °C a následnú reguláciu el. spotrebiča. Prístrojom je možné realizovať štyri ľubovoľné ohrievacie a ochladzovacie krivky v rozsahu maximálne 8 krokov (úsekov). K termostatu je ako tepelný snímač určený termoelektrický článok typu K (Ni-NiCr). Meranie teploty porovnávacieho konca termočlánku je realizované polovodičovým snímačom.[13]

7.3 Skúšobné zariadenie Zwick 145 665

Univerzálne skúšobné zariadenie Zwick je ovládané pomocou počítača. Výsledky tlakových, ťahových skúšok sú spracované softwarom TestXpert-Universal, version 7.11, dodávaným výrobcom.



Obr. 17 Skúšobné zariadenie

8 PRÍPRAVA SKÚŠOBNÝCH KERAMICKÝCH TELIES PRE TLAKOVÉ SKÚŠKY

Na získanie mechanických vlastností boli vyrobené skúšobné telieska. Telieska boli testované na odolnosť v tlaku použitím univerzálneho meracieho prístroja Zwick typu 145 665.

Skúšobné telieska boli jednostranne lisované piatimi rôznymi tlakmi pomocou lisovacieho prípravku (výkresová dokumentácia) a vypaľované pri štyroch rôznych teplotách.

Použité zariadenia a pomôcky:

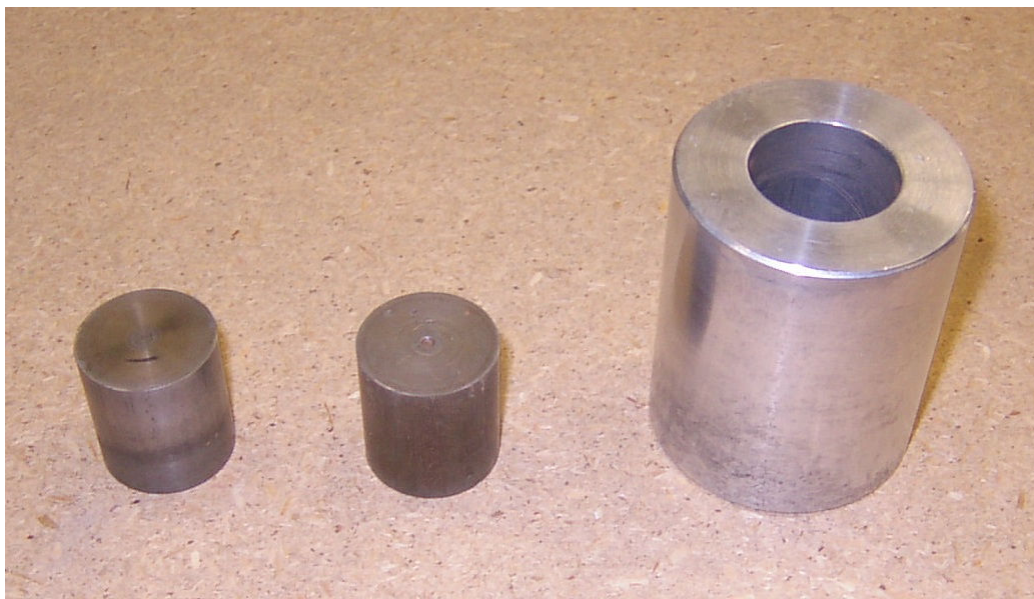
- Hydraulický lis
- Lisovací prípravok
- Elektrická odporová pec MIWYcalor K
- Posuvné meradlo Somet
- Skúšobný zariadenie Zwick
- Software testXpert V7.11

8.1 Lisovací prípravok pre skúšobné telieska

Na výrobu skúšobných teliesok bol použitý lisovací prípravok. Prípravok slúži na výrobu skúšobných valčekov s priemerom 19mm.

Skladá sa z duralového valca s vyvrtaným otvorom potrebného priemeru skúšobného telieska a dvoch oceľových valčekov.

Jednostranné lisovanie prebieha v lisovacej vložke medzi oceľovými valčekmi stláčanými hydraulickým lisom.



Obr. 18 Lisovací přípravok



Obr. 19 Skúšobné teliesko

8.2 Použitý materiál

Skúšobné telieska boli vyrobené z keramickej točirskej hlíny MA (svetlo krémová), s vypaľovacou teplotou 1180-1250 °C.

8.3 Lisovacie tlaky

Na zistenie závislosti vplyvu lisovacieho tlaku na pevnosť skúšobného telieska bolo zvolených päť tlakov lisovania.

Tab. 5 Lisovacie tlaky

	Lisovacie tlaky [MPa]
p_0	0
p_1	1,2
p_2	2,2
p_3	3,2
p_4	4,6

8.4 Vypaľovacie teploty

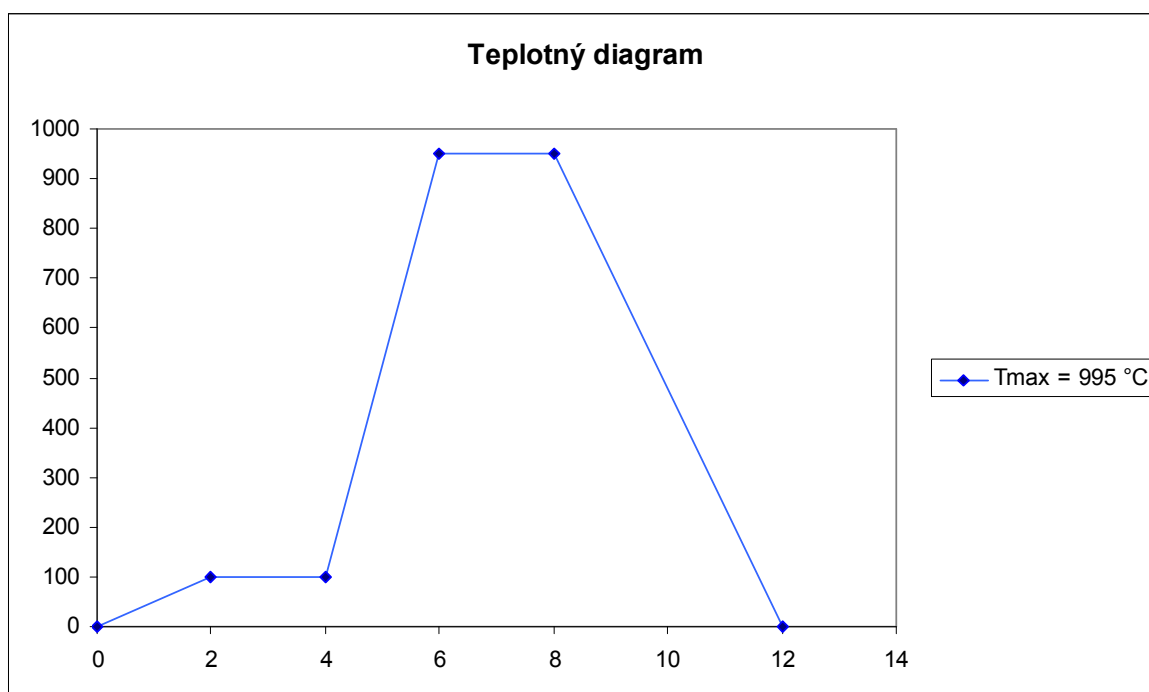
Na určenie závislosti vplyvu vypaľovacej teploty na pevnosť skúšobného telieska boli zvolené štyri teploty vypaľovania.

Tab. 6 Teploty vypaľovania

	Vypaľovacie teploty [°C]
T_0	950
T_1	1150
T_2	1200
T_3	1250

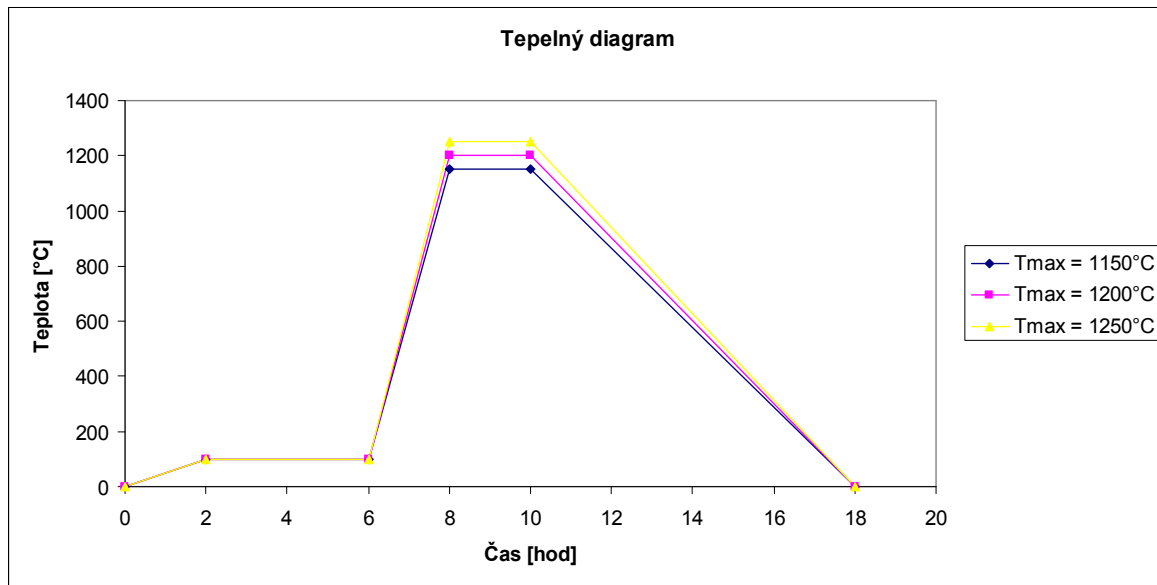
8.4.1 Teplotný diagram vypaľovania

Teplota vypaľovania 995°C



Obr. 20 Teplotný diagram pre teplotu vypaľovania T_0 995°C

Pri teplote vypaľovania 995°C bola zvolená 2 hodinová nábehová doba na teplotu 100°C ako aj výdrž na tejto teplote. Táto doba sa ukázala ako nepostačujúca na odparenie zvyškovej vody z hlíny, dôsledkom čoho bolo popraskanie časti vsádzky skúšobných teliesok. Pre nasledujúce teploty sa použil cyklus uvedený na obrázku 19.



Obr. 21 Tepelný diagram pre teplotu vypaľovania T_{1-3}

Po upravení nábehu a výdrže na teplote 100 °C na 4 hodiny došlo k odpareniu zvyškovej vody a nepopraskaniu vzoriek vsádzky.

9 VÝSLEDKY MERANÍ TLAKOVEJ SKÚŠKY

Na telieskach sa vykonávali tlakové skúšky na Zariadení Zwick 145 665 ovládanom pomocou počítača. Výsledky boli vyhodnotené pomocou výrobcom dodaného softwaru TestXper-Universal, version 7.11.

Tlakovou skúškou boli testované skúšobné telieska s priemerom 19 mm pre každú teplotu spekania a lisovací tlak. Na všetkých skúšobných telieskach bola vykonaná vizuálna kontrola, či nie sú skrútené, majú navzájom rovnobežné plochy, okraje a hrany sú bez rýh a jamiek. Skúšobné telieska vykazujúce pozorovateľné odchýlky boli vylúčené alebo upravené na požadovaný rozmer a tvar.

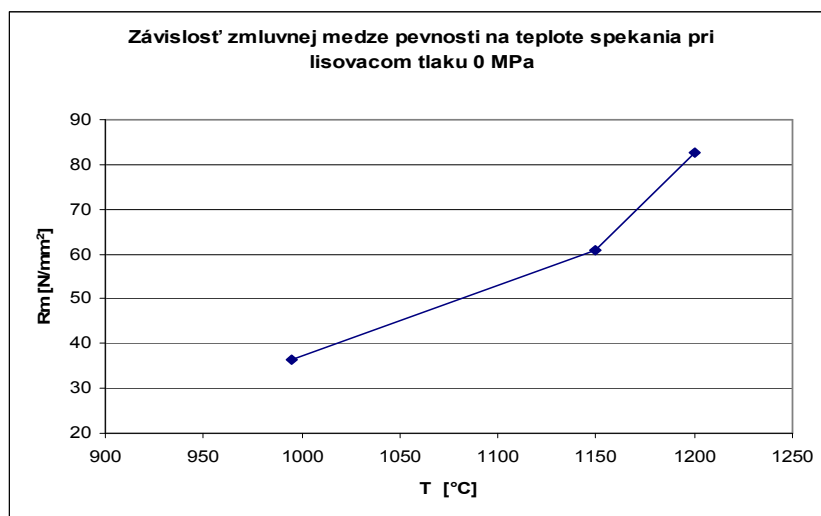
Namerané hodnoty boli spracované do tabuliek štatistickými metódami. Tabuľky sú uvedené v prílohe. Z nameraných hodnôt boli vynesené závislosti zmluvnej medze pevnosti v tlaku na teplote spekania a lisovacom tlaku.

9.1 Vplyv teploty na pevnosť keramiky

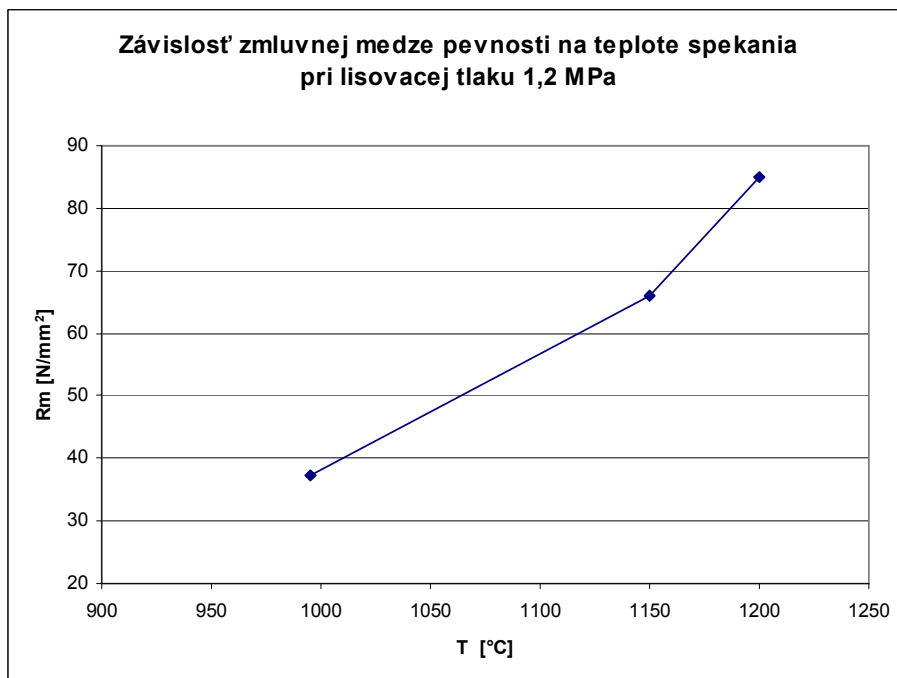
Teplota: 998, 1150, 1200, 1250 °C

Lisovacie tlaky: 0; 1,2; 2,2; 3,2; 4,6 MPa

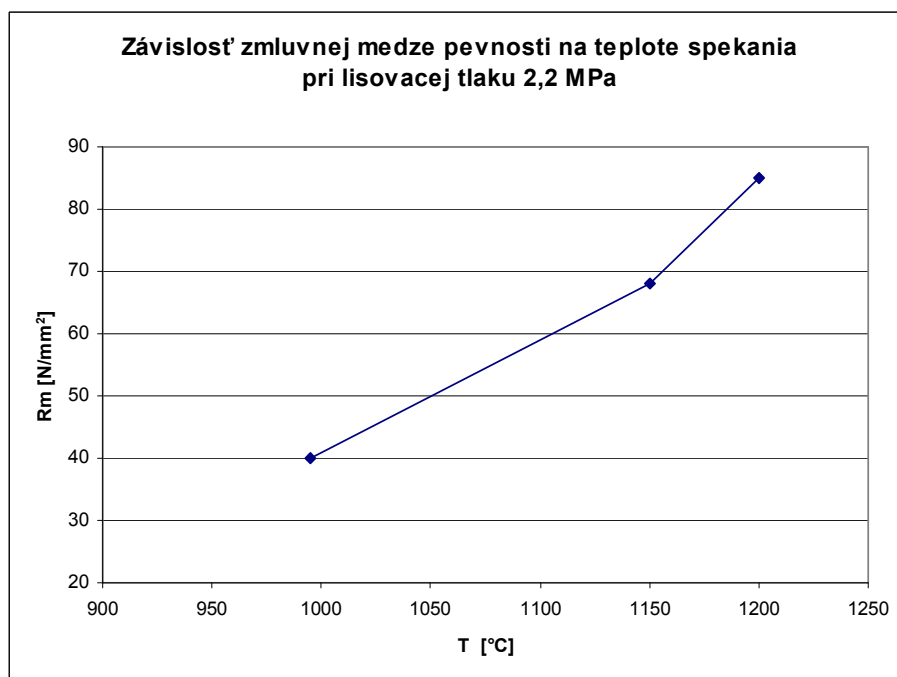
9.1.1 Spracovanie výsledkov tlakovej skúšky pri zmene teploty vypaľovania



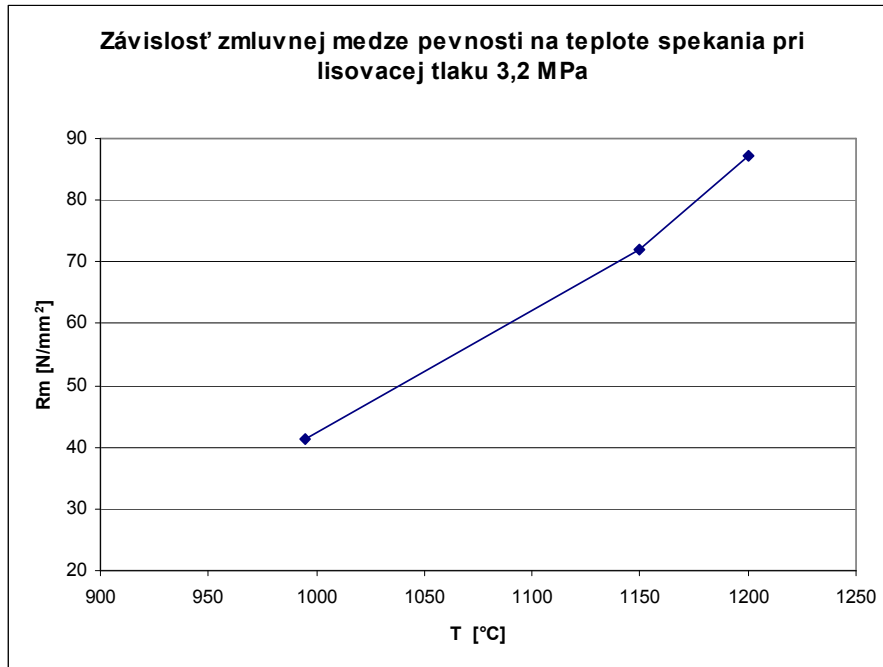
Obr. 22 Závislost' zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 0 MPa



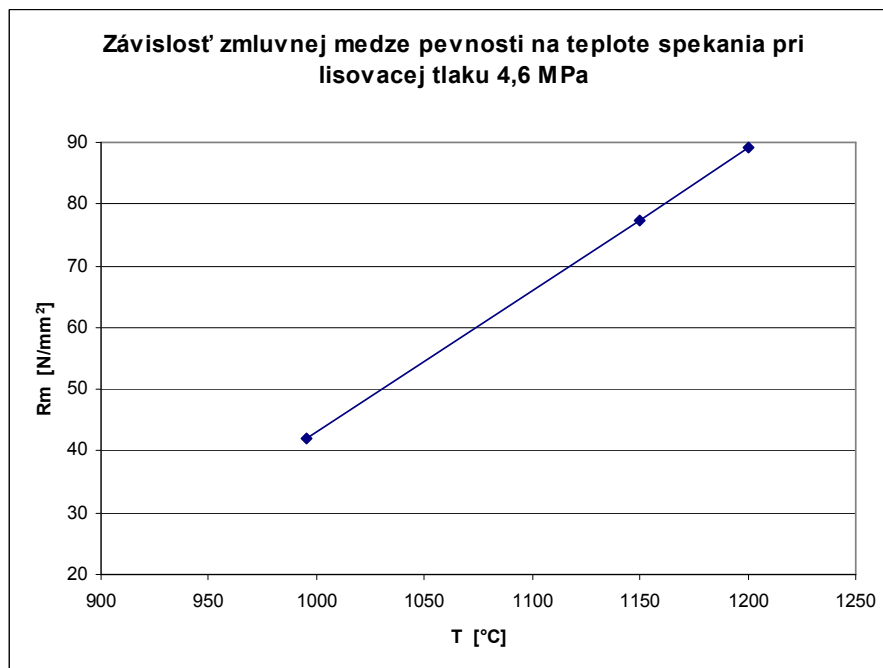
Obr. 23 Závislost' zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 1,2 MPa



Obr. 24 Závislost' zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 2,2 MPa



Obr. 25 Závislost' zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 3,2 MPa



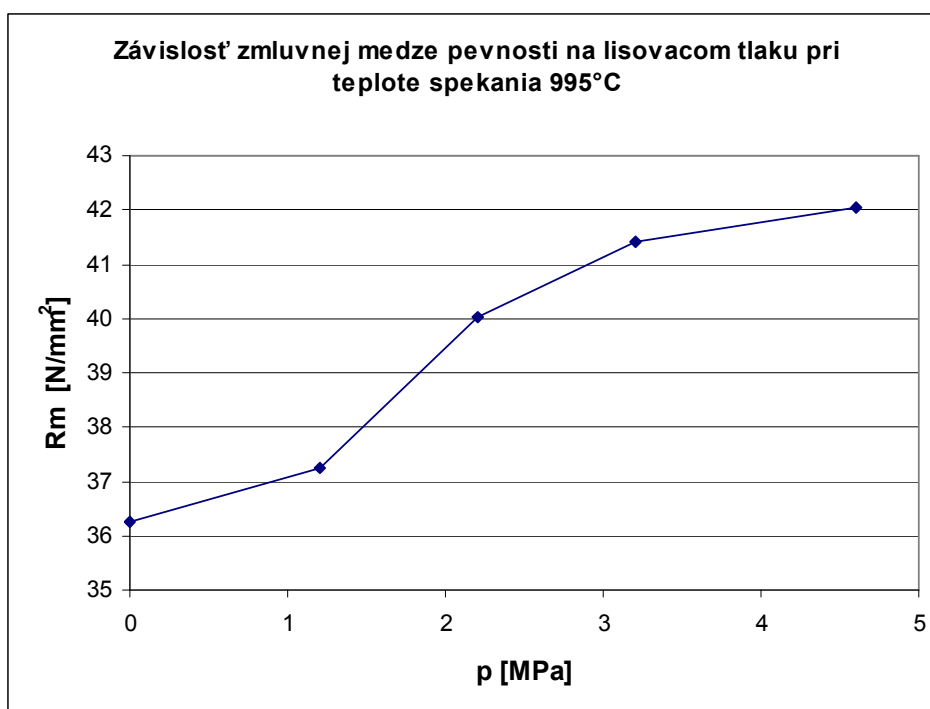
Obr. 26 Závislost' zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 4,6 MPa

9.2 Vplyv lisovacieho tlaku na pevnosť keramiky

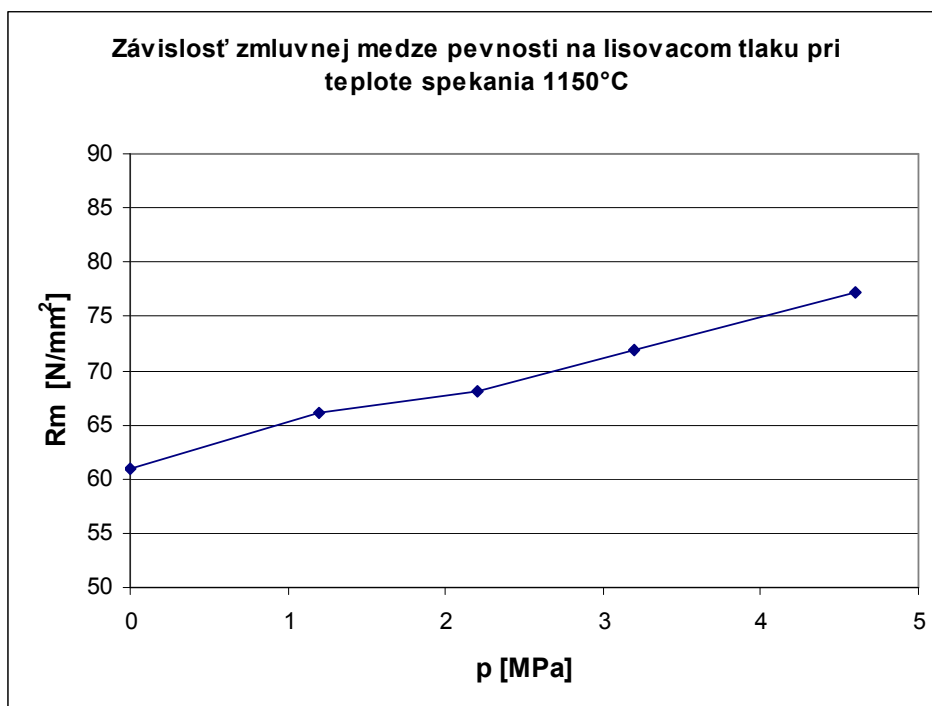
Lisovacie tlaky: 0; 1,2; 2,2; 3,2; 4,6 MPa

Teplota: 998, 1150, 1200, 1250 °C

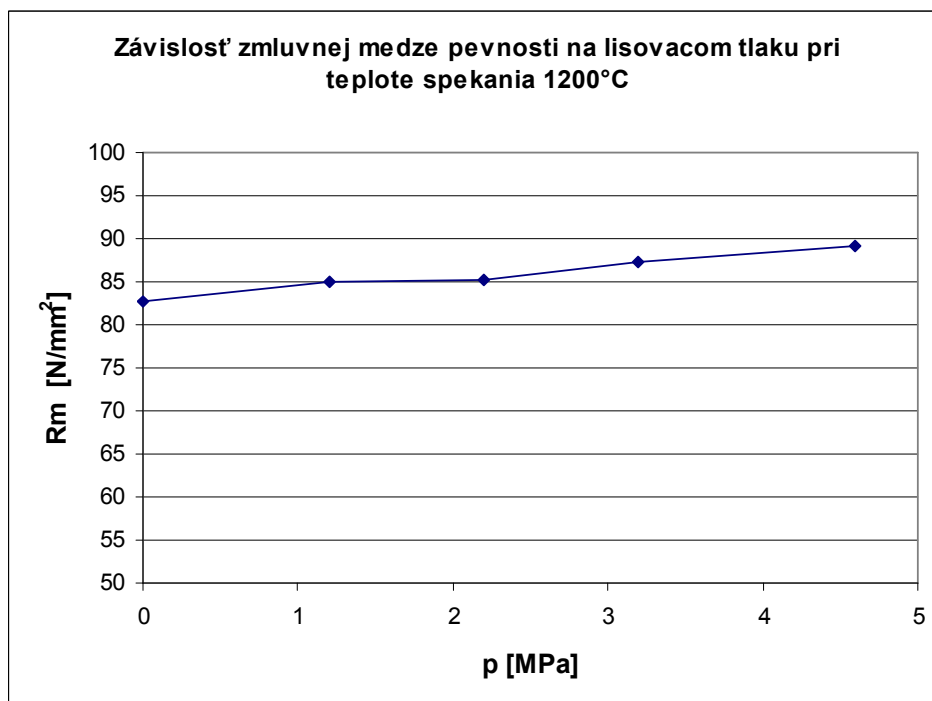
9.2.1 Spracovanie výsledkov tlakovej skúšky pri zmene lisovacieho tlaku



Obr. 27 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na lisovacom tlaku pri teplote spekania 995°C



Obr. 28 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na lisovacom tlaku pri teplote spekania 1150°C



Obr. 29 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na lisovacom tlaku pri teplote spekania 1200°C

9.2.2 Použité vztáhy při spracovaní výsledkov

Aritmetický priemer \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (5)$$

Smerodajná odchýlka s

$$s = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

x_i individuálna hodnota

n počet meraní v skupine

ZÁVER

Táto práca bola zameraná na štúdium vplyvu teploty a lisovacieho tlaku na pevnosť keramického materiálu. Bola potvrdená závislosť zmluvnej medze pevnosti s teplotou spekania a lisovacím tlakom. Materiál skúšaný tlakovou skúškou bola vypálená keramická točírka hlina. Nameňované hodnoty boli spracované do tabuliek a sú súčasťou prílohy. Závislosti, získané zo skúšok boli vyjadrené graficky..

Vykonaný experiment nám dokazuje:

- Pri zvyšovaní teploty spekania sa zmluvná medza pevnosti zvyšovala. Najnižšiu pevnosť R_m dosahovali vzorky spekané pri teplote 995°C .
- Pri náraste lisovacieho tlaku pri rovnakej teplote spekania zmluvná medza pevnosti narastá. Najnižšiu pevnosť mali vzorky lisované najnižším tlakom pri jednotlivých teplotách spekania.
- Zvyšovaním lisovacieho tlaku a teploty spekania sa zvyšuje hodnota pevnosti keramického materiálu. Podľa očakávania sa ako najpevnejšia ukázala keramika lisovaná najvyšším tlakom $4,6\text{ MPa}$ a vypálená najvyššou teplotou spekania 1150°C .

Práca potvrdila vplyv technológie výroby na mechanické vlastnosti keramiky, ako vyplýva z výsledkov tlakových skúšok.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Ptáček, Luděk a kolektiv. Nauka o materiálu II.. Brno: Cerm, 1999. 350 s.
- [2] Hlaváč, Jan. Základy technologie silikátů. 2. vyd. Praha: SNTL, 1988. 516 s.
- [3] Kuneš, K., Špičák K.. Procesy a zařízení II. Tvarování. Praha: VŠCHT, 1993
- [4] Humár, Anton. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. Brno: CCB, 1995.
- [5] Tomis, F., Helštýn J., Kaňonský J.. Formy a přípravky. Brno: VUT, 1979. 278 s.
- [6] Hanykýř V., Havrda J., Trávníček Z.. Speciální technologie keramiky II. Praha: VŠCHT, 1989. 200 s.
- [7] Ptáček, Luděk a kolektiv. Nauka o materiálu I.. Brno: Cerm, 2001. 506 s.
- [8] Kulhánek, J: Formy pro tváření plastických hmot. Praha: SNTL, 1966, 220s
- [9] Martinec, L. a kol.: Náuka o materiály-laboratórne cvičenia. STU/SF, 1982, 227 s
- [10] Martinec, L.; Šimkovič, M.: Náuka o materiáloch. STU/MTF, 1997, 223s
- [11] Kozík, T; Nekomové materiály – poznámky z prednášok. STU/MTF
- [12] Sklostroj Turnov, Dokumentace k hydraulickému lisu CDC 2-7; Sklostroj Turnov
- [13] Miwy, Dokumentace k MIWy calor K, Lipník nad Bečvou

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

T	teplota
t	čas
S	plocha
S_0	počiatočný prierez tyče
E	modul pružnosti v tlaku
K	medzu klzu v tlaku
U	medzu úmernosti v tlaku
σ_{Kd}	napätie na medzi priet'ažnosti
σ_{Pd}	napätie na medzi pevnosti
σ_d	pomerné stlačenie
ε_d	pomerné stlačenie
Ψ	pomerné priečne rozšírenie
F_{Kd}	sila na medzi klzu v tlaku
l_0	meraná dĺžka skúšobného telesa pred stlačením
l	meraná dĺžka skúšobného telesa po stlačení
d_0	priemer
h	výška
p	tlak
s	smerodajná odchýlka
n	počet meraní v skupine
x_i	individuálna odchýlka
\bar{x}	aritmetický priemer

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Stabilné a nestabilné usporiadanie aniónov okolo centrálného katiónu.	12
Obr. 2 Pomery iónov pre koordinačné čísla 3, 4, 6 a 8 a rozmiestnenie aniónov okolo centrálného katiónu v iónových látkach.	13
Obr. 3. Jednostranné lisovanie	24
Obr. 4. pevná lisovnica, pohyblivý horný a dolný lisovník	25
Obr. 5. Jednostranné lisovanie s odpruženou maticou	26
Obr. 6 Princíp izostatického lisovania	27
Obr. 7. Schéma liatia do sadrových foriem.....	31
Obr. 8. Schéma prípravy plastického keramického telesa	33
Obr. 9 Model spekania dvoch gúľ.....	36
Obr. 10 Častica štrnásťstenu	39
Obr. 11 Diagram tlakovej skúšky materiálov s veľkou ťažnosťou	41
Obr. 12 Diagram tlakovej skúšky krehkých materiálov	41
Obr. 13 Skúška na tlak	43
Obr. 14 Druhy lomov pri skúške tlakom.....	44
Obr. 15 Hydraulický lis CDC 2-7	46
Obr. 16 Elektrická odporová pec	47
Obr. 17 Skúšobné zariadenie.....	48
Obr. 18 Lisovací prípravok	50
Obr. 19 Skúšobné teliesko.....	50
Obr. 20 Teplotný diagram pre teplotu vypaľovania T_0 995°C	52
Obr. 21 Teplotný diagram pre teplotu vypaľovania T_{1-3}	53
Obr. 22 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 0 MPa	55
Obr. 23 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 1,2 MPa	55
Obr. 24 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 2,2 MPa	56
Obr. 25 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 3,2 MPa	56
Obr. 26 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na teplote spekania pri lisovacom tlaku 4,6 MPa	57
Obr. 27 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na lisovacom tlaku pri teplote spekania 995°C.....	57
Obr. 28 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na lisovacom tlaku pri teplote spekania 1150°C.....	58
Obr. 29 Závislosť zmluvnej medze pevnosti na lisovacom tlaku pri teplote spekania 1200°C.....	58

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Prehľad tried ocelí.....	9
Tab. 2 Iónový a kovalentný charakter väzby v niektorých keramických látkach.....	11
Tab. 3 Jednoduché iónové štruktúry vybraných progresívnych konštrukčných keramických materiálov	14
Tab. 4 Parametre elektrickej komorovej pece MIWYcalor K	47
Tab. 5 Lisovacie tlaky	51
Tab. 6 Teploty vypaľovania	51

ZOZNAM PRÍLOH

- P1 Tabuľky s výsledkami meraní tlakových skúšok
- P2 Lisovací valček
- P3 Lisovacia vložka