

## 2 KERAMIKA

### 2.1 História keramických materiálov

Prvé stopy spracovania hlíny v dejinách ľudstva sú veľmi staré a nemožno ich celkom presne časovo vymedziť. Tvarovateľnosť hlíny si človek začal všimnúť asi pred 25 000 rokmi. Keďže v tom čase mal lovecký spôsob života, nepocíťoval potrebu zhotovovať si nádoby. Vytváral z hlíny plastiky – idoly.

Najstaršie stopy keramiky, pochádzajúce z raného neolitu, vedú do Turecka, kde boli nájdené domy, postavené z tehliel, vyrobených z hlíny premiešanej s pieskom alebo slamou. V Egypte a Sýrii boli nájdené najstaršie neolitické figúrky žien z kameňa alebo hlíny, ktoré mali prirodzenú, realistickú podobu. Časom pribudlo abstraktné stvárnenie postáv.

V 9. až 7. tisícročí pred n. l. začali ľudia v klimaticky vhodných oblastiach na Blízkom východe aj inde uvedomele pestovať plodiny predtým divo rastúce a chovať domáce zvieratá. Zmena pri obstarávaní obživy viedla k vzniku ďalších nadväzných činností, vrátane *hrnčiarstva*. Prvé nádoby mali funkciu zásobníc na potraviny a vodu; slúžili ako hrnce, pekáče a misy. Neskôr sa stali potrebnými ďalšie tvary – šálky, džbány, naberačky, lyžice, cedníky a mnohé iné nádoby.

Nedá sa s istotou povedať, čo pravekého človeka inšpirovalo pri výrobe nádob. Možno to boli misky zo šúp ovocia alebo škrupiny, stopy v ílovitej pôde plné vody, či dlane spojené do tvaru misky. Keramika sa zhotovovala v ruke rôznymi pracovnými postupmi.

Ďalší rozvoj keramiky súvisel s vynálezom *hrnčiarskeho kruhu*. Hrnčiarsky kruh bol známy už na začiatku neolitu v 5 tisícročí pred n. l. a bol jedným z prvých využití vynálezu kolesa. Zhruba v 3. tisícročí pred n. l. sa objavil v Prednej Ázii, na Blízkom východe (v Mezopotámii) a v Egypte. Na našom území prvú na kruhu vytáčanú keramiku vytvárali Kelti zhruba v 4. storočí pred n. l.

Hrnčiarsky kruh sa vyvinul z kruhovej dosky bez pevnej osi, ktorá sa otáčala pomaly rukou. Pomalé hrnčiarske kruhy umožňovali výrobu nádob vrstvením tenkých valčekov hlíny, ktoré sa po uhladení spojili a vytvorili stenu nádoby. Až neskôr sa začali používať rýchle hrnčiarske kruhy, ktoré umožňujú tvarovať kus hlíny navlhčenými rukami priamo do požadovanej podoby. Celý proces výroby keramického predmetu završuje vypaľovanie, ktoré dáva výrobku z keramickej hmoty definitívny tvar, vzhľad a vlastnosti.

V súčasnosti sa hrnčiarsky kruh skladá z dvoch súbežne sa otáčajúcich drevených alebo kovových kotúčov prepojených zvislou kovovou tyčou (obr. 1). Väčší spodný kotúč je určený k pohonu hrnčiarskeho kruhu; hrnčiar ho roztáča nohami. K spodnému kotúču je hore pripevnený menší kotúč, tzv. tanier. Do jeho stredu sa umiestni hruda keramickej hlíny a pomocou rúk a nástrojov (šablóny alebo formy) sa tvaruje do požadovaného symetrického tvaru. Dnes sa už používa kruh zväčša na elektrický pohon.



Obr. 1 Nožný hrnčiarsky kruh

## 2.2 Definícia, rozdelenie a vlastnosti keramiky

### 2.2.1 Definovanie a rozdelenie keramiky

**Keramika** je súhrny názov úžitkových a ozdobných predmetov vyrobených z vhodných hlinitých surovín formovaním, sušením a vypálením. Niektoré výrobky sa ešte zdobia.

Pre svoje výborné vlastnosti sa používa v mnohých priemyselných odvetviach, napr:

- *stavebníctvo* – tehliarske výrobky, krytina, dlaždice, obkladačky;
- *strojárstvo* – rezná keramika, brúsne materiály;
- *hutníctvo* – výmurovka pecí, žiaruvzdorné výrobky;
- *elektrotechnika* – izolátory, dielektrické materiály, elektrolyty;
- *chemický priemysel, potravinárstvo, poľnohospodárstvo* – kanalizačná, hospodárska a chemická kamenina, zdravotnícka keramika;
- *medicína* – biokeramika;
- *domácnosti* – úžitkové predmety (taniere, misy, šálky, džbány, vázy, kvetináče atď.).

Slovo keramika je gréckeho pôvodu a vzniklo zo slova *keramos*. V starovekom Grécku to bol názov pre hlinu a hrnčiarske výrobky. Dnes sa pod pojmom keramika rozumie oveľa širšie spektrum materiálov a výrobkov z týchto materiálov. Neexistuje však jednotný názor na to, čo možno považovať za keramický materiál. V staršej odbornej literatúre sa pod pojmom keramika rozumie anorganické nekovové teleso vyrobené, resp. vytvorené pomocou vysokoteplotného procesu. Podľa tejto definície by sa za keramiku mohlo považovať aj sklo, sklokeramika, vrstvy a povlaky, keramické monokryštály, keramické kompozity. V súčasnosti takto definovaný pojem keramika nevyhovuje, pretože takto definovaná skupina materiálov má veľmi odlišné vlastnosti aj spôsoby výroby a spracovania. Z tohto dôvodu sa tento široko definovaný pojem zužuje len na *anorganické látky nekovového charakteru s prevažne kryštalickou štruktúrou pripravené z práškovej suroviny výpalom (spekaním) za vysokých teplôt*.

Vo všeobecnosti možno keramiku rozdeliť na *tradičnú* a *progresívnu (konštrukčnú)*.

Na prípravu **tradičnej keramiky** sa v podstatnej miere využívajú suroviny nachádzajúce sa v prírode, ktoré sa len čiastočne upravujú. Vzniknuté keramické materiály sú značne heterogénne, pretože ich štruktúra je tvorená kryštálmi rôzneho zloženia s výrazným podielom sklovitej fázy a pórov. Medzi typické výrobky z tradičnej keramiky (obr. 2) možno zaradiť najmä zdravotnú keramiku (umývadlo, záchodová misa), porcelán, elektroporcelán a stavebnú keramiku (dlaždice, obklady, tehly).



Obr. 2 Tradičná keramika

Popri tradičnej keramike boli v posledných desaťročiach vyvinuté nové typy **progresívnej keramiky**, ktorej chemické zloženie vychádza zväčša z čistých práškových chemikálií. Možno sem zaradiť *oxidovú keramiku* (napr.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ), rôzne druhy *neoxidovej keramiky* (nitridy, karbidy, boridy) a tiež keramické kompozitné materiály. Vďaka dosiahnutiu veľmi jemnej rovnomernej štruktúry a definovanému chemickému zloženiu dosahujú oveľa vyššie hodnoty požadovaných fyzikálnych, chemických a mechanických vlastností (tab. 1). Hoci je zastúpenie progresívnej keramiky oproti tradičnej oveľa menšie, má svoje nezastupiteľné miesto najmä pri obrábaní (rezná keramika, brúsne materiály), v elektrotechnike (izolátory, palivové články, dielektrické materiály, elektrolyty), v medicíne (biokeramika) a v tepelných zariadeniach (vykurovacie telesá, izolácia).

Tab. 1 Porovnanie mechanických vlastností tradičnej a progresívnej keramiky

Materiál	tehla	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> techn.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> konštr.	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	ZrO <sub>2</sub>
<b>Pevnosť v ohybe (MPa)</b>	5-10	50	400	450	600	2000
<b>Modul pružnosti (GPa)</b>	20	250	380	400	310	200

### 2.2.2 Vlastnosti keramiky

V keramike sú atómy spojené v dominantnej miere kovalentnými, resp. iónovými väzbami. Tieto väzby sú príčinou niektorých charakteristických vlastností keramiky. Na rozdiel od kovov malá koncentrácia voľných elektrónov je príčinou rádovo nižšej elektrickej a tepelnej vodivosti. Hoci pri látkach s iónovou, kovalentnou alebo kovovou väzbou majú väzbové energie rádovo rovnakú veľkosť, sú mechanické vlastnosti keramiky od kovov výrazne odlišné. Keramika má výrazne nižšiu schopnosť plastickej deformácie. Podstatu tohto krehkého správania keramiky možno nájsť analýzou mechanizmu plastickej deformácie.

Hoci sa plastická deformácia uskutočňuje podobne ako v kovoch pomocou dislokácií, *krehké správanie keramiky* je spôsobené dvoma výraznými faktormi:

1. *výrazne horšia pohyblivosť dislokácií* – pri látkach so silnou kovalentnou väzbou a pri zložitých iónových kryštáloch dochádza pri pohybe dislokácie k silnej deformácii väzieb, čo výrazne zvyšuje napätie potrebné na pohyb dislokácií;
2. *zhoršená manévrovateľnosť dislokácií* – na výraznú plastickú deformáciu polykryštalického materiálu je potrebných aspoň 5 nezávislých sklzových systémov (rovín a smerov, v ktorých sa dislokácie môžu pohybovať), ale v kryštalickej mriežke keramiky je zvyčajne veľmi obmedzený počet rovín a smerov sklzu.

Pri keramických materiáloch môže byť podiel oboch faktorov veľmi rôznorodý. Konkrétny typ kryštalickej mriežky a väzieb určuje špecifické vlastnosti každého keramického materiálu. Niektoré vlastnosti sú však význačné pre dominantnú väčšinu keramických materiálov.

Zhrnutie a zadefinovanie týchto vlastností je uvedené v nasledujúcom rozdelení:

#### a) technologické vlastnosti

- *väznosť* – schopnosť keramických zmesí viazať v plastickom stave určité množstvo ostriva a po vysušení poskytovať pevné polotovary;
- *plastickosť* – schopnosť najmä hĺn a ílov tvoriť s vodou cesto (plastickú hmotu), ktoré sa pri tvarovaní netrhá a netvorí trhlinky;
- *citlivosť na sušenie* – vyjadruje odolnosť keramickej zmesi voči vzniku defektov pri sušení;
- *zmrštenie* – určuje rozmerovú zmenu v percentách pri sušení a výpale (spekaní) keramického polotovaru; jej hodnoty sú určujúce pre návrh rozmerov nástrojov a foriem;
- *tvar a veľkosť častíc* – ovplyvňuje veľa ďalších vlastností ako väznosť, plastickosť, zmrštenie, citlivosť pri sušení, mechanickú pevnosť a reakcie pri výpale (spekaní);

#### b) mechanické vlastnosti

- *pevnosť* – vyjadruje odpor proti porušeniu, určuje mechanickú stálosť výrobku. Je výrazne závislá od štruktúry keramického materiálu a je dôležitá nielen z hľadiska keramických výrobkov, ale aj keramických polotovarov;
- *tvrdosť* – vyjadruje odolnosť voči vnikaniu cudzieho telesa, určuje trvanlivosť a použiteľnosť najmä pri aplikáciách v obrábaní a v trecích systémoch. Je dôležitá aj pri príprave keramických práškov mletím;
- *pórovitosť* – určuje percentuálny objemový podiel pórov v keramickom materiáli. Vyššie hodnoty pórovitosti zvyčajne znižujú mechanické vlastnosti keramických výrobkov. Rozoznáva sa uzavretá, otvorená a celková pórovitosť;

**c) tepelné vlastnosti**

- žiaruvzdornosť – schopnosť materiálu odolávať pôsobeniu vysokých teplôt;
- žiarupevnosť – odolnosť materiálu proti mechanickému zaťaženiu pri vyšších teplotách;
- tepelná rozťažnosť – určuje odolnosť keramického výrobku pri náhlych zmenách teploty. Nižšie hodnoty majú priaznivejší účinok. Jej význam vzrastá aj pri glazúrovaných výrobkoch, kde výrazne rozdielna tepelná rozťažnosť môže spôsobiť odlupovanie;

**d) fyzikálne vlastnosti**

- elektrická konduktivita a rezistivita – niektoré keramické materiály sú dôležitými elektrickými izolantmi, pretože si izolačnú schopnosť zachovávajú do vysokých teplôt. Veľmi významná je aj schopnosť výrazného piezoelektrického javu;
- magnetické vlastnosti – niektoré keramické materiály možno využiť ako chemicky stabilné, magneticky mäkké aj tvrdé materiály;
- akustické vlastnosti – pri keramických materiáloch sú silne závislé od pórovitosti. S rastúcou hodnotou pórovitosti rastie aj schopnosť tlmiť zvuk;

**e) chemické vlastnosti**

- chemická odolnosť – keramika má zvyčajne výbornú odolnosť voči kyselinám aj zásadám, čo je výhodné pre aplikácie v agresívnom prostredí, pričom je v rozhodujúcom meradle závislá od chemického zloženia keramiky. Zvýšená pórovitosť a vyšší podiel sklovitej fázy znižujú chemickú odolnosť;
- chemická stálosť – dôležitá vlastnosť pri použití keramických materiálov v medicíne, kde sa vyžaduje minimálne chemické ovplyvňovanie okolia tkaniva keramickým implantátom. Je dôležitá aj pri výrobe rôznych druhov senzorov a nosičov aktívnych povrchov.

Keramické materiály sa vyznačujú viacerými výhodami, ale aj nevýhodami, ktoré obmedzujú ich širšie použitie. Tieto výhody a nevýhody sú zhrnuté v tab. 2.

Tab. 2 Výhody a nevýhody keramických materiálov

Výhody	Nevýhody (obmedzenia)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- vysoká teplota tavenia;</li> <li>- vysoká tuhosť;</li> <li>- vysoká pevnosť za tepla;</li> <li>- vysoká pevnosť v tlaku;</li> <li>- vysoká tvrdosť;</li> <li>- odolnosť voči oteru;</li> <li>- chemická odolnosť;</li> <li>- malá hustota;</li> <li>- dobré dielektrické vlastnosti;</li> <li>- malá tepelná vodivosť;</li> <li>- polovodivé vlastnosti;</li> <li>- magnetické vlastnosti;</li> <li>- biokompatibilita;</li> <li>- dostupné a hojné suroviny;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- krehkosť;</li> <li>- citlivosť k tepelným rázom;</li> <li>- komplikovaná výroba;</li> <li>- nízka reprodukovateľnosť;</li> <li>- vysoké náklady;</li> </ul>

## 2.3 Zloženie keramických materiálov

### 2.3.1 Keramické suroviny

Pri príprave keramiky sa používajú nasledujúce druhy keramických surovín:

1. *plastické suroviny*
2. *ostrivá*
3. *tavivá*
4. *syntetické suroviny*
5. *pomocné suroviny*

**Plastické suroviny** zlepšujú tvarovateľnosť keramických hmôt. Typickými predstaviteľmi sú *ily*. Popri tvarovateľnosti zvyšujú pevnosť po vysušení a zvyšujú väznosť. Negatívne ovplyvňujú najmä proces sušenia. Zvyšujú množstvo potrebnej vody, náročnosť sušenia, náchylnosť na krivenie pri sušení a zmrštenie po vysušení. Z chemického hľadiska sú ily vodnaté hlinitokremičitany, ktoré obsahujú horčík, železo, sodík a draslík. Voda sa môže nachádzať v molekulovej forme ( $H_2O$ ), resp. chemicky viazaná ( $OH^-$ ).

Najčastejším zdrojom sú ílové minerály, ako napríklad *kaolinit* ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), *montmorillonit* ( $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ ) a *ilit* ( $nK_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$ ). Väčšina ílových minerálov vznikla premenou kremičitanov, resp. vulkanického skla, vplyvom fyzikálnych a chemických procesov v prítomnosti vody.

**Ostrivá** spomaľujú proces výpalu (spekania) a redukujú najmä veľkosť zmrštenia po sušení a výpale (spekaní). Typickými predstaviteľmi sú *kremenný piesok*, *kremeň*, *šamot*, *korund*, *magnezit*. Vytvárajú v budúcom keramickom výrobku základnú kostru a zvyšujú najmä žiaruvzdornosť, pevnosť, tvrdosť po vypálení, znižujú pevnosť po vysušení, tvarovateľnosť a náročnosť sušenia.

Najviac používané ostrivá sú založené na niektorej z foriem oxidu kremičitého ( $SiO_2$ ) a hlinitokremičitanoch ( $Al_2O_3$  a  $SiO_2$  najčastejšie v pomere 1:2). Prírodnými zdrojmi oxidu kremičitého sú *kremeň*, *kremenec*, *kremenný piesok*. Medzi hlinitokremičitany možno zaradiť *šamot*, *mullit*. Medzi ostatné ostrivá používané najmä pri príprave žiaruvzdornej keramiky možno zaradiť *korund* ( $Al_2O_3$ ), *magnezit* ( $MgO$ ) a *dolomit* ( $CaO \cdot MgO$ ).

**Tavivá** znižujú najmä teplotu výpalu a čas potrebný na výpal keramiky. Typickými predstaviteľmi sú *živce*. Zvyšujú pevnosť po vypálení, hutnosť, zmrštenie po výpale, znižujú pórovitosť, nasiakavosť, pevnosť po vysušení, tvarovateľnosť a náročnosť sušenia.

Živcové suroviny tvoria veľkú skupinu hlinitokremičitanov, z ktorých najväčší význam majú minerály bohaté na sodík a draslík. Najčastejším zdrojom sú *albit* ( $NaAlSi_3O_8$ ,  $CaAl_2Si_2O_8$ ) a *ortoklas* ( $KAlSi_3O_8$ ). Pre výrazné taviace účinky sa pridávajú tiež uhličitan alkalických kovov sodíka, draslíka a lítia vo forme minerálov, napríklad *natrit* ( $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ ), prípadne synteticky pripravené. Na urýchlenie tavenia možno pridať aj minerál *kazivec* ( $CaF_2$ ), prípadne *kryolit* ( $Na_3AlF_6$ ), ktoré obsahujú fluór.

Podľa účinku sa tavivá rozdeľujú na:

- *základné tavivá* – pri spekaní vytvárajú tekuté zložky, v ktorých sa následne rozpúšťajú aj ostatné suroviny;
- *eutektické tavivá* – spolu s inými zložkami vytvárajú v zmesi ľahkotaviteľné eutektické taveniny.

**Syntetické suroviny** sa používajú najmä pri príprave progresívnej keramiky. Ide o špeciálne pripravené chemicky čisté oxidy, karbidy, nitridy, sulfidy, boridy a podobne vo forme jemných práškov. Zvyčajne majú definovaný tvar a veľkosť častíc a fázové zloženie.

**Pomocné suroviny** zvyčajne upravujú technologickú spracovateľnosť, príp. niektoré ďalšie vlastnosti keramických výrobkov. Medzi tieto suroviny možno zaradiť:

- *stekucovadlá*;
- *engoby a glazúry*;
- *plastifikátory a mastivá*;
- *spojivá, rozpúšťadlá a zmáčadlá*;
- *voda*;
- *dispergátory*;
- *farbivá*;
- *lahčivá*.

*Stekucovadlá* sú významné pri liatí keramickej suspenzie do foriem. Stekucovanie je proces premeny hmoty na dobre tekutú suspenziu. Podstatou tohto deja je výmena vápenatých alebo horečnatých iónov viazaných na ílových časticách za ióny alkalické, dodané do suspenzie stekucovadlom (NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaSiO<sub>3</sub>). Jednomocné ióny sú viac priťahované k ílovým časticiam, čím sa znižuje množstvo viazanej vody v okolí ílových častíc. Pridávaním stekucovadla sa hrúbka vonkajšieho vodného obalu okolo ílových častíc znižuje a uvoľnenou vodou sa zväčšuje tekutosť suspenzie.

*Engoby a glazúry* vytvárajú tenké vrstvy na povrchu výrobku. Engoba je pórovitá až hutná kryštalická vrstva na keramickom výrobku; glazúra je sklovitá vrstva, ktorá dáva povrchu hladkosť, lesk a tvrdosť.

*Plastifikátory* znižujú trenie medzi keramickými časticami pri technologickom spracovaní. Umožňujú výraznejšie znížiť lisovací tlak pri lisovaní. Podobný význam majú *mastivá*, ktoré majú za úlohu znížiť trenie medzi keramicou zmesou a nástrojom (formou).

*Spojivá* zabezpečujú mechanickú stabilitu a manipulačnú pevnosť surového keramického výrobku po tvarovaní. Pri progresívnej keramike sa s úspechom používajú najmä organické spojivá ako napr. parafin, vosky, metylcelulóza a pod. Na polymérne spojivá sa používajú prídavky *rozpúšťadiel* a *zmáčadiel*.

Pri tradičnej keramike patrí medzi najdôležitejšie látky *voda*, ktorá má viacero funkcií. Pri keramickej výrobe sa jej vlastnosti môžu upravovať mechanicky aj chemicky, pretože prímеси rozpustené vo vode môžu nepriaznivo ovplyvňovať zafarbenie keramických výrobkov, opotrebenie technologických zariadení aj vlastnosti keramickej zmesi. Na dosiahnutie lepšieho rozloženia keramických častíc vo vode a na zabránenie ich aglomerácie (zhlukovaniu) sa používajú *dispergátory*.

*Farbivá* upravujú farebný vzhľad keramických výrobkov. Najčastejšie sa používajú oxidy a soli kovov.

*Lahčivá* sa pridávajú pri stavebnej keramike na zníženie hmotnosti, zlepšenie zvukovo a tepelnoizolačných vlastností. Tieto látky pôsobia buď priamo tým, že v procese výpalu vyhoria, alebo nepriamo svojou nízkou mernou hmotnosťou (napr. škvára, expandovaný perlit).

### 2.3.2 Tradičná keramika

Vlastnosti výrobkov z *tradičných keramických materiálov* sú určené najmä zastúpením jednotlivých druhov surovín (tab. 3), ale pri dosiahnutí požadovanej kvality má nezastupiteľnú úlohu aj dodržanie granulometrie použitých surovín.

Z technologického hľadiska má významnú úlohu pri príprave požadovanej granulometrie aj pri vytvorení surového keramického výrobku voda. Zvyšovaním jej množstva klesá trenie pri tvarovaní, čo znižuje veľkosť mechanického pôsobenia (tlaku) pri tvarovaní. Množstvo potrebnej vody je teda určené najmä použitou technológiou tvarovania (tab. 4).

Množstvo použitej vody však negatívne ovplyvňuje pórovitosť surového keramického výrobku po sušení a stabilitu.

Tab. 3 Príklady zloženia zmesí pri príprave tradičnej keramiky

Výrobok	Zloženie (hmot. %)
Tehly, krytiny, terakota	tehliarske íly a hliny, prímеси – plnivá piliny, uhoľné kaly, polystyrén
Obkladové materiály	kremeň 35-45, íly a kaolín 50-55, živce 6-12, vápenec 0-10, črepy
Zdravotná keramika	plavený kaolín 25-27, väzné íly 16-20, živce 45-50, kremenný piesok 3-5, lupok 2-3, črepy 1-3, mastenec 1-2
Kameninové výrobky, rúry, chemická kamenina	kameninové íly 55-70, živce 45-30 (ostrivo 25-28)
Porcelán	plavený kaolín 40-50, živce 20-35, kremeň pod 40
Horečnatá keramika, steatitová, forsteritová, kordieritová	mastenec 65-80, íly 2-15, bezalkalické tavivá 5-10, mastenec a magnezit 30-45, žiaruvzdorný íl 35-45, oxid hlinitý 17-25

Tab. 4 Porovnanie potrebného tlaku a množstva vody pri rôznych technológiách spracovania tradičnej keramiky

Základné typy / podmienky	Obsah vody (%)	Tvarovací tlak (MPa)	Základné spôsoby tvarovania tradičnej keramiky (forma)
Liaca suspenzia, kaly, brečky	25 – 40	0,1 – 1	liatie (sadra - pórovitá)
Plastické cesto	15 – 27	1,5 – 3	ťahanie a vytlačanie (kov)
	20 – 27		vytáčanie ručné a strojové (sadra, kov)
	23 – 30		modelovanie
Tuhé neplastické cesto	15 – 25	3 – 13	lisovanie voľné ručné a strojové (sadra, polymér, kov)
Vlhké a suché sypké zmesi, múčky	5 – 15	20 – 200	lisovanie strojové (kov)
		1 – 10	dusenie, vibračné lisovanie

### 2.3.3 Progresívna keramika

#### Oxidová keramika

Ide o pomerne širokú skupinu materiálov na báze rôznych oxidov, z nich najväčší význam pre aplikácie majú materiály na báze oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a oxidu zirkoničitého ( $\text{ZrO}_2$ ).

**Materiály na báze oxidu hlinitého** ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) sú najznámejšou oxidovou keramikou pre rôzne aplikácie. Najčastejšie sa vyrábajú kalcináciou  $\text{Al}(\text{OH})_3$  v rotačných peciach. Vzhľadom na existenciu silných chemických väzieb medzi iónmi Al a O má  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dobrú chemickú stabilitu, vysoký bod tavenia ( $2050\text{ }^\circ\text{C}$ ) a najvyššiu tvrdosť zo všetkých druhov oxidovej keramiky. Pri izbovej teplote má vysokú pevnosť v ohybe, ktorá však nad teplotou  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  prudko klesá. Jeho tepelná vodivosť je relatívne vysoká, má vysoký koeficient teplotnej rozťažnosti, čo spôsobuje, že jeho odolnosť voči tepelným rázom je nižšia, než akú majú materiály  $\text{Si}_3\text{N}_4$  a  $\text{SiC}$ .

**Materiály na báze oxidu zirkoničitého ( $ZrO_2$ )**, používané na konštrukčné účely, využívajú na zníženie krehkosti napätovo indukovanú premenu modifikácií. Oxid zirkoničitý má 3 modifikácie:

- m- $ZrO_2$  (nízkoteplotná monoklinická),
- t- $ZrO_2$  (strednoteplotná tetragonálna),
- k- $ZrO_2$  (vysokoteplotná kubická).

Premena t- $ZrO_2$  na m- $ZrO_2$  je spojená s objemovou zmenou asi 3 % a vznikom tlakových napätí, ktoré bránia rastu trhliny v keramickom výrobku.

Prídavkom vhodných oxidov, napr. CaO alebo  $Y_2O_3$  je však možné doceliť to, že sa  $ZrO_2$  prevedie na pevný kubický roztok, stály v celom teplotnom rozsahu. Takto upravenú keramiku označujeme ako **stabilizovanú**.

**Čiastočne stabilizovaný  $ZrO_2$**  má znížený obsah stabilizačných prísad, tepelným spracovaním je v kubickej matici k- $ZrO_2$  časť vo forme veľmi malých útvarov t- $ZrO_2$ . Premena tetragonálnej fázy na monoklinickú sa v čiastočne stabilizovanom oxide zirkoničitom podieľa na výraznom zvýšení jeho húževnatosti.

Na rozdiel od bežnej keramiky, kde sa mechanickým opracovaním, napr. brúsením, pevnosť zníži vznikom početných povrchových trhlín, v čiastočne stabilizovanom  $ZrO_2$  sa naopak, v dôsledku vyvolania transformácie a tlakového pnutia v povrchovej vrstve pevnosť zvýši.

Napätovo indukovaná martenzitická premena t- $ZrO_2$  na m- $ZrO_2$  sa v súčasnosti využíva pri troch druhoch materiálov, na ktoré sa súčasne aj sústreďuje ďalší výskum:

- *tetragonálny polykryštalický oxid zirkoničitý*,
- *čiastočne stabilizovaný oxid zirkoničitý*,
- *oxid hlinitý spekaný s oxidom zirkoničitým*.

Najvyššie hodnoty najmä húževnatosti dosahuje **tetragonálny polykryštalický oxid zirkoničitý** (TZP – Tetragonal Zirconia Polycrystals), ktorého objem je tvorený len jemnými zrnami metastabilného t- $ZrO_2$ . Dosahuje pevnosť v ohybe 1000 – 2500 MPa a lomovú húževnatosť 10 – 15 MPam<sup>1/2</sup>, čo sú najvyššie hodnoty dosahované v súčasnosti pri konštrukčnej keramike.

**Čiastočne stabilizovaný oxid zirkoničitý** (PSZ – Partially Stabilized Zirconia) – donedávna keramický materiál s najlepšimi mechanickými vlastnosťami pri nižších teplotách. Využíva sa na prievlaky v metalurgickom priemysle, na extrémne namáhané súčiastky dieselových motorov (časti piestov, vložky valcov, vodítka a sedlá ventilov a pod.) a v spotrebnom priemysle (nože, nožnice, plášte hodínok, kávové filtre a pod.).

**Oxid hlinitý spekaný s oxidom zirkoničitým** (ZTA – Zirconia Toughened Alumina) sa pripravuje z  $Al_2O_3$  (korund) a 10-30 % jemných častíc  $ZrO_2$  čiastočne stabilizovaných napr.  $Y_2O_3$  alebo MgO. Jemnozrnný korund s prísadou 20 %  $ZrO_2$  má pevnosť v ohybe až 1200 MPa a vysokú lomovú húževnatosť.

## Neoxidová keramika

Keramika na báze nitrídu a karbidu kremíka je perspektívnym materiálom na súčiastky strojov pracujúcich pri vysokých teplotách (do 1500 °C) a už komerčne využívaným materiálom na obrábacie nástroje. Ak materiály na báze  $Si_3N_4$  porovnáваме so superzliatinami niklu a materiály na báze SiC so zliatinami vysokotavitelných kovov, prednosťou keramických materiálov je nižšia hustota (na úrovni Al-zliatin), vyššia žiaruvzdornosť i možnosť aplikácie pri ešte vyšších teplotách. Jedinou nevýhodou je ich krehkosť.

Nitridová keramika sa ďalej vyznačuje odolnosťou proti tepelným rázom, nízkou tepelnou vodivosťou, nízkou tepelnou rozťažnosťou, vysokou tvrdosťou a koróznou odolnosťou.

**Nitrid kremíka** ( $Si_3N_4$ ) je anorganická zlúčenina, ktorá sa vyskytuje v dvoch štruktúrnych modifikáciách:

- $\alpha$ - $Si_3N_4$  – má defektnú mriežku v tom, že jeden zo základných atómov dusíka nahrádza kyslík,
- $\beta$ - $Si_3N_4$  – zastúpenie atómov plne zodpovedá stechiometrickému vzorcu.



Po spekaní pri teplote 1700 – 2000 °C je vhodné, aby štruktúra  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  mala vláknitý charakter (má väčšiu lomovú húževnatosť), pričom sú tieto kryštály obklopené spojitým sieťovým sklovitých alebo kryštalických fáz, vznikajúcich z prísad a  $\text{SiO}_2$ . Tieto prísadové fázy zhoršujú mechanické vlastnosti materiálu, preto sa veľká pozornosť venuje výskumu možností ich odstránenia.

**Sialony** sú keramické materiály odvodené od nitridu kremíka náhradou niektorých atómov kremíka hliníkom a niektorých atómov dusíka kyslíkom. Dnes je známych asi 400 takýchto materiálov sústavy Si-Al-O-N (z chemických značiek zložiek sústavy je odvodený názov sialon).

Priaznivejšie charakteristiky sialonu vyplývajú z toho, že výhodne kombinuje vlastnosti  $\text{Si}_3\text{N}_4$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Karbid kremíka** (SiC) sa vyrába žiarovým lisovaním, reakčným spekaním alebo spekaním bez použitia tlaku. Karbid kremíka, pripravený žiarovým lisovaním (2000 °C, 35 MPa) sa vyznačuje vysokou hustotou a pevnosťou, ale ťažkým opracovaním a tvarovaním. Tento problém viedol k vývoju SiC pripraveného reakčným spekaním, pri ktorom časť SiC vzniká pri spekaní. Veľkou výhodou tohto spracovateľského postupu sú malé rozmerové zmeny počas procesu spekania. Reakčne spekaný SiC sa najčastejšie získava zo zmesi SiC, grafitového prášku a kremíka. Kremík, ktorý je počas spekania tekutý, reaguje s grafitovým práškom a vytvára SiC. Takto vzniknutý SiC pôsobí ako spojivo. Pevnosť SiC je nižšia než  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , rovnako tak i odolnosť proti tepelnému šoku. Vyznačuje sa vysokou tvrdosťou a vysokou tepelnou vodivosťou, ktorá sa využíva pri konštrukcii tepelných zariadení. Pri teplotách do 1300 °C má výhodnejšie vlastnosti  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , pre teploty 1300 – 1500 °C sa javí výhodnejší SiC.

Medzi aplikácie progresívnej keramiky možno zaradiť:

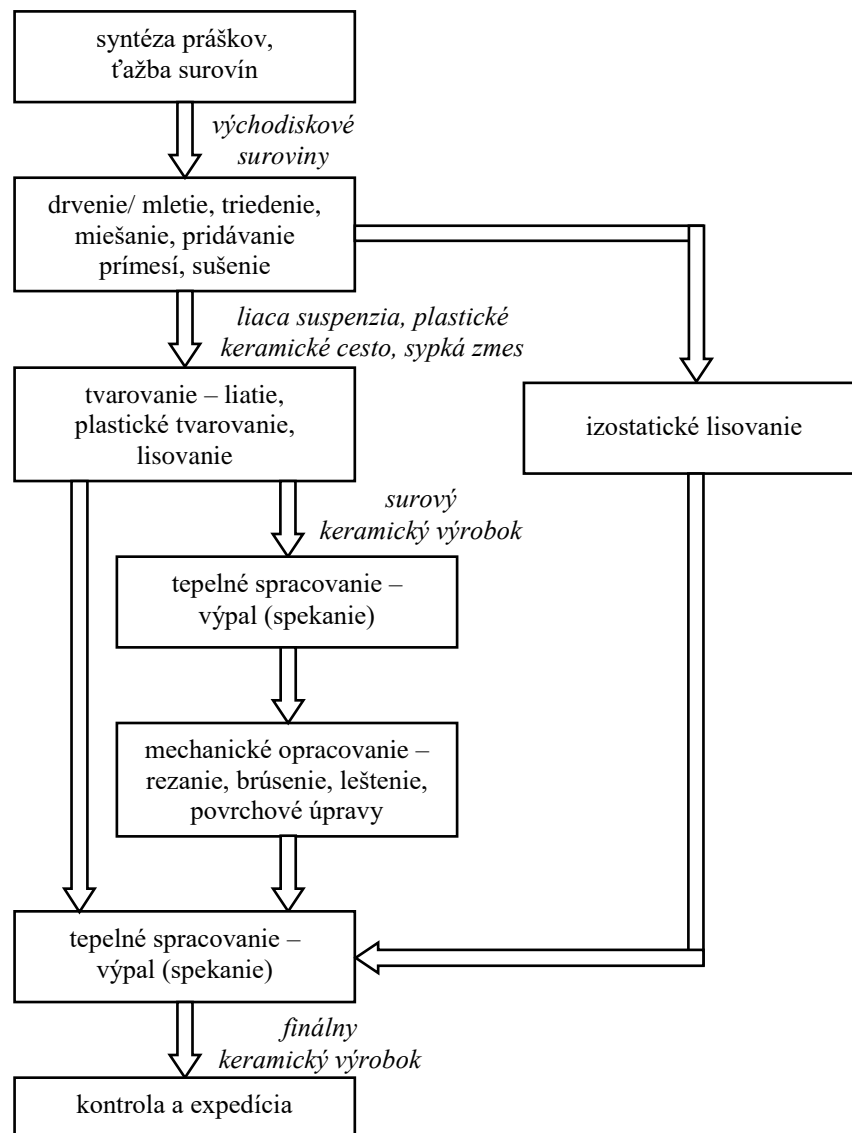
- *obrábacie nástroje*, pri ktorých doštičky z progresívnej keramiky ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , WC) majú vyššiu životnosť, umožňujú použiť vyššie obrábacie rýchlosti pri vyšších teplotách triesky;
- oteruvzdornosť, koróziuvzdornosť a chemická odolnosť sú charakteristické pre *rôzne druhy tesnení, filtrov* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , uhlíkové materiály) a *ložísk*, pri ktorých je charakteristické aj zachovanie mazacích vlastností ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) a presnosti ( $\text{ZrO}_2$  pri hodinkových ložiskách);
- tepelná stabilita aj mechanické vlastnosti pri zvýšených teplotách sú dôležité pri *teplných strojoch*, kde keramické rotory a statory plynových turbín sa vyznačujú vyššou účinnosťou pri vyšších teplotách aj frekvencii, odolnosťou voči korózii (SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ );
- nízka tepelná vodivosť a odolnosť proti vysokým teplotám sú dôležité pre *tepelné izolácie* v spaľovacích motoroch ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$ ), výmurovky pecí ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ), obaly kozmických raketoplánov (uhlíkové kompozity,  $\text{SiO}_2$ ) a tiež pre *ohrievacie elementy* do oxidačných atmosfér (SiC,  $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ );
- tvrdosť a odolnosť voči mechanickému pôsobeniu sú určujúce pre *brúsne materiály* (SiC,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , BN), prípadne pre ľahké *ochranné pancierové vrstvy* ( $\text{B}_4\text{C}$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- chemickú inertnosť, stálosť, prípadne bioaktivitu možno pozorovať pri *biokeramike*, najmä rôznych kostných náhradách ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , fosforečnan vápenatý);
- chemické vlastnosti sú určujúce pre aplikácie *senzorov, katalyzátorov* ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ - $\text{TiO}_2$ );
- výhodné elektrické vlastnosti má *elektrokeramika*; v technickej praxi sa veľmi často používajú dielektriká (napr.  $\text{BaTiO}_3$ ), substráty a izolanty pre elektrické obvody (napr.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO, BeO), tuhé elektrolyty pre palivové články, meracie sondy, chemické reaktory (napr.  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ );
- medzi *magnetické keramické materiály* možno zaradiť magneticky mäkké a tvrdé ferity.

## 2.4 Technológia prípravy keramických výrobkov

**Technológia prípravy keramických výrobkov** pozostáva z prípravy keramických práškov a východiskových surovín, ich miešania, homogenizácie a tvarovania, pričom výsledkom je zvyčajne surový keramický výrobok, ktorého tvar a rozmery zodpovedajú tvaru konečného keramického výrobku. Následným tepelným spracovaním, t.j. výpalom (spekaním) získava surový keramický výrobok konečné vlastnosti. Vzhľadom na fakt, že keramické výrobky majú zvyčajne veľmi zlú obrábateľnosť, technologický postup je zameraný na dvojstupňový výpal (spekanie) prerušované mechanickým opracovaním detailov. Prvostupňový výpal (spekanie) zaisťuje minimálnu úroveň mechanických vlastností na následné mechanické opracovanie, druhostupňový výpal zabezpečí výsledné vlastnosti hotového keramického výrobku.

Technológiu prípravy keramických výrobkov možno teda zhrnúť do nasledujúcich etáp (obr. 3):

1. **príprava a úprava keramických surovín** pozostávajúca z drvenia alebo mletia, triedenia, miešania, sušenia => liaca suspenzia, plastické keramické cesto, neplastické cesto alebo sypká zmes;
2. **tvarovanie**, t.j. liatie, plastické tvarovanie alebo lisovanie + sušenie => surový keramický výrobok;
3. **tepelné spracovanie**, t.j. výpal (spekanie) => finálny keramický výrobok.



Obr. 3 Schematické znázornenie jednotlivých etáp keramickej výroby

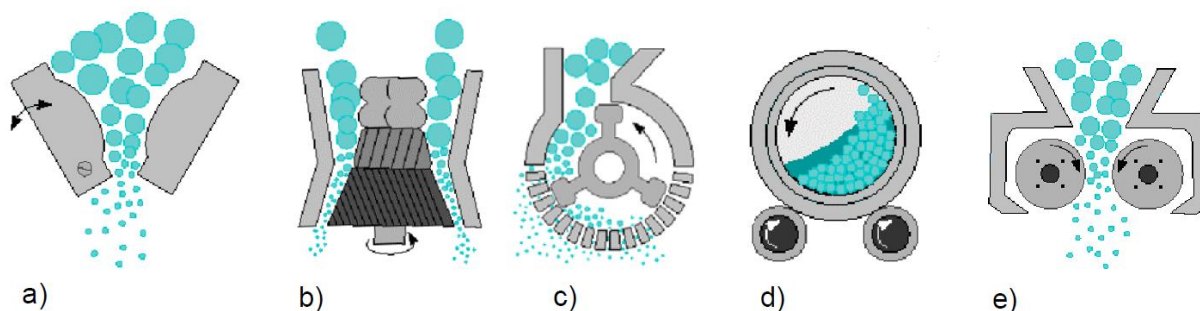
## 2.4.1 Príprava a úprava keramických surovín

Cieľom tejto časti technologického postupu je pripraviť hmotu s požadovanými plastickými vlastnosťami. Úprava prášku predstavuje dosiahnutie najvhodnejšej granulometrie, t.j. veľkosti, tvaru a stupňa aglomerácie keramických častíc, pretože až na íly majú keramické častice ostatných zložiek často nevhodnú veľkosť. Pri tradičnej keramike je postup založený na:

- *drvení a mletí prírodných surovín,*
- *triedení,*
- *miešani,*
- *chemickej úprave,*
- *odvodnení,*
- *vakuovaní.*

### Drvenie a mletie

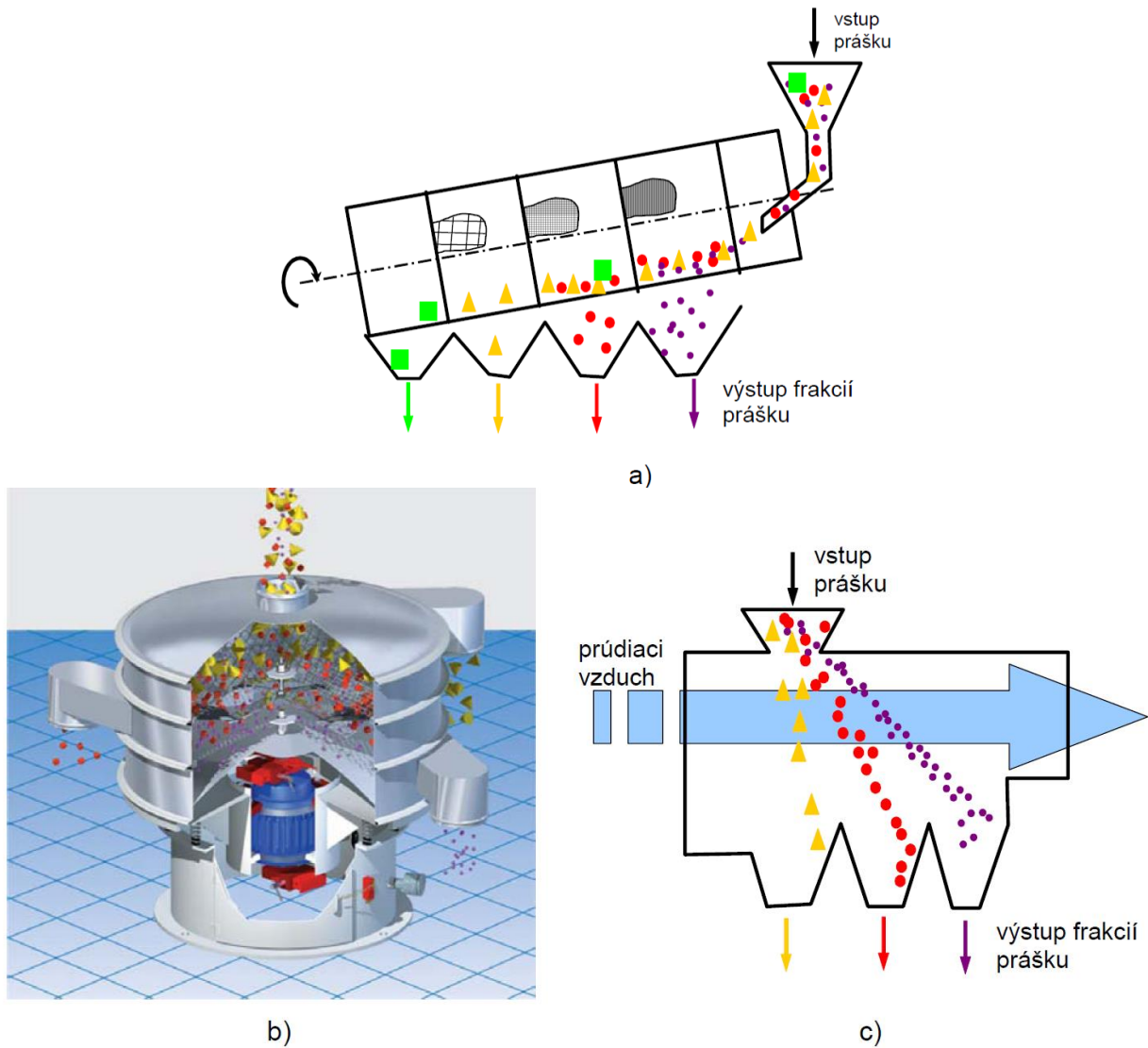
Pri rozdrobovaní sa využívajú rôzne spôsoby mechanického namáhania (obr. 4). Rozdiel medzi **drvením** a **mletím** je vo veľkosti získaných častíc. Pri mletí rozmer častíc neprekračuje 1,25 mm. Oba procesy sú energeticky veľmi náročné, pričom drvenie sa robí za sucha, mletie väčšinou za mokra s prídavkom kvapaliny (zvyčajne vody). Pri mletí jemných keramických častíc vzniká ich aglomerácia (zhlukovanie), čo negatívne ovplyvňuje procesy mletia. Na zvýšenie účinnosti mletia a zabránenie aglomerácie sa pridávajú povrchovo aktívne látky, nazývané *intenzifikátory mletia* (napr. kyselina olejová, stearín, amónne soli). Po mletí sa prídavok kvapaliny odstraňuje sušením a mletý prášok sa triedi rôznymi metódami na jednotlivé frakcie s požadovanou zrnitosťou.



Obr. 4 Schematické zobrazenie najčastejších spôsobov drvenia a mletia keramických materiálov;  
a) čeľuťový, b) kužeľový, c) kladivový, d) guľový, e) valcový

### Triedenie

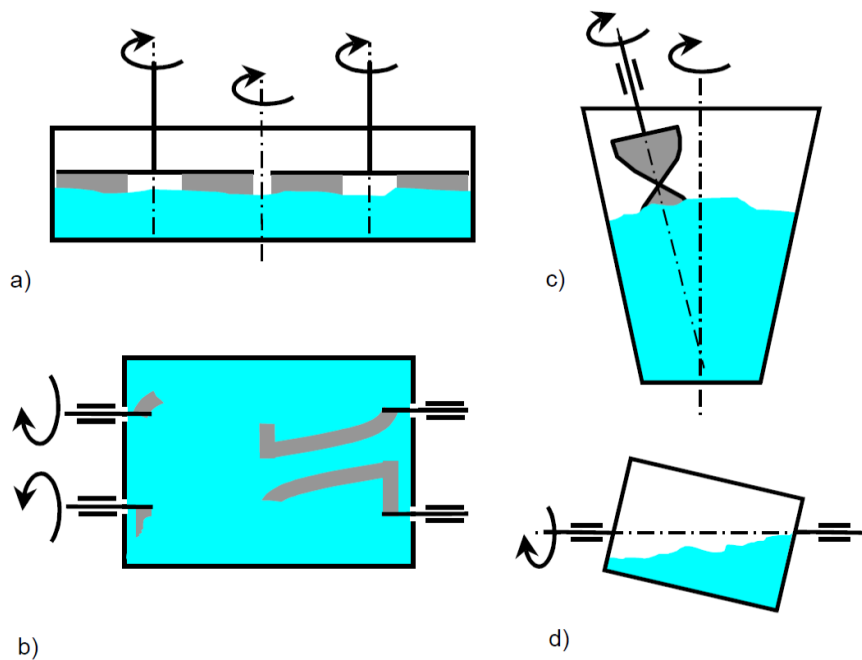
**Triedenie** sa uskutočňuje najčastejšie mechanicky (obr. 5) pomocou sústavy vibrujúcich sít (zrná s veľkosťou 0,4 – 1 mm), vzduchovými triedičmi, cyklónmi (0,5 – 500  $\mu\text{m}$ ) alebo hydrocyklónmi, ktoré využívajú rozdielnu rýchlosť usadzovania rôznych veľkých častíc v plynnom a kvapalnom prostredí.



Obr. 5 Princíp triedenia veľkostných frakcií keramického prášku pomocou a) bubnového triediča, b) vibračného triediča, c) horizontálneho vzduchového triediča

## Miešanie

Pripravené keramické prášky sú zmiešané s prísadami a homogenizované (obr. 6). **Miešanie** sa rozdeľuje na miešanie suchých jemných zŕn, plastického cesta a suspenzií. Vo všeobecnosti platí, že čím väčšiu vlhkosť obsahuje miešaný materiál, tým rýchlejšie sa stáva homogénnym pri miešaní. Pri **chemických úpravách** sa upravuje najmä tekutosť keramických suspenzií pridávaním stekucovadiel. **Odvodňovaním** (sušením, filtráciou) sa odstraňuje prebytočná vlhkosť a **vakuovaním** sa znižuje podiel vzduchových bublín, a tým aj pórovitosť v keramických výrobkoch.



Obr. 6 Schematické zobrazenie najčastejších miešačov;  
 a) tanierový, b) ramenový, c) závitovkový, d) bubnový

Pri progresívnej keramike je postup podobný, pričom sa východiskový keramický prášok pripravuje a upravuje aj **chemickými metódami**, zaisťujúcimi vyššiu čistotu. Niektoré základné zložky pre oxidovú progresívnu keramiku možno nájsť aj v prírode vo forme oxidov alebo sa pripravujú tepelným rozkladom hydroxidov a uhličitanov.

Zložky neoxidovej keramiky, ako boridy, nitridy, karbidy a silicidy sa pripravujú najčastejšie priamou syntézou príslušných prvkov, reakciami v plynnej fáze a tiež termickým rozkladom. Veľmi jemný prášok možno získať najmä reakciami z plynnej fázy.

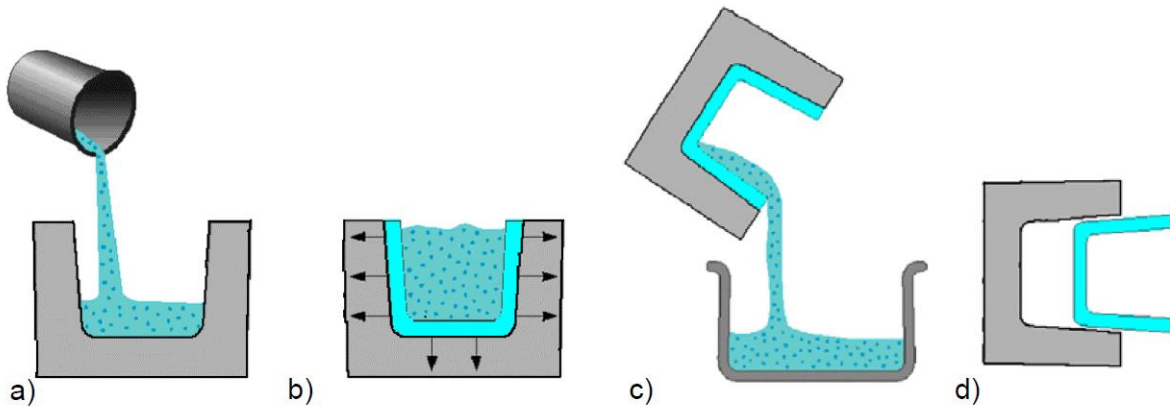
## 2.4.2 Tvarovanie a sušenie

Cieľom tejto časti technologického postupu je dať surovému keramickému výrobku požadovaný tvar, pevnosť a hutnosť. Tvarovanie možno v princípe rozdeliť v závislosti od stupňa plasticity na:

- *liatie*,
- *plastické tvarovanie*,
- *lisovanie*.

### Liatie

Podstatou **liatia keramickej suspenzie** je to, že práškový materiál v podobe suspenzie (najčastejšie vodnej) je natoľko plastický, že ho možno naliať do pripravenej formy. Najčastejšie sa používa pórovitá sadrová forma, ktorá absorbuje kvapalinu a na povrchu formy vzniká tuhá vrstva keramických častíc. Po vytvorení vrstvy požadovanej hrúbky sa prebytok suspenzie vyleje (obr. 7). Vzhľadom na vysoký obsah tekutiny sa surový keramický výrobok nechá čiastočne vysušiť, pričom jeho pevnosť dosiahne hodnoty vhodné na vyňatie z formy. Rýchlosť tvorby steny je riadená difúziou vody do sadrovej formy.



Obr. 7 Postup tvarovania keramickej súčiastky liatím vodnej suspenzie;

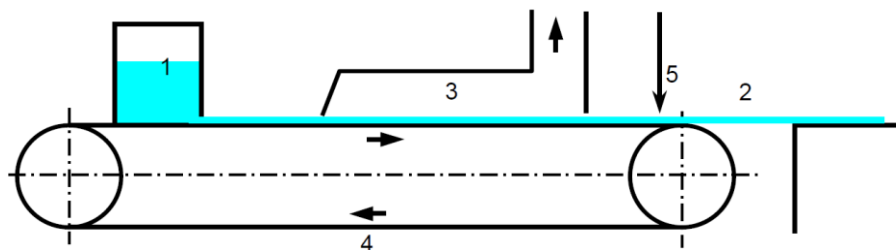
- a) plnenie formy, b) odvod časti kvapaliny stenou formy a vznik hutnejšej vrstvy pri stene formy, c) odstránenie prebytočnej suspenzie, d) odber surového výrobku po čiastočnom vysušení

Vysokú plasticitu keramickej zmesi s prídavkom plastifikátora možno využiť aj pri horúcom liatí, prípadne pri vstrekovom liatí.

Pri **horúcom liatí** (nízkotlakovom vstrekaní) sa ako plastifikátor pridáva parafínová tavenina s prídavkom vosku, prípadne oleja v množstve 10 – 20 %. Leje sa do kovovej formy pôsobením tlakového vzduchu (0,5 MPa) pri teplote 60 – 70 °C. Po ochladení parafínová tavenina stuhne, čím parafín preberá funkciu spojiva.

Pri **vstrekovom liatí** (vysokotlakovom vstrekaní) sa používa polystyrénové spojivo, pričom po jeho roztavení v keramickej zmesi sa táto vstrekuje piestom do formy pod tlakom 20 MPa. Pri chladnutí treba odvod tepla upraviť tak, aby prípadné dutiny pri zmršťovaní vznikali v oblasti nalievacieho systému formy.

Špeciálnym prípadom liatia je **vytváranie keramickej fólie** (obr. 8). Pod pojmom fólia sa rozumie polotovar tvaru dosky s veľmi malou hrúbkou v porovnaní dĺžkou a šírkou. Fólia je vytvorená z keramickej zmesi s makromolekulárnym spojivom, ktoré poskytuje značnú pevnosť aj ohybnosť. Pri tejto technológii sa liaca schopnosť keramickej zmesi dosahuje tým, že sa spojivo (napr. polyakrylát, polyvinylacetát, polyvinylalcohol) rozpustí vo väčšom množstve rozpúšťadla (napr. toulén, xylén, etanol, butanol, trichlóretylén) a homogenizuje sa mletím v guľovom mlyne. Po homogenizácii sa konzistencia keramickej zmesi blíži ku konzistencii náterových hmôt. Tento postup umožňuje pripraviť fólie hrúbky 30 µm až 1 mm, pričom veľkosť použitých častíc nesmie prekročiť 1/5 hrúbky keramickej fólie.

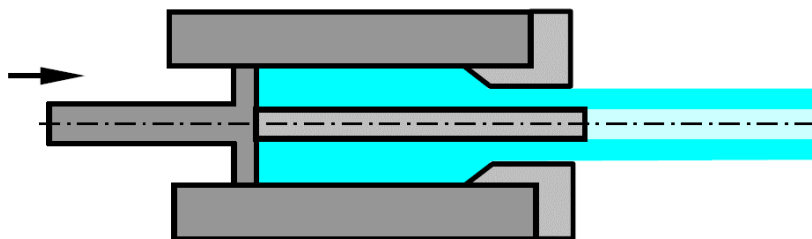


Obr. 8 Postup výroby keramickej fólie liatím suspenzie

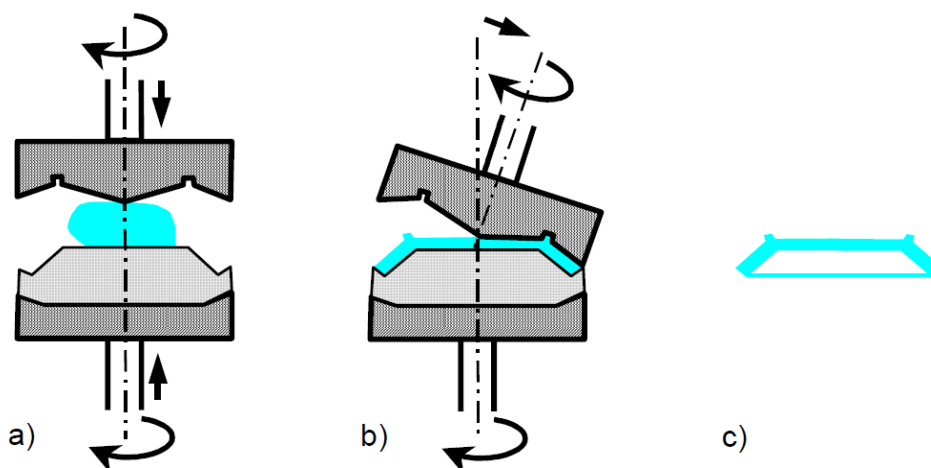
- 1 – zásobník suspenzie so skalpelovým systémom, 2 – vytvorená fólia, 3 – sušiareň, 4 – nekonečný pás, 5 – rezacie zariadenie

## Plastické tvarovanie

Pri *plastickom tvarovaní* je keramický prášok zmiešaný s dostatočným množstvom spojiva, ktoré zabezpečuje stabilitu surového keramického výrobku a dobré plastické vlastnosti pri tvarovaní. Plastické cesto sa pripravuje pomocou lisov, ktoré využívajú fakt, že hnetením sa zlepšuje tvarovateľnosť a plastické vlastnosti keramického cesta. Plastické cesto sa môže počas lisovania zbaviť aj vzduchových bublín, ktoré negatívne ovplyvňujú plastické vlastnosti. Keramický prášok so spojivom tvorí vlastne suspenziu s vysokou viskozitou, ktorú možno tvarovať *vytlačovaním* (obr. 9), prípadne vytváraním žiadaného profilu pomocou rôznych druhov foriem a šablón, t.j. *vytáčaním* (obr. 10).



Obr. 9 Plastické tvarovanie vytlačovaním keramickej rúrky

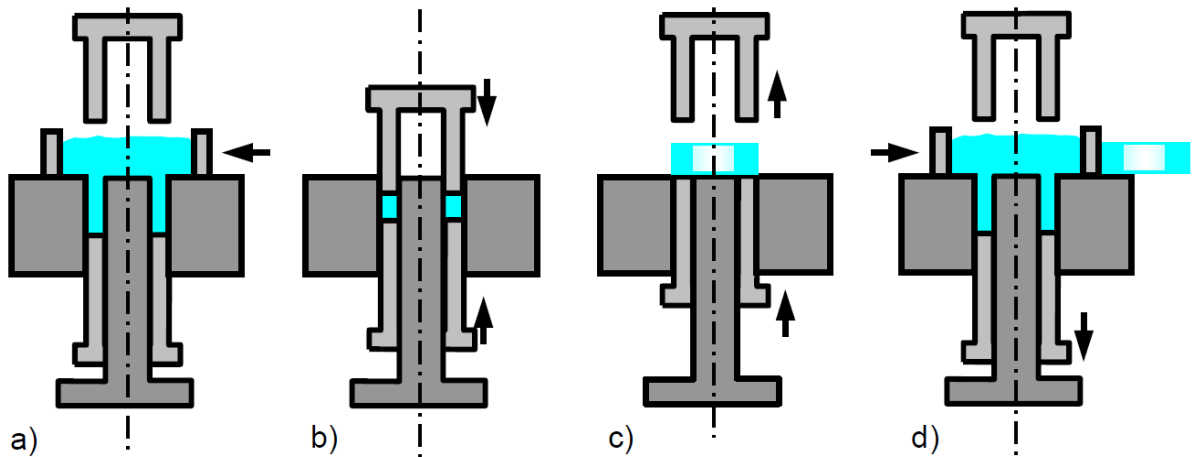


Obr. 10 Postup plastického tvarovania keramického výrobku vytáčaním

- a) umiestnenie dávky keramického cesta na sadrovú formu, pritlačenie odvalovacej hlavy, b) tvarovanie natáčaním odvalovacej hlavy, c) konečný výrobok – tanier

## Lisovanie

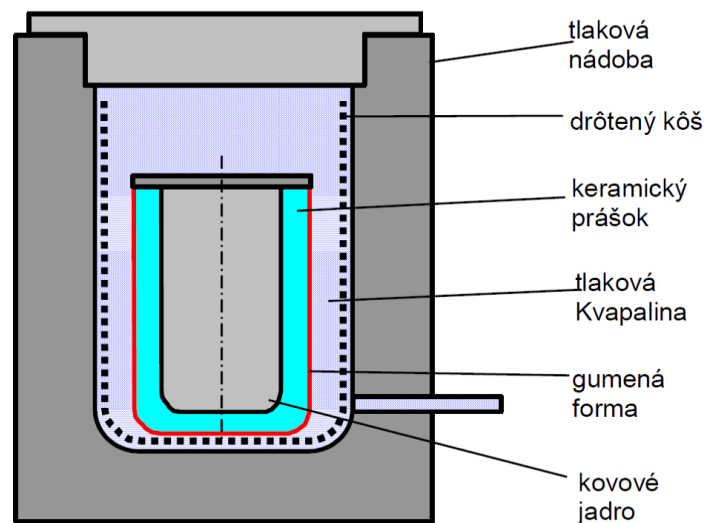
Pri *lisovaní* sa keramický prášok suchý alebo s malým prídavkom spojiva lisuje dostatočne vysokým tlakom (až 200 MPa), pričom vzniká dostatočne pevný a hutný surový keramický výrobok. Pri lisovaní je merná hmotnosť výrazne ovplyvnená konštrukciou nástroja, pretože je veľmi ovplyvnená vysokými hodnotami trenia keramického prášku (malý obsah plastického spojiva). Preto sa jednostranným lisovaním pripravujú len tvarovo jednoduchšie a menšie keramické výrobky. Lepšie hodnoty homogenity možno dosiahnuť obojstranným lisovaním (obr. 11).



Obr. 11 Postup tvarovania keramickej súčiastky obojstranným lisovaním

a) plnenie formy keramicou zmesou, b) tvarovanie, c) vyhadzovanie keramickeho výlisku, d) nové plnenie formy a odber keramickeho výlisku

Najvyššia merná hmotnosť a homogenita sa dosahuje použitím všestranného tlaku – *izostatickým lisovaním*. V tomto prípade je keramickeý prášok uzavretý v gumovej forme a tlak je vytvorený tlakovou kvapalinou (obr. 12).



Obr. 12 Izostatické lisovanie keramickeho prášku

Na určité tvary je veľmi vhodné *žiarové lisovanie*, pri ktorom keramickeý výrobok dosahuje minimálnu zvyškovú pórovitosť (97 – 99 % z teoretickej hustoty). Uskutočňuje sa pri teplotách 1200 – 2000 °C v grafitových formách (využíva sa rast pevnosti grafitu v ťahu z 28 MPa pri izbovej teplote na 490 MPa pri teplote 2500 °C).



## Sušenie

Po tvarovaní a vzniku surového keramického výrobku treba pred výpalom (spekaním) odstrániť vodu použitú na dosiahnutie požadovaného tvaru. Po odstránení vody **sušením** je keramický výrobok charakteristický pórovitosťou, pričom jednotlivé keramické častice pôsobia na seba Van der Waalsovými silami, vodíkovými väzbami, prípadne pomocou molekúl, ktoré ostali absorbované po odstránení vody na povrchu keramických častíc.

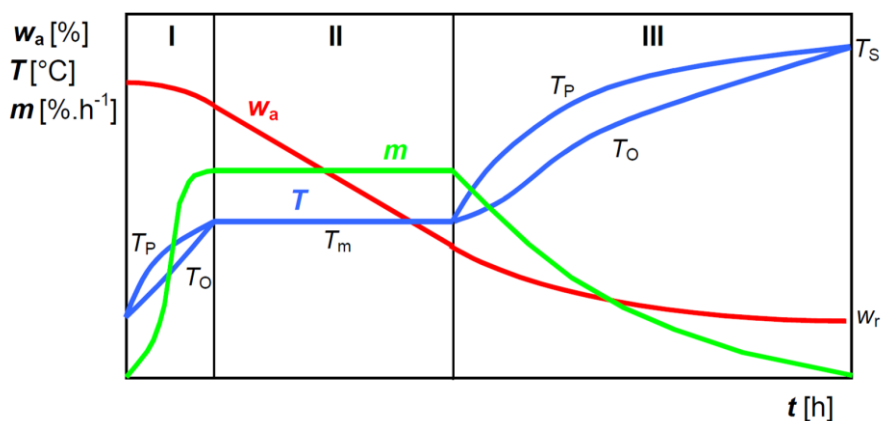
Pri sušení možno pozorovať dve rozdielne etapy, oddelené tzv. kritickým bodom:

- nebezpečná oblasť sušenia, sprevádzaná rozmerovými zmenami v dôsledku približovania keramických častíc,
- bezpečná oblasť sušenia, kedy dochádza k vzniku pórov medzi keramickými časticami.

Použitá voda vo väčšom množstve obalí častice keramického prášku, čím výrazne zníži trenie medzi časticami a tiež rozdelí jednotlivé častice prášku. Pri sušení, resp. odstraňovaní vody sa postupne znižuje vzdialenosť medzi jednotlivými časticami prášku, až dôjde k ich kontaktu. Približovanie jednotlivých častíc prášku možno makroskopicky pozorovať zmršťovaním pri sušení. V tejto etape je surový keramický výrobok veľmi náchylný k tvorbe trhlín a deformácii tvaru. V ďalšej etape už zmršťovanie keramického výrobku nenastáva, pretože dochádza k odstraňovaniu spojiva umiestneného medzi časticami. Po ukončení tejto etapy sa získava surový keramický výrobok bez spojiva.

Sušenie prebieha podľa sušiacieho režimu, ktorým sa riadia parametre sušiacieho prostredia. Týmito parametrami sú tlak, teplota, relatívna vlhkosť a rýchlosť sušiacieho prostredia (najčastejšie vzduchu). Priebeh sušenia je tiež závislý od fyzikálnych vlastností sušeného materiálu.

Pri sušení väčšiny keramických materiálov možno na časovej závislosti pozorovať 3 časové intervaly sušenia (obr. 13): I – interval prehrievania, II – interval stálej rýchlosti sušenia a III – interval klesajúcej rýchlosti sušenia. V intervale prehrievania (I) sa zvyšuje teplota telesa tak, že jeho povrch sa ohrieva rýchlejšie než vnútro. Úmerne s ohrevom rastie rýchlosť sušenia a klesá vlhkosť. Nasleduje interval stálej rýchlosti sušenia (II), kedy vlhkosť postupuje z objemu telesa na jeho povrch a odparuje sa. Počas tohto intervalu je rýchlosť sušenia konštantná. Nasledujúci interval (III) je charakterizovaný klesajúcou rýchlosťou sušenia, pričom sa zároveň zvyšuje teplota keramického telesa. Je to spôsobené tým, že vlhkosť už nie je spojená v celom objeme keramického telesa a povrch vyparovania sa posúva do vnútra keramického telesa, pričom teplota na povrchu telesa rastie rýchlejšie ako teplota vnútri telesa. To má za následok znižovanie rýchlosti sušenia. Sušenie sa končí dosiahnutím rovnovážnej vlhkosti.



Obr. 13 Zmena absolútnej vlhkosti  $w_a$ , teploty  $T$  a rýchlosti sušenia v keramického telesa v závislosti od času sušenia  $t$ ;

$T_P$  – teplota povrchu telesa,  $T_V$  – teplota vnútri telesa,  $T_S$  – teplota prostredia

Medzi najčastejšie **spôsoby sušenia** možno zaradiť:

1. *teplovzdušné (konvenčné) sušenie*;
2. *sálavé (radiačné) sušenie*;
3. *sušenie so vznikom tepla v materiáli*.

**Teplovzdušné (konvenčné) sušenie** je najrozšírenejší spôsob sušenia, pri ktorom sa teplo potrebné na odparovanie vody privádza do sušiarne teplým vzduchom a odovzdáva sa sušenému materiálu prúdením (konvekciou). V začiatočnom štádiu vzniká nebezpečenstvo porušenia keramického výrobku, pretože sa jeho povrch rýchlo prehrieva a rýchlo vysušuje. Vzniká veľký vlhkosťný rozdiel medzi objemom a povrchom keramického telesa spojený s výrazným teplotným rozdielom. Na odstránenie tohto javu sa na začiatku používa vlhký teplý vzduch, ktorý zaisťuje počiatočné prehriatie keramického výrobku. Medzi novšie spôsoby možno zaradiť aj rytmické sušenie, pri ktorom pôsobí intenzívne sušenie na začiatku sušenia prerušovane v krátkych intervaloch. Tým sa zabraňuje vzniku nežiaduceho vysokého teplotného a vlhkosťného rozdielu medzi povrchom a objemom telesa.

**Sálavé (radiačné) sušenie** je spôsob sušenia, pri ktorom sa teplo potrebné na odparovanie vody odovzdáva sušenému materiálu prostredníctvom tepelného žiarenia. Tepelné žiarenie (infračervené žiarenie) sa vytvára pomocou rôznych druhov žiaričov. Výhodou tohto spôsobu sušenia je to, že žiarenie preniká do určitej hĺbky výrobku. Tým sa materiál prehrieva aj vo svojom objeme a nevzniká nebezpečenstvo vzniku veľkých vlhkosťných a tepelných rozdielov medzi povrchom a objemom.

**Sušenie so vznikom tepla v materiáli** je spôsob sušenia charakteristický tým, že teplo potrebné na odparovanie vody vzniká priamo v materiáli v celom priereze výrobku. Na počiatočné štádium sušenia je vhodný *odporový ohrev*, pri ktorom teplo vzniká pri prietoku elektrického prúdu vlhkým keramickým výrobkom. Výhodou tohto procesu je vysoká účinnosť (80 – 90 %). Pri *indukčnom* (dielektrickom) *ohreve* vzniká teplo pôsobením elektrického poľa s vysokou frekvenciou. Ohrievané teleso predstavuje dielektrikum, ktorého dielektrické straty sa premieňajú na teplo. Týmto spôsobom možno sušiť aj tvarovo zložitejšie výrobky. Nevýhodou je nižšia efektívnosť tohto spôsobu sušenia (do 50 %).

### 2.4.3 Výpal (spekanie)

**Výpal** predstavuje teplotné spracovanie keramického materiálu, ktorého výsledkom je keramický výrobok. Pri výpale prebiehajú na hraničných plochách disperzného systému základné procesy tvorby mikroštruktúry keramiky. Sú spojené s fyzikálnymi a chemickými dejmi. Zvýšená teplota umožňuje zvýšenú pohyblivosť atómov látok, difúziu aj chemické reakcie, modifikačné (fázové) premeny, rekryštalizáciu a rast novovzniknutých kryštálov, tvorbu tekutej fázy a spekanie materiálu. Tieto deje ovplyvňujú voľbu teplotného režimu pri výpale v peciach, najmä teplotu a čas výdrže, rýchlosť ohrevu a ochladzovania, pecnú atmosféru.

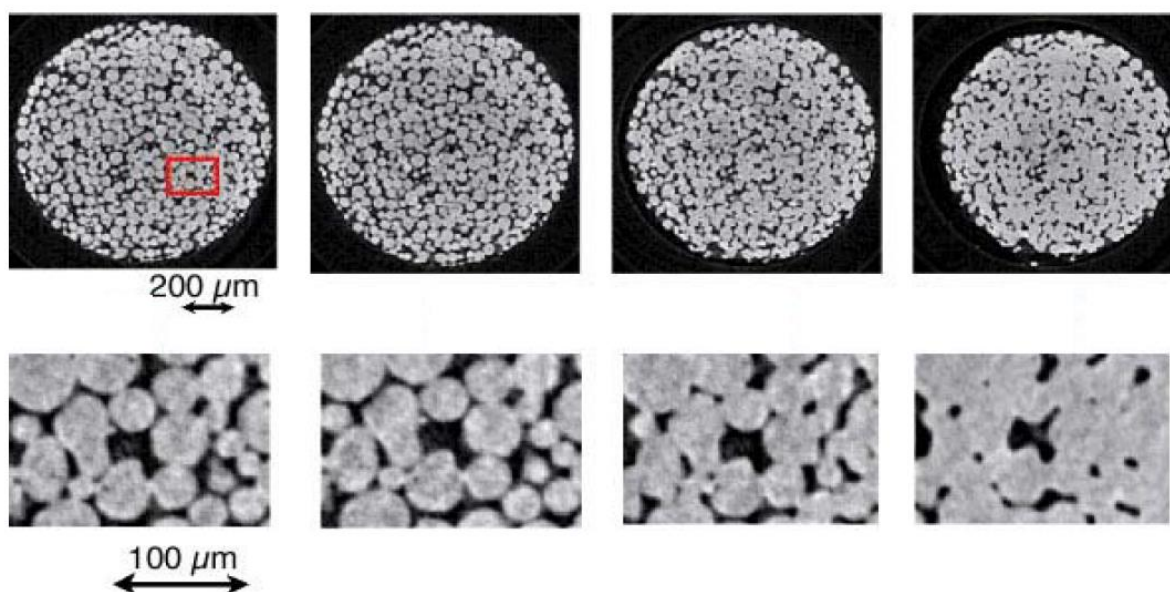
Pri tradičnej keramike sa na označenie jej teplotného spracovania používa komplexnejší pojem **výpal**, pretože pri tomto druhu keramiky je vplyv sprievodných procesov veľmi výrazný (tab. 5). Pojem **spekanie** je charakteristický pre teplotné spracovanie najmä progresívnej keramiky, pretože pri jej teplotnom spracovaní zvyčajne nie sú pozorované výraznejšie chemické a fázové zmeny v materiáli.

Tab. 5 Prehľad základných procesov prebiehajúcich pri výpale porcelánu

Teplotná oblasť	Charakteristika dejov
Ohrev	
do 400 °C	Odstránenie absorpčne viazanej vody, materiál sa stáva krehkejším.
400 – 700 °C	Kritický úsek výpalu. Prebieha dehydroxylácia ílových minerálov a modifikačná premena kremeňa. Obe reakcie sú spojené s objemovou zmenou.
700 – 950 °C	Rozklad uhličitanov.
950 – 1200 °C	Prebieha reakcia $\text{Fe}^{3+} \Rightarrow \text{Fe}^{2+}$ .
950 ~ 1380 °C	Premena metakaolinu na spinelovu a mullitovu fázu, rozpúšťanie zrn kremeňa. Intenzívne spekanie, zaniká otvorená pórovitosť, uzavretá pórovitosť klesá na minimum.
Ochladzovanie	
1350 – 900 °C	Prítomnosť sklovitej fázy, vznik ihličkového mullitu.
900 – 100 °C	Materiál sa stáva opäť krehkým, prebehne modifikačná premena kremeňa.

**Spekanie** je vysokoteplotné spracovanie keramického polotovaru, pri ktorom dochádza k výraznej zmene vlastností pri relatívne malej zmene tvaru. Dochádza k výraznému poklesu pórovitosti, k rastu hutnosti a pevnosti.

Hnacou silou spekania je pokles energie. Každá látka má určitú časť energie, ktorej veľkosť je úmerná veľkosti jej povrchu. Čím väčší je povrch, tým väčšiu energiu má daná látka. Každá látka sa aj svojím tvarom snaží priblížiť k stabilnému rovnovážnemu stavu s minimom energie. To znamená, že poklesom veľkosti jej povrchu sa látka približuje k rovnovážnemu stavu. Tento efekt možno bežne pozorovať v prírode. Tekutiny sa snažia priblížiť svojím tvarom guľi, t.j. telesu s minimálnym povrchom voči objemu (plynová bublina vo vode, kvapka ortuti). Rovnaký efekt sa prejavuje aj pri spekaní. Keramický prášok tvorí veľké množstvo častíc s malým objemom a veľkým povrchom. Pri spájaní častíc dochádza k zániku časti povrchov a teda k poklesu celkovej energie látky.

Obr. 14 Priebeh spekania prášku  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Spekanie je pomerne zložitý proces, ktorý tvoria 3 štádiá (obr. 14):

- vznik krčkov, t.j. spojení medzi jednotlivými keramickými časticami, a to buď transportom hmoty z povrchu častíc (vyskytuje sa pri neoxidovej keramike), alebo približovaním stredov častíc (častejší prípad),
- znižovanie pórovitosti, vznik súvislej pórovitosti valcovitého tvaru a uzatváranie pórov,
- zmenšovanie veľkosti uzatvorených pórov a hrubnutie štruktúry (rast väčších kryštálov, zánik menších).

Rýchlosť spekania je závislá od difúzie. To znamená, že hoci spekanie prebieha aj v tuhom stave, môže sa veľmi urýchliť, ak je časť látky v tekutom stave (viaczložkové sústavy). Pri tradičnej keramike možno použiť na tento účel najmä tavivá. Pri progresívnej keramike sa s týmto efektom môžeme stretnúť napríklad pri reakčnom spekaní SiC.

### Pece pre výpal (spekanie)

Výpal keramiky sa uskutočňuje v peciach, ktoré možno podľa konštrukčných znakov rozdeliť do troch skupín:

- *periodické pece;*
- *pece s pohyblivým ohrevom;*
- *pece s pohyblivou vsádzkou.*

**Periodické pece** sú charakteristické tým, že vsádzka výrobkov je v nich uložená po celý čas výpalu a chladenia bez pohybu. Pracovný cyklus periodickej pece sa skladá zo zanesenia materiálu, jeho výpalu, chladenia a vyvezenia. Sú ekonomicky nevýhodné, preto majú opodstatnenie iba v malosériovej výrobe, resp. pri pokusných výrobách. Typickými predstaviteľmi sú pece komorové, vozové a zvonové.

**Pece s pohyblivým ohrevom** sa vyznačujú tým, že výrobky pri výpale sú nehybné, pričom sa žiarové pásmo voči vsádzke pohybuje. Typickými predstaviteľmi sú kruhové pece, pri ktorých sa jednotlivé časti niekedy oddeľujú priečkami. Pece tohto typu sú veľmi hospodárne, vyžadujú však prácu s materiálom v horúcom prostredí.

**Pece s pohyblivou vsádzkou** sú vybavené stálym vyhrievaním, odtahovým a chladiacim systémom. Cez pecný priestor sa vsádzka pohybuje na vhodnom dopravnom zariadení. Typickými predstaviteľmi sú tunelové pece. Ich prednosťou je hospodárnosť, možnosť dosiahnuť vysoké teploty a umožňujú plnú automatizáciu prevádzky.

Časový priebeh výpalu keramiky (ohrev, výdrž, ochladzovanie) je potrebné optimalizovať s ohľadom na efektivitu a minimalizáciu množstva chýb. Nedostatky vzniknuté počas výpalu sú spôsobené nedodržaním požadovaných vlastností, odchýlkami tvaru a rozmerov, kazmi glazúr, trhlinami, výskytom bublín a úplnou deštrukciou výrobku.

## 2.5 Druhy a použitie keramiky

Ako už bolo uvedené v kap. 2.2, pre základné rozdelenie keramiky sa používa členenie na *tradičnú* a *progresívnu (modernú technickú) keramiky*. Modernú technickú keramiky je možné ďalej rozdeliť na *konštrukčnú keramiky* (vrátane nástrojových keramických materiálov), ktorá sa využíva predovšetkým na náročné aplikácie (napr. vysokonamáhané súčiastky pracujúce pri vysokých teplotách alebo v koróznom prostredí) a *funkčnú keramiky*, ktorá je vďaka svojim špecifickým (najmä fyzikálnym) vlastnostiam určená pre elektrotechniku, elektroniku, optiku a pod.

Tradičnú keramiky je možné rozdeliť podľa rozličných kritérií, ako napr. podľa použitých materiálov (prírodné, syntetické, recyklovateľné a odpadové); podľa výrobných technológií; chemického zloženia; stupňa nasiakavosti; teploty výpalu; účelu použitia a pod.

Podľa výrobných technológií sa keramiky rozdeľuje na:

- *jemnú keramiky* – úžitková keramiky (porcelán, fajansa, majolika); laboratórna, zdravotnícka a technická keramiky;
- *hrubú keramiky* – stavebná keramiky (kamenina a tehliarske výrobky, obklady, podlahová dlažba, keramiky pre chemický priemysel, kanalizačné a kyselinovzdorné výrobky atď.); žiaruvzdorná keramiky.

Kritériom pre rozdelenie keramiky podľa nasiakavosti črepu je technologická skúška, pri ktorej sa zisťuje, koľko vody absorbuje keramický črep po 2-hodinovom varení a 24-hodinovom státi vo vode. Podľa nasiakavosti sa keramiky rozdeľuje na:

- *hutnú (spekanú) keramiky* – nasiakavosť do 2 % (porcelán);
- *polospekanú keramiky* – nasiakavosť od 2 do 5 %;
- *pórovitú keramiky* – nasiakavosť nad 5 % (hrnčiarске výrobky, tehliarske výrobky, brúsne materiály);

čo závisí hlavne od teploty výpalu (1000 až 1800 °C).

Podľa chemického zloženia sa keramiky rozdeľuje na:

- *oxidovú keramiky* – zahŕňa keramické materiály pozostávajúce predovšetkým z oxidov kovov ako sú oxid hliníty, oxid zirkoničity;
- *neoxidovú keramiky* – zahŕňa keramické materiály na báze zlúčenín uhlíka, dusíka a kremíka, ako sú karbid kremíka, nitrid kremičity a nitrid hliníty.

### 2.5.1 Tradičná keramiky

Medzi tradičné keramické výrobky, vyrábané na báze ílových surovín, patrí najmä porcelán, fajansa (majolika), terakota, kamenina, tehliarske výrobky, hrnčiarске výrobky a pod.

**Porcelán** je hutný biely keramický materiál, v tenkej vrstve transparentný, nepriepustný pre vodu a plyny. Hlavnými surovinami pre výrobu porcelánu je *kaolín*, *kremeň* a *živca*. Vypaľuje sa v tunelových peciach. Podľa tradičného postupu sa na čiastočne spevnený výrobok po prvom nižšom výpale naniesie glazúra a potom nasleduje konečný výpal. Porcelán sa používa pre riady, pre chemické a elektrotechnické účely a pod. Podľa zloženia a výpalu sa rozlišuje porcelán mäkký a tvrdý.

**Fajansa (majolika)** predstavuje výrobky z jemnej pórovitej keramickej hmoty prekrytej nepriehľadnou bielou olovnato-cínčitou glazúrou, niekedy zafarbenou oxidmi kovov, zdobené maľbou alebo plasticky. Pripomína porcelán.

**Terakota** predstavuje pórovité výrobky z *pálenej hliny*, obyčajne žltá až hnedočerveno zafarbené. Môžu byť zdobené aj glazúrované. Terakota sa používa ako architektonická dekorácia, ozdoby štítov stavieb, ozdoby okrajov stiech a pod.

**Kamenina** je keramický materiál z *ílových surovín* s prímiesami *živca*, *kremeňa* a i., zafarbený obyčajne na žltá až hnedo (oxidmi železa), s nepriehľadným, rôznofarebným črepom a nízkou nasiakavosťou. Je ideálny pre výrobu úžitkovej keramiky. Používa sa pre podlahy (dlaždice), fasády a steny (obkladačky) a iné predmety (nádoby, korytá).

**Tehliarske výrobky** sú pórovité keramické výrobky charakteristicky zafarbené v dôsledku prítomnosti oxidov železa v surovinách. Používajú sa na stavebné účely, napr. tehly a tvarovky väčších rozmerov, často dierované alebo duté, vypálené aj nevypálené, krytinové tašky a pod. Hlavnou zložkou je jemný kremový prach (*kremeň, živica a slúda*) a íl.

### Porcelán

*Porcelán* je keramický materiál s bielym homogénnym transparentným črepom, prakticky s nulovou nasiakavosťou, s relatívne vysokou mechanickou a chemickou odolnosťou. Podľa teploty výpalu, použitých surovín a vlastností sa delí na mäkký a tvrdý.

*Mäkký porcelán* sa vypaľuje pri teplotách nižších ako 1300 °C. Tento druh porcelánu je po výpale krehkejší, má nižšiu mechanickú pevnosť a nižšiu odolnosť proti náhlym zmenám teploty (teplotným šokom). Mäkký porcelán nevyžaduje pri výpale redukčnú atmosféru, preto sa pre jeho povrchovú úpravu používajú krycie glazúry. Pri použití redukčného výpalu sa dosiahne zvýšenie bielych črepu a je možné použiť transparentnú glazúru.

*Tvrdý porcelán* je typickým stredoeurópskym typom porcelánu tzv. klasického surovinového zloženia. Obsahuje asi 50 % kaolínu, 25 % kremeňa a 25 % živca. Teplota výpalu je 1350 až 1430 °C s meniacim sa charakterom prostredia pri výpale od oxidačného cez redukčný k neutrálnemu. Výpalom vznikne materiál s homogénnou jemne zrnitou mikroštruktúrou.

Tvrdý porcelán sa podľa použitia rozdeľuje na:

- *úžitkový* – výrobky určené prevažne pre dennú spotrebu, bežné stolovanie (jedálenské, nápojové súpravy);
- *ozdobný (dekoratívny)*;
- *technický*.

### Dekoratívna keramika

Pri dekoratívnej keramike sa zdôrazňuje predovšetkým výtvarná, estetická stránka, lebo ide o dekoráciu. Vyrába sa ako jednotlivé kusy alebo série. Patrí sem:

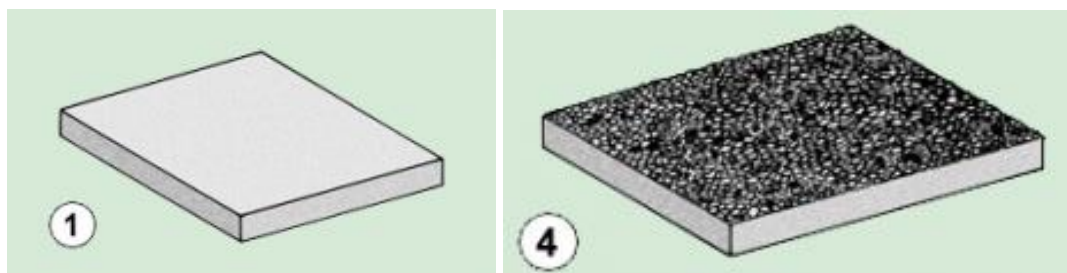
- *figurálna keramika* – predstavuje rozličné ľudské i zvieracie motívy;
- *ozdobná keramika* – predstavuje poloužitkové predmety, napr. vázy, svietniky, popolníky;
- *ľudová keramika* – vychádza z ľudovej tradície, ide o džbány, čutory, tanierne na zavesenie atď.

### Technická keramika

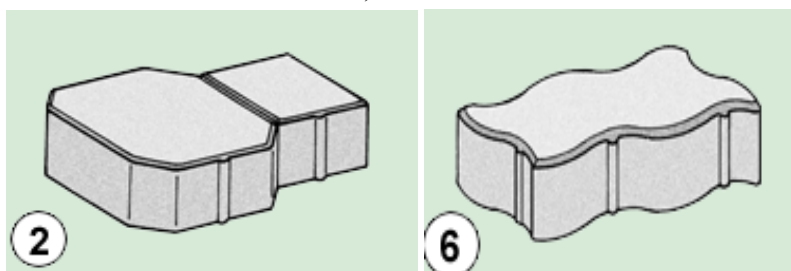
Veľa keramických výrobkov sa používa na technické účely. Patrí sem napr. stavebná keramika, tehliarske výrobky, kamenina atď.

*Stavebná keramika* zahŕňa predovšetkým (obr. 15):

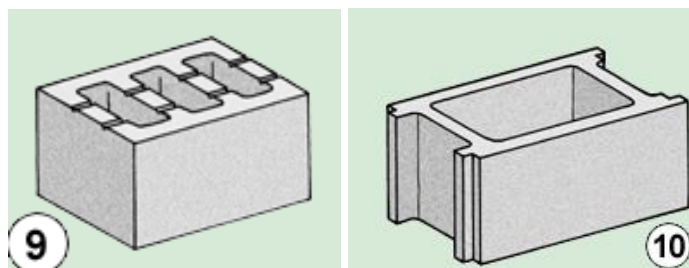
- *obkladačky* – tenkostenná keramika (pórovité, porcelánové, terakotové a pod.);
- *dlaždice*, určené pre stavby pozemných komunikácií, chodníkov, odstavné plochy a parkoviská – vyrábané sú vypaľovaním z plastických keramických zemín a neplastických ostrív; môžu byť tehliarske, kameninové a tzv. šatové (namáhaná dlažba).



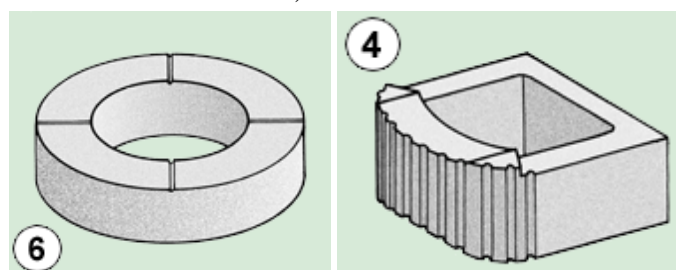
a) dlažba



b) zámková dlažba



c) tvárnice



d) hydrantová tvárnica

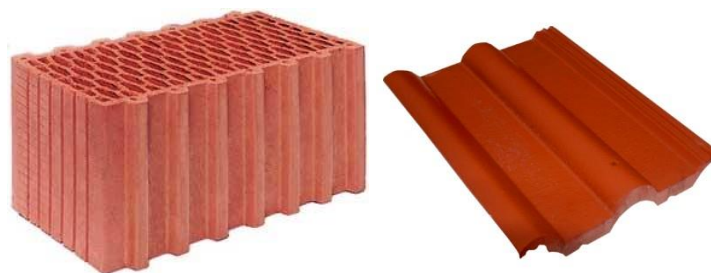
e) svahová tvárnica

Obr. 15 Príklady dlažby a dlaždíc

*Tehliarske výrobky* sú pórovité keramické výrobky s farebným črepom. Charakteristická farba je daná prítomnosťou oxidov železa v surovinách. Hlavné suroviny pri ich výrobe sú *tehliarske íly*, *hlina*, *prísady* (piesok, popolčeky) a *spáľiteľné látky* (napr. drevené piliny, práškové uhlie) na zvýšenie pórovitosti a tepelnej izolácie.

Tehliarske výrobky sa tvarujú lisovaním alebo ťahaním a vypaľujú sa pri teplote 900 – 1000 °C v tunelových peciach. Patria sem:

- *tehly* (obr. 16);
- *škridla*;
- *tehlové dlaždice a obkladačky*.

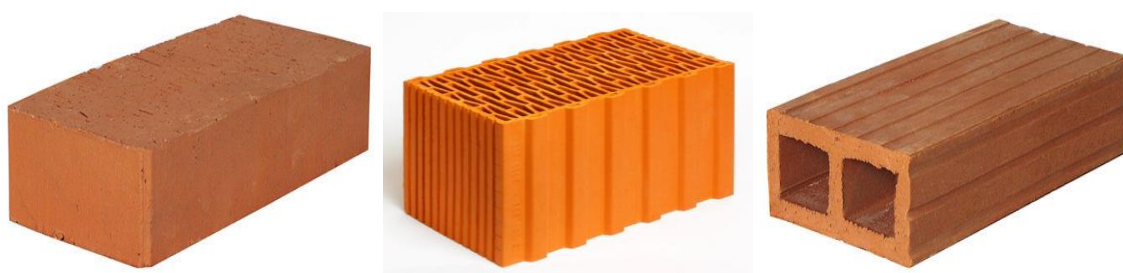


a) tehla

b) škridla

Obr. 16 Príklady tehliarskych výrobkov

Tehly sa podľa hrúbky črepu delia na hrubostenné (viac ako 15 mm) a tenkostenné (do 15 mm). Podľa objemovej hmotnosti sa delia na obyčajné a ľahčené. Pre nosné steny sa používajú tehly plné a dierované, pre steny výplňové a izolačné sa používajú tehly duté (obr. 17).



Obr. 17 Príklady tehliel

*Kamenina* má biely črep a vyrába sa dvojitým pálením z *bieleho ílu*, *kaolínu* a *ostriva*. Výrobky z kameniny musia byť voľne nepriepustné, glazúra musí byť rovnomerne rozložená a musí odolávať kyselinám. Patrí sem:

- *chemická (sanitárna) kamenina*;
- *obyčajná kamenina*;
- *kanalizačná a hospodárska keramika*.

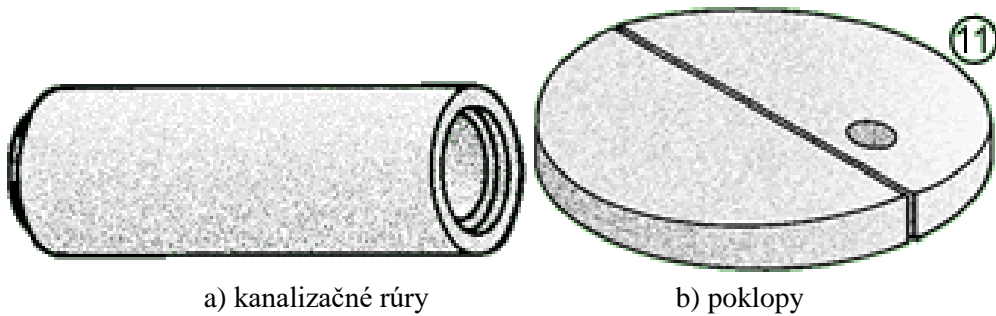
Chemická (sanitárna) kamenina má jemný biely črep a používa sa na umývadlá, WC misy, výlevky, rúrky a pod (obr. 18). Ide o keramické výrobky opatrené krycou bielou alebo farebnou glazúrou. Vyrábajú sa najčastejšie liatím z brečky.



Obr. 18 Príklady chemickej (sanitárnej) kameniny



Obyčajná kamenina má hrubý sivý alebo hnedý črep a používa sa ako stavebná keramika (kanalizačné rúry, poklopy), hospodárska keramika (žľaby, napájačky pre dobytok) alebo ako chemická keramika, ktorá odoláva kyselinám a iným žieravinám (obr. 19). Ide o výrobky z ílovitých spekaných surovín a ich zmesí s prídavkami ostriva, pálených pri teplotách od 1150 do 1350 °C.



a) kanalizačné rúry

b) poklopy

Obr. 19 Príklady obýčajnej kameniny

### Žiaruvzdorná keramika

Žiaruvzdorná keramika sa používa hlavne na výmurovky vysokoteplotných agregátov, predovšetkým za účelom zníženia teplotných strát. Dôležitú úlohu hrajú tepelná vodivosť a tepelná kapacita.



Obr. 20 Príklady žiaruvzdornej keramiky

Žiaruvzdornú keramiku možno rozdeliť podľa tepelnej odolnosti na žiaruvzdorné materiály (odolávajú teplotám nad 1 500 °C) a vysoko žiaruvzdorné materiály (odolávajú teplotám nad 1 800 °C).

Žiaruvzdorné materiály sa rozdeľujú podľa použitej a prevládajúcej petrografickej zložky na uhlíkaté (koksové, grafitové), karbidové, oxidické, kremičitanové a zmesové. Podľa druhu chemickej reakcie sa rozdeľujú na kyslé, neutrálne a zásadité; podľa tepelného spracovania na nepálené, pálené a tavené; podľa tvaru na tvarované a zrnené.



Obr. 21 Príklady použitia žiaruvzdornej keramiky

Medzi najpoužívanejšie žiaruvzdorné materiály patrí šamot, dinas, magnézia, korundové výrobky, cermet.

*Šamot* sa používa najčastejšie. Obsahuje  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; je žiaruvzdorný v intervale teplôt 1670 – 1770 °C. Šamot je vhodným materiálom pre výmurovky pecí v hutníckom, keramickom a sklárskom priemysle, ďalej sa používa na výrobu taviacich kelímkov, panví a pod.

*Dinas* obsahuje 92 – 95 %  $\text{SiO}_2$  a približne 3 %  $\text{CaO}$ ; je žiaruvzdorný do 1710 °C a málo odolný voči náhlym zmenám teploty. Dinas vykazuje objemovú stálosť za vysokých teplôt, preto sa používa ako materiál pre samonosné klenby vysokoteplotných pecí v silikátovom a metalurgickom priemysle a pre výmurovky koksárenských pecí.

*Magnézia* obsahuje 87 %  $\text{MgO}$  a do 8 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; je žiaruvzdorný až do 2040 °C. Názov je odvodený zo základnej suroviny – magnezitu. Používa sa na výmurovky oceliarskych a cementárenských pecí.

*Korundové výrobky* obsahujú až 95 % čistého oxidu hlinitého, ktorý zabezpečuje vysokú žiaruvzdornosť a nepatrnú tepelnú rozťažnosť. Používajú sa ako izolátory pre zapaľovacie sviečky.

*Cermet* je novodobý žiaruvzdorný materiál, ktorý v sebe spája vlastnosti kovov s tvrdosťou a žiaruvzdornosťou keramiky. Vyrába sa lisovaním a spekaním zmesi keramických a kovových práškov. Vyniká pevnosťou a chemickou aj tepelnou odolnosťou. Vyrábajú sa z neho tavné elektrické odpory, lopatky plynových turbín, spaľovacie komory prúdových a raketových motorov.

### 2.5.2 Progresívna (moderná technická) keramika

### 2.5.3 Konštrukčná oxidová keramika (materiály na báze $\text{Al}_2\text{O}_3$ a $\text{ZrO}_2$ )

### 2.5.4 Konštrukčná neoxidová keramika (materiály na báze $\text{Si}_3\text{N}_4$ a $\text{SiC}$ )

### 2.5.5 Funkčná keramika a biokeramika