

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Jadranska 19, 1000 Ljubljana

KERAMIKA

Miha Škerget

Mentor: dr. P. Zihel

Ljubljana, 9. maj 2007

1 Uvod

Besedo keramika uporabljamo zelo pogosto, saj so keramike različnih vrst prisotne dobesedno na vseh koncih sveta in v mnogih oblikah. Beseda izvira iz stare Grčije kjer je "keramos" pomenilo žgano snov. Značilni proces za izdelavo keramike je sintranje, to je utrjevanje pri visoki temperaturi. Danes ločimo keramike na dve osnovni skupini.

Tradicionalna keramika zajema surovine in proizvode na osnovi gline in ker glina vsebuje silikate, ji pravimo tudi silikatna keramika. To so kamnine, lončevina, porcelan, ploščice, opeka in strešniki. Te vrste keramike človek pozna in jih s pridom uporablja že tisočletja.

Druga vrsta je tehnična keramika, ki navadno ni izdelana iz gline. Sem spadajo razni oksidi, kot so korund in cirkonijev oksid, pa tudi različni karbidi in nitridi. Tehnična keramika se je začela razvijati s tehnološkim razvojem človeka. Sedaj se uporablja na skoraj vseh področjih, v gradbeništvu in elektrotehniki, v medicini in avtomobilizmu, letalstvu in optičnih sistemih, skratka keramike so povsod okoli nas. Keramične materiale delimo v tri glavne skupine, predstavljene v tabeli 1.

Silikatna keramika	Oksidna keramika	Neoksidna keramika
kamnina	aluminijev oksid	ogljik/grafit
porcelan	cirkonijev oksid	silicijev karbid
steatit	titanijev oksid	silicijev nitrid
kordierit	berilijev oksid	borov karbid
steklokeramika	magnezijev oksid	borov nitrid
	uranov oksid	titanov borid
	titanati	molibdenov
	feriti	disilicid

Tabela 1: Tri najpomembnejše skupine keramičnih materialov in njihovi glavni zastopniki [1].

Po lastnostih lahko materiale razdelimo v tri skupine: kovine, polimere in keramike. Keramika je obstojna tudi pri relativno visokih temperaturah, je trda in ima visoko tlačno trdnost. Je odporna proti abraziji in koroziji. Splošno so keramični materiali dobri električni izolatorji, vendar so nekateri tipi ionski prevodniki ali polprevodniki. Osnovna pomanjkljivost keramičnih materialov je krhkost in s tem povezana majhna odpornost na nagle spremembe temperature.

Keramika ima torej nekatere specifične lastnosti, zaradi katerih je nenadomestljiva. Vpliv negativnih lastnosti pa se zmanjšuje s primerno izdelavo in obdelavo keramičnih izdelkov ter razvojem novih tipov keramik. Izhodna

surovina za keramiko je prah, ki ga oblikujemo v izdelke ter ga nato utrdimo z žganjem. Značilnost sodobne keramične proizvodnje je skrbna kontrola surovin, tehnologije in proizvodov.

2 Zgradba trdnin

2.1 Splošno

Za razumevanje zgradbe keramik zadostuje najpreprostejši model atoma. Pozitivno nabito jedro obdaja ustrezno število negativnih elektronov. Med atomi delujejo kovinske, ionske, kovalentne in van der Waalsove (sekundarne) vezi. Kovinska vez je tipična za kovine, glavne značilnosti pa so prosti elektroni in neusmerjenost vezi, kar se odraža v električni in toplotni prevodnosti ter sposobnosti plastične deformacije. Za keramične materiale so značilne ionske, kovalentne in sekundarne vezi.

Za ionsko vez je značilno, da se različno nabiti kationi in anioni električno privlačijo. Predstavnik snovi s pretežno ionsko vezjo sta MgO in NaCl. Pri kovalentni vezi se elektroni združujejo v pare in si sosednji atomi elektronske pare delijo. Primera s kovalentno vezjo sta diamant in SiC. Sekundarne vezi pa so posledica privlaka med induciranimi električnimi dipoli v snovi. V snoveh s kovalentno in ionsko vezjo so elektroni lokalizirani in niso prosto gibljivi. Zato so keramični materiali načeloma električni in toplotni izolatorji. Pri povišanih temperaturah pa zaradi povečane gibljivosti ionov v električnem polju snovi postanejo prevodne.

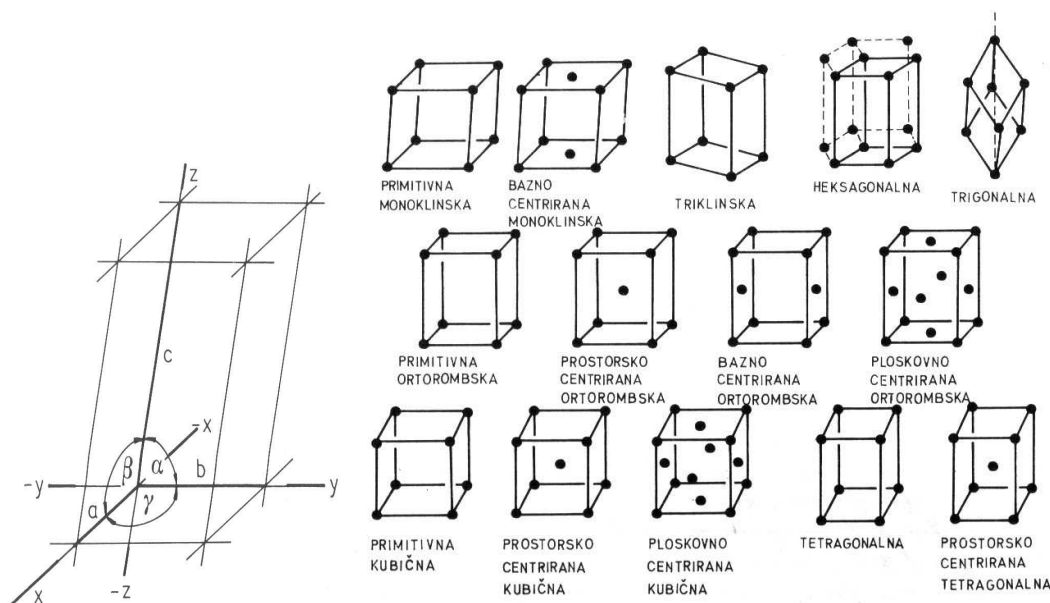
Zaradi močnih ionskih in kovalentnih vezi so keramični materiali mehansko trdni in obstojni pri visokih temperaturah. Ker so elektroni lokalizirani, je pri obremenitvah onemogočeno drsenje atomskih plasti v kristalu. Zaradi tega ni mogoča plastična deformacija in pri prekoračitvi meje napetosti keramika hitro počí. Torej so keramike krhke. Sekundarne vezi pa zmanjšujejo trdnost. Primer je magnezijev silikat [1], ki ima plastno strukturo. Atome znotraj plasti vežejo močne vezi, plasti med seboj pa vežejo sekundarne vezi. Posledica je, da lahko plasti drsijo med sabo, kar omogoča plastično deformacijo. To je zelo očitno pri glinah, ki jih oblikujemo kar z rokami.

V nekaterih trdnih snoveh so delci pozicijsko neurejeni; to so amorfne snovi, npr. stekla. V drugih imamo urejeno strukturo in tem pravimo kristali.

2.2 Kristali

Keramike imajo v splošnem kristalno strukturo. Večina je polikristalnih, kar pomeni, da jih sestavlja mnogo malih kristalnih zrn. Tehnično je mogoče

s posebnimi postopki izdelati monokristale [2], ki so lahko večji kot 1 m. Osnovna značilnost kristalov je prostorska urejenost atomov. Osnovnemu gradniku kristala pravimo osnovna celica, ki pa je sestavljena iz atomov. Obliko osnovne celice lahko opišemo, če navedemo dolžine robov a , b , c in kote med osmi α , β , γ , kot je prikazano na sliki 1 levo. Glede na simetrijo celice ločimo 7 kristalografskih sistemov, glede na razporeditev atomov pa imamo 14 prostorskih (Bravaisovih) mrež, ki so predstavljene na sliki 1.



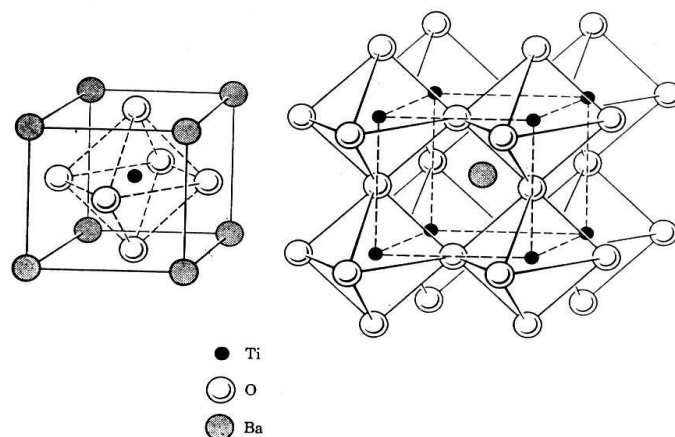
Slika 1: Levo: osnovna celica prostorske mreže in njeni parametri. Desno: 14 Bravaisovih (kristalnih) mrež [1].

Osnovna celica kubičnega sistema je kocka. Glede na razporeditev atomov ločimo tri tipe mrež:

- atomi v ogliščih kocke (primitivna kocka)
- atomi v ogliščih in v centru kocke (prostorsko centrirana)
- atomi v ogliščih in na središčih ploskev (ploskovno centrirana)

Pri enako velikih kroglicah (atomih) zloženih v ploskovno centrirano kocko, lahko izračunamo delež prostornine, ki jo zasedajo atomi. S hitrim razmislekom pridemo do rezultata: $Z = 4V_{kroglica}/V_{kocka} = \pi\sqrt{2}/6 = 74\%$. Torej je v tej postavitvi praznega prostora kar 26%. To je pravzaprav največja zasedenost, ki je mogoča s kroglicami enake velikosti. Ostale kristalne strukture imajo manjše polnilno razmerje in hitro postanejo sila zapletene.

Večino keramičnih struktur sestavljajo kristalne strukture kisikovih ionov in kationov različnih elementov. Za primer si oglejmo keramiko perovskit [1] s splošno formulo ABO_3 , ki ima dokaj kompleksno strukturo in je prikazana na sliki 2. Kation A mora biti zaradi posebne sestave kar precej velik. Kation



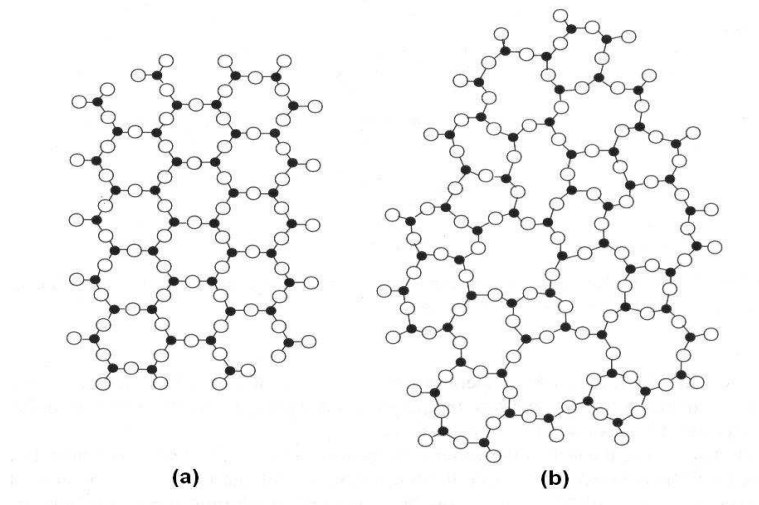
Slika 2: Struktura perovskita s splošno formulo ABO_3 . Primer na sliki je $CaTiO_3$ [1].

B pa je relativno majhen in ga obdaja 6 kisikovih ionov. Valenca kationov ni posebno pomembna, le vsota nabojev mora biti enaka 6. Zaradi tega je veliko spojin s perovskitno strukturo. Nekaj primerov keramik s tako kristalno strukturo: $BaTiO_3$, $CaTiO_3$, $SrTiO_3$, $CaZrO_3$, $KNbO_3$ in $YAlO_3$.

2.3 Stekla

Na tem mestu velja omeniti še podhlajene taline amorfne sestave, oziroma stekla. Od drugih materialov se razlikujejo po številnih lastnostih in pogosto igrajo pomembno vlogo pri izdelavi keramike. Bližnji atomi v steklu so lahko urejeni podobno kot v kristalu, pozicijskega reda dolgega dosega pa ni. Primer kristalnega in nekristalnega SiO_2 (kristalni kremen in kremenovo steklo) je viden na sliki 3.

Ugotovili so, da vsak silicijev atom obdajajo 4 kisikovi atomi, razporejeni v oglišča tetraedra. Tako kristalni kremen kot kremenovo steklo sestavljajo takšne tetraedri. Pri kristalu je medsebojna razvrstitev tetraedrov urejena, pri steklu pa neurejena. Nekristalnim snovem, kakršna so stekla pravimo



Slika 3: Dvodimenzionalna shema urejene kristalne mreže kremena (a), in neurejena mreža amorfnega kremenovega stekla (b) [2].

tudi amorfne snovi. Specifičnost stekel je, da nastajajo pri ohlajanju iz podhlajene, zelo viskozne taline brez skokovitih sprememb lastnosti.

Osnovni steklotvorec je že omenjeni SiO_2 , stabilna stekla pa tvorijo tudi B_2O_3 , Na_2O , GeO_2 , P_2O_5 , As_2O_5 in še različne kombinacije z drugimi elementi.

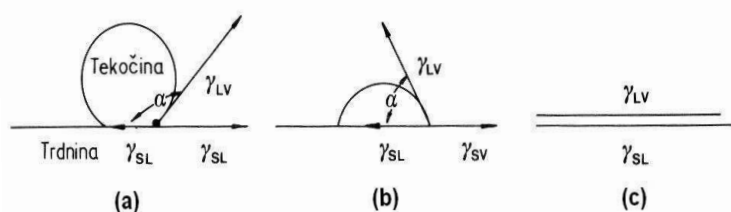
3 Lastnosti keramik

3.1 Površinska energija

Pri posopkih izdelave keramičnih izdelkov ima pomembno vlogo površinska energija materialov. Atomi na površini snovi imajo višjo energijo kot atomi v notranjosti snovi. To se kaže kot površinska energija. Kristali imajo površinsko gostoto atomov za različne orientacijske ploskve različno, zaradi tega je tudi površinska energija različna. Kapljevine pa imajo površinsko energijo na vseh mestih enako. Površinska energija z naraščujočo temperaturo pada. Pomembna je zaradi omakanja različnih faz materialov pri oblikovanju in nato sušenju oziroma žganju (sintranju) končnih keramičnih izdelkov.

Površina trdnine je v resnici mejna ploskev med površino in njeno paro. To površinsko energijo označimo kot γ_{SV} , kjer je SV okrajšava za solid-vapor (trdnina-para). Podobno je med trdnino in tekočino površinska energija γ_{SL}

(solid-liquid). Ker sistem teži k zmanjšanju energije, bo tekočina prekrila trdnino, če je medfazna energija γ_{SL} manjša od γ_{SV} in γ_{LV} . Tekočina se razleze po površini. Kadar pa je medfazna energija γ_{SL} visoka, tekočina na trdnini tvori kapljico, saj je tako medfazna površina najmanjša. Lahko definiramo omakalni kot α , ki je kot med trdnino in tangento na površino tekočine. Omakalni kot ima lahko vrednosti od 0 do π . Sistemi s kotom pod $\pi/2$ (slika 4b) površino omakajo, sistemi z večjim kotom pa ne (slika 4a). Kadar je kot enak 0, tekočina popolnoma prekrije trdno površino (slika 4c).



Slika 4: Shematsko prikazan stik tekočina/trdnina. Pri (a) tekočina ne omaka, (b) tekočina omaka, (c) omakalni kot je enak 0 [1].

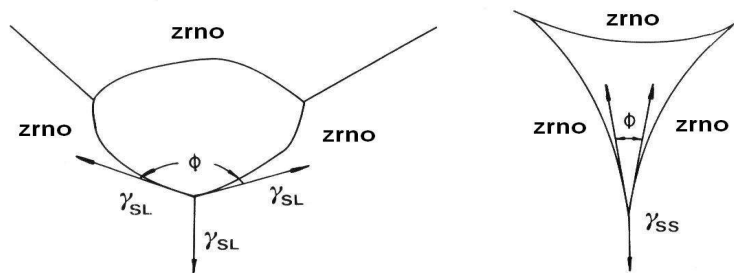
Oksidne taline imajo nižjo površinsko energijo od kovin, zato običajno omakajo kovine. Obratno imajo staljene kovine visoko površinsko energijo in kovinske taline splošno ne omakajo keramik. Zato se keramike uporablja za kalupe pri oblikovanju kovin. Za dobre spoje keramika-kovina pa obstajajo posebni postopki.

Medfazna energija določa tudi kote med zrni v keramični mikrostrukturi. Zaradi tvorjenja por v keramičnem materialu je zelo pomembna kot na stiku trdnina-kapljevina. Za dvofazni sistem prikazan na 5 velja ravnotežna enačba:

$$\cos \frac{\Phi}{2} = \frac{1}{2} \frac{\gamma_{SS}}{\gamma_{SL}} \quad (1)$$

kjer je medfazna energija γ_{SS} (zrno-zrno), površinska energija γ_{SL} in dihedralni kot Φ . Medfazna energija γ_{SS} (zrno-zrno) nastane zaradi različne orientiranosti kristalne strukture obeh zrn.

Kadar je medfazna energija γ_{SL} večja od energije γ_{SS} je razmerje γ_{SS}/γ_{SL} manjše od 1 in je kot Φ večji od $2\pi/3$. Ko je razmerje γ_{SS}/γ_{SL} večje od $\sqrt{3}$ je kot manjši od $\pi/3$, takrat tekoča faza omaka robove in zavzame obliko trikotnih prizm(kanalov). Omakanje je popolno in so zrna ločena med sabo s talino, ko je γ_{SS}/γ_{SL} večji od 2 in je dihedralni kot Φ enak 0. Tekoča faza popolnoma omaka zrna, kar pa pri izdelavi keramik ni zaželeno. Kot že rečeno je površinska energija zelo pomembna pri žganju (sintranju) keramik.



Slika 5: Ravnotežni kot med tremi zrni trdnine in tekočo fazo. Kadar je kot velik, je talina izolirana v žepih, ko pa je majhen, pa talina prodira med zrna in jih omaka [1].

3.2 Mehanske lastnosti

Mehanske lastnosti materiala določajo meje uporabnosti le-tega. Ko material obremenimo, se deformira zaradi sprememb, ki nastanejo na atomski ravni. V materialu se pojavi mehanična napetost. Natezna obremenitev povzroča natezno napetost σ , strižna obremenitev strižno napetost τ , tlačna obremenitev tlačno napetost. Do določene obremenitve se material deformira elastično. To pomeni, da se material vrne v prvotno stanje, ko obremenitev popusti. Za elastično deformacijo velja Hookov zakon in za natezno napetost σ velja:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

ε je relativna sprememba dimenzije in E je Youngov modul. Kadar material obremenimo preko meje elastičnosti, se trajno deformira (plastično). Ko z obremenitvijo še nadaljujemo, pa se poruši (zlomi). Za keramične materiale je značilno, da se elastično deformirajo in zlomijo. Posebnost keramik je, da se ne deformirajo plastično. Zaradi tega pravimo, da so keramike krhke, vendar trdne, saj imajo visok Youngov modul E . Poglejmo primerjavo elastičnega modula keramik z drugimi materiali v tabeli 2.

4 Sintranje

Sestavine za izdelavo keramik so v obliki majhnih delcev v velikosti okoli 1 μm [1]. Lahko so vezani v gline ali pa so v obliki finega prahu. Po oblikovanju gre izdelek na sušenje oziroma žganje v peč. Ta proces imenujemo sintranje. Pri sintranju se zaradi skrčka, zmanjšanja notranjih napetosti, znižanja koncentracije nepravilnosti v mreži in zmanjšanja proste površine, zmanjša

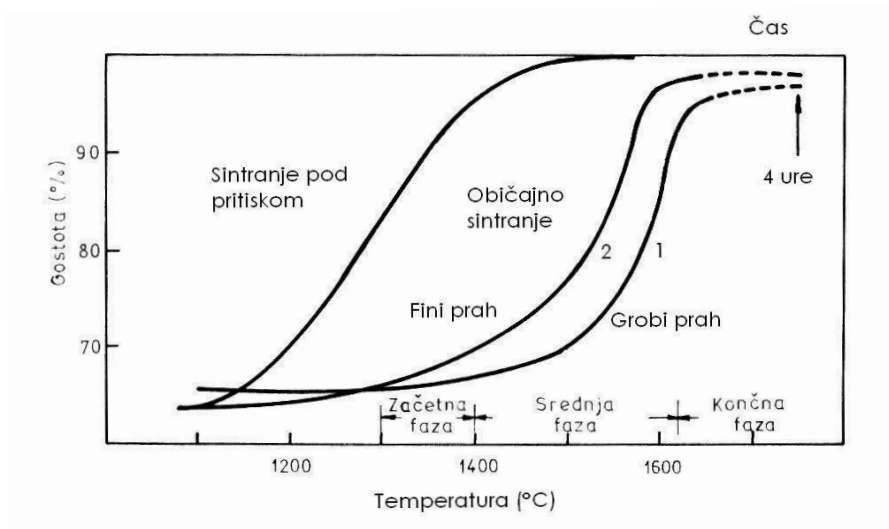
Material	GPa
Rubber	0.0035–3.5
Nylon	2.8
Polymethyl methacrylate	3.5
Urea-formaldehyde	10.4
Bulk graphite	6.9
Concrete	13.8
NaCl	44.2
Aluminum alloys	69
Fused SiO ₂	69
Typical glass	69
ZrO ₂	138
Mullite (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)	145
UO ₂	173
Iron	197
MgO	207
Ni-base superalloy (IN-100)	210
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	284
Si ₃ N ₄	304
BeO	311
Al ₂ O ₃	380
SiC	414
TiC	462
Diamond	1035

Tabela 2: Primerjava Youngovega modula E različnih materialov [2].

prosta energija in sistem preide v stabilnejše stanje. Sintranje je proces, v katerem se porozen material z visoko specifično površino pod vplivom toplote zgosti v trden izdelek z minimalno specifično površino.

Najbolj primerna velikost prašnih delcev pri obdelavi in sintranju, ni trivialna. Odvisna je od snovi katero uporabljamo in od željenih lastnosti izdelka. Pomembno je, da je temperatura sintranja nižja od temperature tališča materiala, tako da izdelek ohrani želeno obliko. Postopek sintranja močno pospešimo in izboljšamo, če med segrevanjem predmet stiskamo oziroma dvigujemo tlak v peči. Tako lahko tudi znižamo temperaturo, ki je potrebna za učinkovito sintranje. Graf na sliki 6 prikazuje zgoščevanje aluminijevega oksida v odvisnosti od temperature pri konstantni hitrosti segrevanja. Hitrost zgoščevanja je večja kadar je prah finejši. Krivulja 1 prikazuje to za delce s srednjo velikostjo $1.3 \mu\text{m}$, krivulja 2 pa za $0.8 \mu\text{m}$ [1]. Dobro je viden učinek sintranja pod tlakom in le tako lahko dosežemo gostote zelo blizu teoretične limite (gostota monokristalne strukture).

Pri sintranju se materiali tudi zgostijo. To je ponavadi dobrodošel učinek, saj izboljša mehanske lastnosti materiala. Pri nekaterih materialih je



Slika 6: Zgoščevanje aluminijevega oksida (Al_2O_3) v odvisnosti od temperature pri konstantni hitrosti segrevanja [1].

bila dosežena maksimalna vrednost teoretične gostote s sintranjem pod tlakom precej pod temperaturo tališča. Primeri so Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 , MgO , MgAl_2O_4 in drugi [1].

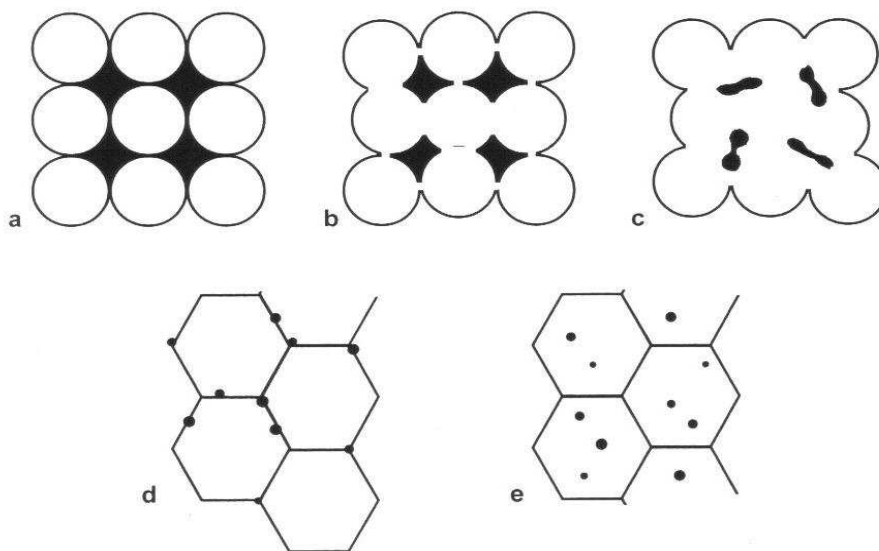
Sintranje poteka v treh bistvenih fazah, ki niso ostro ločene [3]. V začetni fazi se hrapava površina delcev prahu zgladi. Stiki med delci se utrdijo, nastanejo 'grla'. Grlo predstavlja mejo med dvema zrnoma, ki sta različno orientirana monokristala. Delci z grli in mejami tvorijo porozni skelet materiala, ki je poln povezanih por. Ker se površina delcev zgladi se zgladijo tudi stene por. Material se nekoliko zgosti, relativna gostota naraste od začetne vrednosti 50 – 60% na 70% in več.

V naslednji fazi sintranja pride do hitrega zgoščevanja materiala. To je opazno tudi od zunaj, saj se vidno krči. Krčijo se pravzaprav odprte pore, ki so povezane z mejami med delci. Nekateri delci malo zrastejo na račun manjših. Rast zrn v tej fazi je počasna, saj so zrna večinoma še vedno ločena s porami. Kjer se povezave med porami prekinejo, nastanejo izolirane pore. To se navadno zgodi pri okoli 92–95% teoretične vrednosti gostote in končuje drugo fazo.

Končna faza poteka, ko pore niso več povezane, ampak so zaprte. V njih je ujet plin, v katerem smo material sintrali. Zgoščevanje se močno upočasni. Zaprte pore se krčijo in končno izginjajo. Velike pore se le počasi krčijo, lahko pa tudi malo zrastejo na račun manjših por. Zrna rastejo. Ko se ustavi krčenje zaprtih por, se ustavi zgoščevanje. Zrna, ki jih pore ne

omejujejo, močno zrastejo. Nastane struktura, sestavljena iz velikih zrn z ujetimi porami.

Celoten potek sintranja na mikroskali prikazuje slika 7.



Slika 7: Potek sintranja skozi vse faze na mikroravni: (a) pred sintranjem, (b) rast grl, (c) povezane pore, (d) izolirane pore, (e) velika zrna in ujete pore [3].

Pri izdelavi keramičnih materialov smo pozorni na želene lastnosti materiala. Te so odvisne od pravilne izbire sestavin (čistoče sestavin), od pravilno pripravljenih sestavin (velikost prašnih delcev), dobrega oblikovanja in primerne sintranja. Oglejmo si primer cirkonijevega oksida ZrO_2 . Čisti cirkonijev oksid ima pri sobni temperaturi monoklinsko strukturo, ki pri $950 - 1200\text{ }^\circ\text{C}$ preide v tetragonalno in pri $2370\text{ }^\circ\text{C}$ v kubično [4]. Tališče je med $2500 - 2600\text{ }^\circ\text{C}$ [4]. Kubična in tetragonalna struktura imata osnovni clici s skoraj enako prostornino, prostornina monoklinske celice pa je za nekaj odstotkov večja. To pomeni, da se snov pri ohlajanju razširi za več odstotkov. Če pa cirkonijevemu oksidu dodamo nekaj molskih odstotkov itrijevega oksida Y_2O_3 , je tetragonalna faza ZrO_2 stabilna tudi do sobne temperature (primerne so tudi nekatere druge spojine) [4]. S tem povečamo mehanično žilavost materiala in določeno odpornost na mikrorazpoke. Mikrorazpoke povzročajo napetosti v materialu. Na teh mestih struktura zrn prehaja iz tetragonalne v monoklinski ureditev. Zaradi večje prostornine monoklinske osnovne celice, se ustavi nadaljna širitev mikrorazpok.

Vidimo, da na lastnosti keramičnih izdelkov vpliva veliko faktorjev. Z drugačnimi postopi izdelave, lahko dobimo keramike, ki so po fizikalnih lastno zelo različne. Prav zaradi tega so zelo uporabne.

5 Uporaba keramik

Svet keramičnih materialov je zelo širok in raznolik. Zaradi njihove uporabnosti so se keramike uveljavile na mnogih področjih. Razne slike uporab keramik so v Dodatku in si sledijo kot si sledijo podpoglavja uporabe keramik.

5.1 Visokotemperaturne keramike

Skozi zgodovino so bile keramike vedno uporabljene pri procesih, kjer so potrebne visoke temperature. Pri pridelavi kovin so keramike nujno potrebne, saj posebni filtri ločujejo kovine od rud. Nato se kovine oblikuje s pomočjo keramičnih materialov (kalupov), saj imajo veliko višje tališče kot kovine. Uporablja se jih tudi pri pridelavi stekla. So kemijsko stabilne in zato odporne na razne vplive kemično nevarnih materialov. Keramike so tudi bistveni del pri motorjih na notranje izgorevanje. Rotorji plinskih turbin narejeni iz keramik, keramični so tudi rotorji avtomobilskih turbopolnilcev in izpušni ventili. Tanka plast keramike kot toplotna izolacija dopušča reakcijskim motorje tudi do 200 °C višje obratovalne temperature, kar pa pomeni do 12% boljši izkoristek [4]. Keramika se uporablja kot toplotni izolator in utrjevalec pri zavornih diskah športnih avtomobilov. Posebno vrsto keramike uporabljajo za toplotni ščit Space Shuttle, ki se ob ponovnem vstopu v zemljino atmosfero močno segreje.

5.2 Mehansko vzdržljive keramike

Keramični materiali so lahko ob pravilni pripravi zelo trdi in to s pridom uporabljamo. Keramike zaradi gladkih površin dobro tesnijo in so mehansko vzdržljive. Zato jih uporabljamo kot ventile v pipah in črpalkah, da omogočajo lahko odpiranje in dobro tesnenje. Zaradi svoje trdnosti jih najdemo še v obliki krogličnih ležajev vseh vrst in velikosti. Keramike se zaradi svoje trdnosti dobro obnesejo za rezanje drugih materialov, bodisi kot konice rezalnika, bodisi kot usmerjevalna šoba vodnega rezalnika. Npr. kevlar se reže s keramičnimi rezili. Odporne so proti obrabi in pritiskom. Keramike so tudi odlične kot rezila na kotnih brusilkah za rezanje in brušenje kovin.

5.3 Elektrotehnične aplikacije

Večina ljudi ne pomisli na uporabo keramik v elektrotehnik, vendar so zaradi svojih raznolikih električnih lastnosti zelo uporabne. Keramike so lahko dober izolator. Uporablja se jih pri visokonapetostnih daljnovodih in napravah, tudi ohišja čipov so narejena iz keramik. Piezoelektrični pojav keramik je dobro izkoriščen, saj ima veliko aplikacij npr. v digitalnih urah (kvarčni kristal), sonarjih, tiskalnikih, mikrofoni, akcelerometrih, ročnih vžigalnikih, fotoaparatih in kamerah, v medicinskih napravah za ultrazvok, ... Polprevodniški elementi so tudi keramike. Uporaba polprevodnikov je široka in v 21. stoletju na vsakem koraku: sončne celice, LED diode, senzorji občutljivi na temperaturo in pline, diode, ... Keramični materiali so lahko tudi električno (ionsko) prevodni. Uporablja se jih v posebnih baterijah, detektorjih kisika in tudi v posebnih kisikovih gorivnih celicah. Ogromen napredek je bil narejen pri superprevodnih materialih ravno zaradi keramik. Določene keramike postanejo superprevodne pri dosti višjih temperaturah kot drugi materiali. Veliko raziskav poteka na razvoju teh visokotemperaturnih superprevodnih keramik. Sedaj je primerno omeniti tudi magnetne lastnosti keramičnih materialov. Uporaba magnetnih keramik je široka. Vgrajene so v motorjih za odpiranje avtomobilskih oken in motorjih brisalcev, zvočnikih, hišnih magnetkih (na hladilniku), katodnih ekranih, računalniških diskih, ... Vidimo, da je uporaba keramičnih materialov v elektrotehnik široka in brez tega si sedaj ne predstavljamo sveta okoli nas.

5.4 Uporaba v optiki

Veliko keramičnih materialov je prozornih za vidno svetlobo. So tudi trdni in jih znamo lepo oblikovati. To so glavni razlogi za uporabnost. Med keramike se štejejo vse vrste stekel uporabljene za okna, leče za mikroskope, teleskope in očala. Tudi umetne monokristale raznih barv, ki se jih uporablja za nakit, štejemo med keramike. V naravi najdemo fosforescentne keramike in ta učinek uporabljamo v urah in fluorescentnih svetilkah. Nekateri keramični materiali svetijo pod vplivom električnega polja. To so elektroluminescentne keramike in se jih uporablja kot osvetlitvene zaslone mobilnih telefonov in podobnih naprav. Tehnično zelo pomembni pa so keramični materiali sposobni optičnega ojačanja svetlobe. Uporablja se jih v laserjih kot izvor laserske svetlobe. To so monokristali pripravljeni na poseben način, npr. z neodimom (Nd) dopiran $Y_3Al_5O_{12}$. Optična vlakna so pravtako narejena iz keramičnih materialov.

5.5 Medicina

Uporaba keramik v medicini je vedno večja. Biomateriali se hitro razvijajo in keramike imajo pomemben prispevek. Keramike so primerne za razna zdravljenja zlomov in fiksiranja kosti, umetne srčne zaklopke, umetne zobe, umetne kolčne sklepe, vsadke pri operacijah srednjega ušesa in oči, ... Pri vsajanju raznih tujkov v telo moramo biti posebej previdni. Elementi morajo biti tehnično izpopolnjeni in mehanski vzdržljivi, saj si nihče ne želi ponovne zamenjave. Ne sme biti raznih okruškov, ne smejo imeti nobenega kemijskega vpliva na telo. Keramike izpolnjujejo te pogoje. Bistveno je, da se z vsadkom bolniku olajša bolečine in skrajša pot do okrevanja ali celo reši življenje.

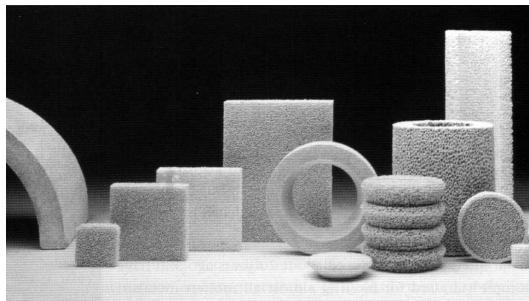
5.6 Energija in onesnaževanje

Varčevanje z energijo in kontrola onesnaževanja postajata vedno bolj pomembni temi. Keramični materiali igrajo tudi tu pomembno vlogo in jih najdemo na več področjih. Pri izolacijah (steklena volna), varčne svetilke in luči, razni grelni in vžigalni elementi pri pečeh na naravni plin, kot že omenjeno tudi pri plinskih turbinah. Pomembna je tudi uporaba keramičnih filtrov v čistilnih napravah na raznih termoelektrarnah. Tudi katalizatorji, ki čistijo izpušne pline motorjev z notranjim izgorevanjem, so naerjeni iz drobnega keramičnega satovja.

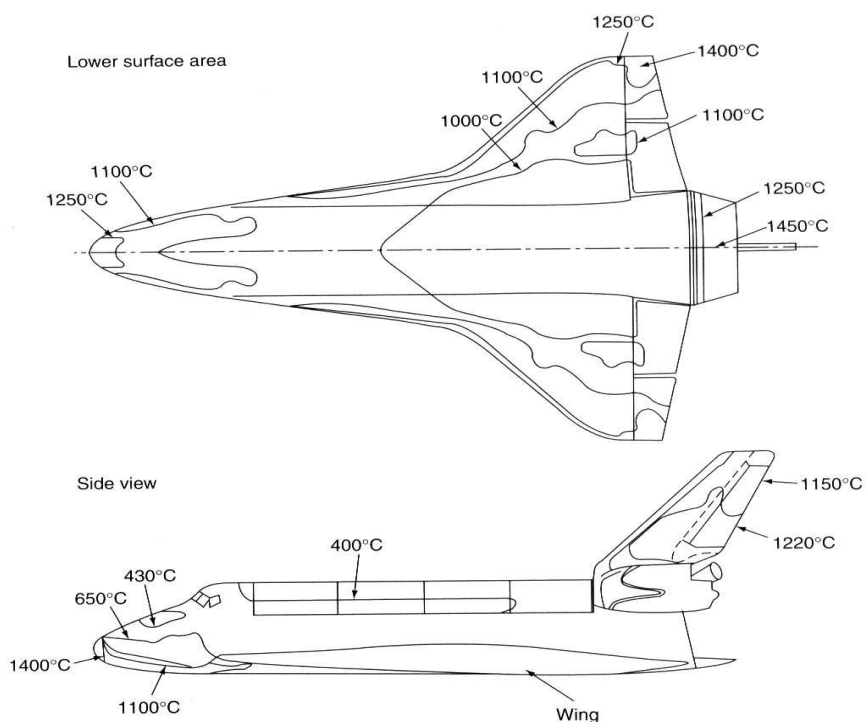
6 Zaključek

Običajno ob besedi keramika pomislimo na kopalnice, skodelice in vrče. Vendar s tem delamo keramikam krivico. Kot vidimo se keramični materiali uporabljajo na veliko različnih področjih. V prihodnosti se bo verjetno povečala uporaba keramičnih materialov v medicini in elektrotehnik. Keramike lahko zaradi svojih posebnih lastnosti prispevajo k rešitvi energetskega problema. Vedno znova se najdejo nove uporabe keramičnih materialov. Zaradi velike raznolikosti imajo keramike svetlo prihodnost.

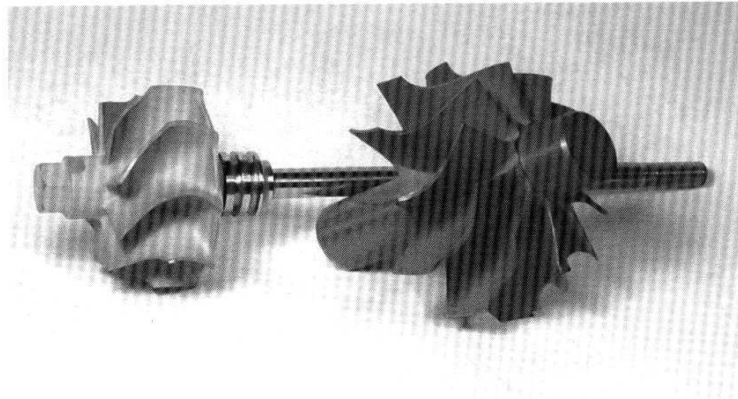
7 Dodatek



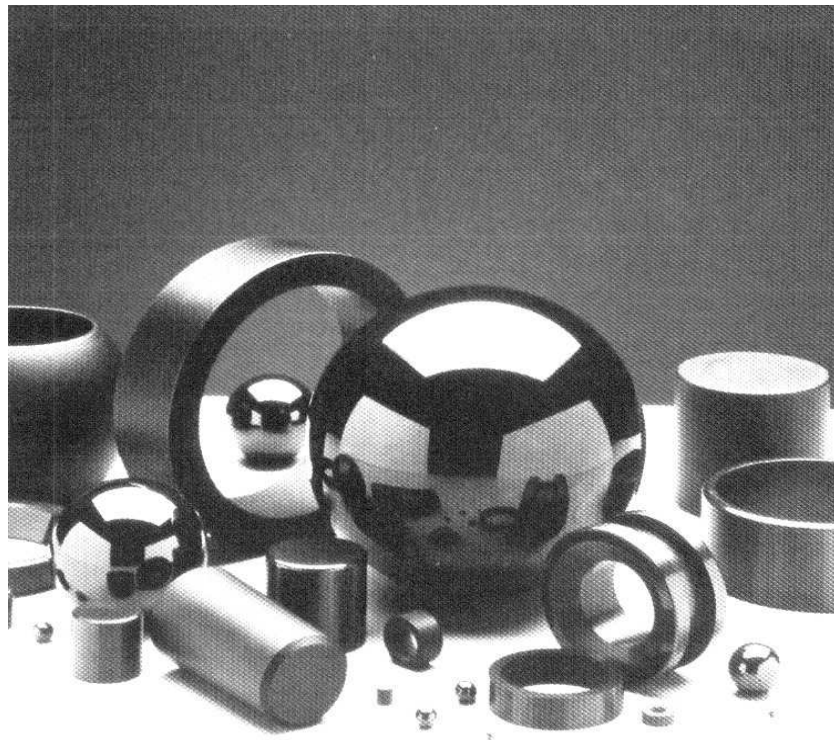
Slika 8: Keramični filtri različnih oblik za prečiščevanje tekočih kovin, kar močno izboljša in poenostavi izdelavo kovinskih izdelkov [5].



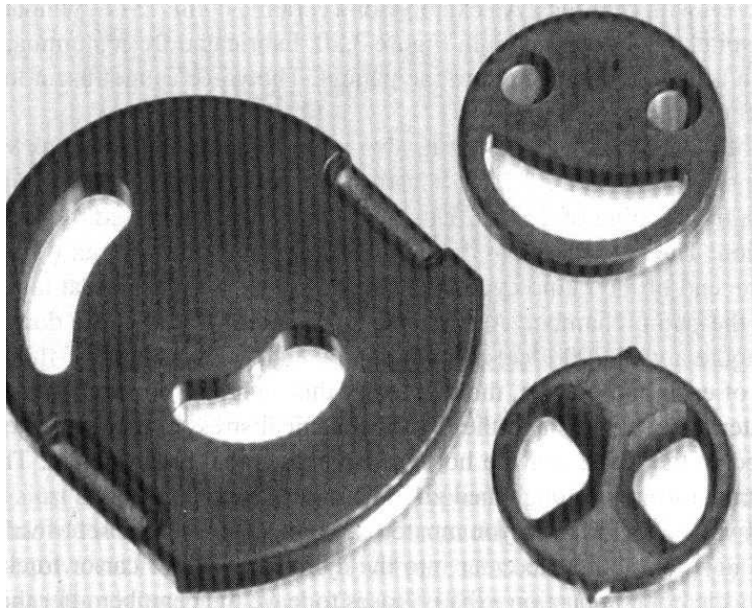
Slika 9: Porazdelitev temperature na posebnem keramičnem toplotnem ščitu Space Shuttla, ob ponovnem vstopu v atmosfero. Ta keramika mora biti izjemno lahka vendar vseeno vzdržljiva. [2].



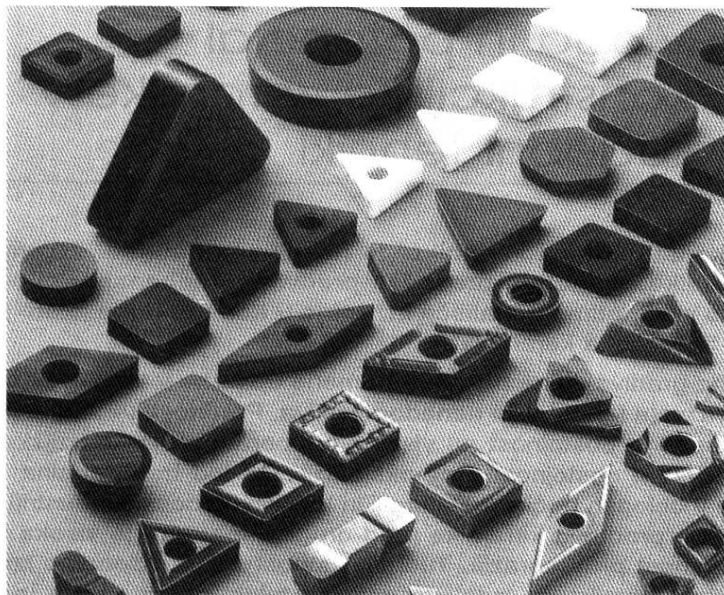
Slika 10: Keramični rotor turbopolnilnika avtomobilskega motorja, temperaturno odporen in mehansko vzdržljiv [2].



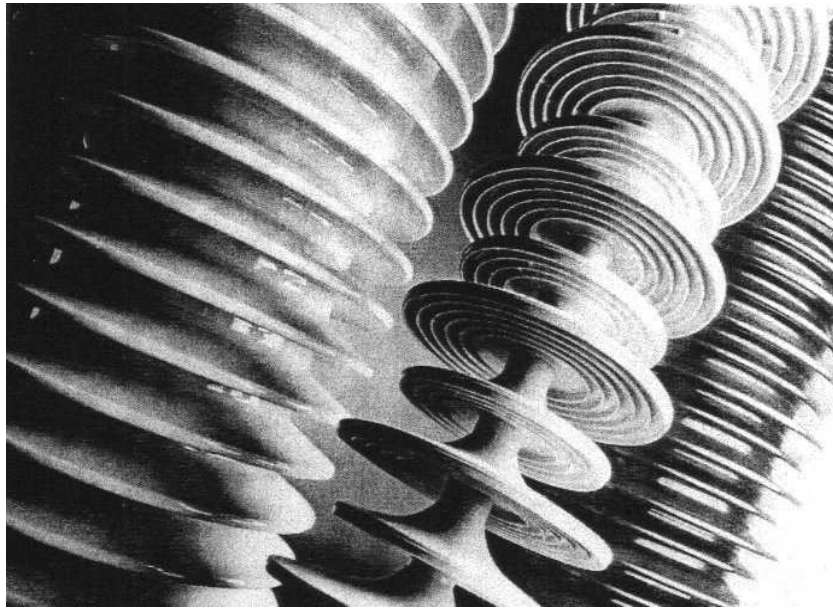
Slika 11: Lezaji, tesnila in še nekateri keramični elementi, ki so dobro odporni na mehansko obrabo. [5].



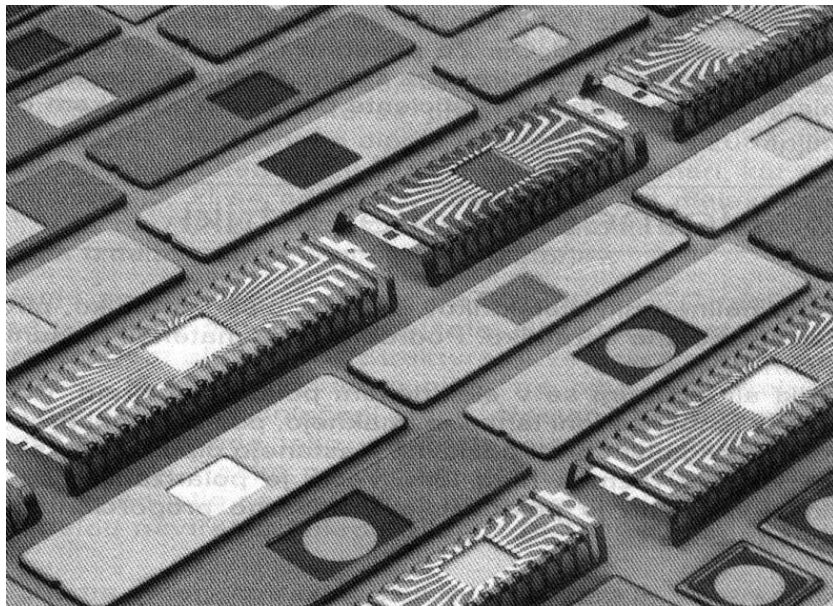
Slika 12: Keramična tesnila in ventili v pipah za vodo omogočajo lahko odpiranje in dobro tesnenje [2].



Slika 13: Kopica različnih keramičnih rezalnih konic [6].



Slika 14: Keramični izolatorji so uporabljeni pri visokonapetostnih daljnovodih [3].



Slika 15: Keramična ohišja za mikroelektronska vezja [6].



Slika 16: Keramike uporabljamo tudi v laserskih sistemih kot izvor laserske svetlobe. Na sliki monokristali in izrezane palčke za uporabo v laserjih. [5].



Slika 17: Primer kolčnega vsadka in drugih aplikacij keramike v medicini [5].

Literatura

- [1] D. Kolar, *Tehnična keramika, I. knjiga* (Zavod RS za šolstvo in šport, Ljubljana, 1993).
- [2] D. W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering* (Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006).
- [3] M. Bengisu, *Engineering Ceramics* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001).
- [4] M. Ambrožič, *Življenje in tehnika* (57), 46 (2006).
- [5] D. W. Richerson, *The Magic of Ceramics* (The American Ceramic Society, Westerville, 2000).
- [6] D. Kolar, *Tehnična keramika, II. knjiga* (Zavod RS za šolstvo in šport, Ljubljana, 1993).