

zacije. Stručnjaci FBI-a nedavno su naglasili da se može tvrditi da biološki dokaz potječe od određenog pojedinca ili jednojajčanog blizanca ako stupanj individualizacije

prelazi 360 milijardi. Stupanj individualizacije potreban za identifikaciju, ukoliko ne postoji međunarodna suglasnost, mora se odrediti na lokalnoj razini.

LITERATURA:

1. Dragan Primorac i suradnici: Primjena analize DNA u sudskoj medicini i pravosuđu; NZMH, Zagreb, 2001.
2. Antonio Alonso, Šimun Anđelinović, Pablo Martín, Davorka Sutlović, Ivana Erceg, Edwin Huffine, Lourdes Fernandez de Simon, Cristina Albarran, Marija Definis-Gojanović,

Amparo Fernandez-Rodriguez, Pilar Garcia, Irena Drmić, Boja Režić, Sandi Kuret, Manuel Sancho, Dragan Primorac (2001); DNA Typing from Skeletal Remains. *Croat Med J*;42:260-266

3. Promego; Profiles in DNA/July 2001

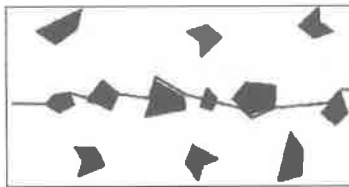
OSNOVNI MEHANIZMI POJAČANJA DENTALNE KERAMIKE

Ivan Galić, dr. stom.

Proučavajući fizikalna svojstva dentalne keramike, znanstvenici su pronašli i usavršili veći broj mehanizama poboljšanja potrebnih svojstava i umanjavanja negativnih.

Pojačanje preusmjeravanjem napuknuća

Ovo je najpovoljniji postupak za dentalnu keramiku, gdje se radi o utjecaju uloženi kristala leucita. Naime, uloženi kristali trebaju preusmjeriti napuknuća i tako ga produžuju. Učinak pojačanja se sastoji u otežanju napredovanja napuknuća ako mu se kristali nađu na putu širenja (1). Naprezanja u okolini kristala neadekvatnog oblika i veličine mogu uzrokovati slaba mjesta gdje može doći do napuknuća ili loma keramike. U matrici kad nastane pukotina dolazi do napredovanja i širenja napuknuća. Za lomnu žilavost je nevažno, da li npr. kod metal-keramike nastaju leucitni kristali tijekom sinteriranja ili naknadno u procesu keramiziranja. Postignuta lomna žilavost je u oba slučaja slična (Sl.1).



Slika 1.
Leucitima pojačana keramika.
Uloženi kristali preusmjeravaju napuknuće.

Misfit naprezanje

Drugo pojačanje, također ulaganjem čestica postiže se *misfit* naprežanjem (Sl.2). Uložene čestice moraju imati veću čvrstoću i krutost (tj. veći ME) nego li sama matrica, te se TKR uloženi čestica mora razlikovati od TKR matrice. Različito termičko rastezanje, odnosno zbijanje čestica i matrice uvjetuje tijekom sinteriranja *misfit* naprežanje. Naziv *misfit* označava da čestice i matrica nisu ni mehanički ni termički kompatibilni. Moguća su sljedeća zbivanja između uložene čestice i staklene matrice :

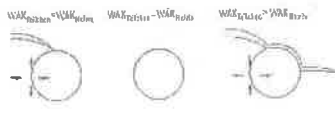
TIP I - Ako je TKR čestica manji od TKR matrice, nastaje radijalno, usmjereno u središte čestica tlačno naprežanje i tangencijalno, obuhvaćajući čestice, vlačno naprežanje u matrici oko čestica, jer matrica jače kontrahira pri hlađenju. Jedna napuklina koja pada na česticu, obuhvatit će ju i biti usmjerena na česticu, jer tangencionalno naprežanje pokušava otvoriti napuknuće. Ako sada napuknuće ne može

raspoloviti česticu, ostaje visjeti ili će u daljnjem koraku obuhvatiti česticu. Ove mogućnosti otežavaju napredovanje napuknuća a time raste lomna žilavost.

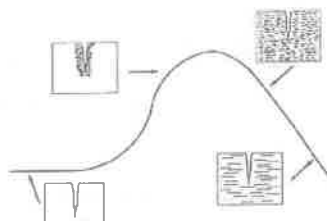
TIP II - Ako je termičko naprežanje čestica veće od onog matrice, tada matrica slabije kontrahira nego čestice, a napuknuće će zbog djelovanja radijalnog vlačnog i tangencionalnog tlačnog naprežanja teći u matrici u blizini čestica, uzduž graničnih površina između čestica i matrice i eventualno će kod sljedeće čestice skrenuti. Proces koji zaustavlja napuknuće sastoji se u potrebi stvaranja što veće površine napuknuća ali istodobno i u njegovu rasipanju, koje je potrebno da ponovno dođe do oslobađanja napuknuća od granične površine iza čestice (Sl.2).

TIP III - Ako su TKR oba dijela ista, ne nastaje termičko misfit naprežanje. Granična površina može preusmjeriti napuknuće ako čestice i matrica imaju različite ME. Metoda kojom se pokušava postići određena plastičnost keramike, analogno metalu, sastoji se u proizvodnji mikronapuknuća u keramici. Ulaganjem prikladnih čestica može se izazvati takvo unutarnje naprežanje između čestica i

matrice (Sl.3) koje djeluje kao polje naprežanja od ruba napuknuća na graničnoj površini između uloženi čestica i matrice ili mikronapuknuća, koja su duboka oko 10-100µm, djeluju samo u matrici. Ova napuknuća umanjuju efektivni modul elastičnosti keramike i tako povećavaju podatnost (mekoću) u području ruba napuknuća. Dakle, keramika poprima lokalno metalu slična plastična svojstva s posljedicom boljeg zaobljenja napuknuća. Kritično je ako nastane polje naprežanja koje uzrokuje adekvatnu dubinu napuknuća. Dok mikronapuknuća ostvaruju visoku lomnu žilavost, preduboke pukotine bi mogle jako smanjiti lomnu žilavost. To je inače pitanje optimizira-



Slika 2.
Misfit naprežanje između uloženi prikladnih čestica i staklene matrice

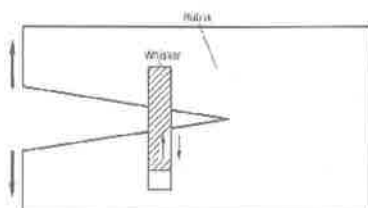


Slika 3.
Mikronapuknuća veličine 10-100 µm umanjuju efektivni modul elastičnosti keramike.

nja unutrašnjeg naprezanja koje induciraju mikronapuknuća (Sl.3).

Unošenje keramičkih vlakana

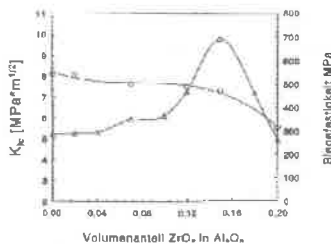
Daljnja metoda poboljšanja keramike je unošenje keramičkih vlakana koja se usidre u stjenke napuknuća i tako sprečavaju širenje i produljenje napuknuća, sve dok se vlakno ne izvuče iz stjenke (Sl.4). Ovo premošćenje napuknuća zaokreće jedan dio vlačnog naprezanja od ruba napuknuća u području zidova napuknuća, (zaštita napuknuća) što pridonosi povećanju lomne žilavosti.



Slika 4.
Keramička vlakna usidrena u stijenke napuknuća

Transformacijsko učvršćenje

Posebno elegantan mehanizam je transformacijsko učvršćenje (Sl.6). Tu se iskorištava fazna transformacija kristalne strukture ZrO₂ pod opterećenjem. Ova fazna transformacija iz tetragonalne u monoklinsku fazu događa se na kraju pukotine kroz prekomjerno naprezanje i time se volumen kristala ZrO₂ poveća za oko 4%. Približi li se jedno napuknuće česticama ZrO₂ s tetragonalnom simetrijom u keramičkom materijalu, ona počnu bujati kao posljedica fazne transformacije u monoklinsku fazu. Tako nastaje lokalno tlačno naprezanje u materijalu, koje opet tlači napuknuće. Tako širenje, spriječeno ZrO₂ česticama, djeluje kao i pojačanje dentalne keramike. Postoji optimum koncentracijskog udjela ZrO₂, koji djeluje maksimalno na porast žilavosti napuknuća (Sl.5) (5).



Slika 5.
Optimalni volumni udio ZrO₂ u Al₂O₃

Subkritični rast napuklina, hidroliza i trajna čvrstoća

Osim statične čvrstoće, važnija je trajna čvrstoća. Pojam trajne čvrstoće keramike podrazumijeva granicu opteretivosti koju materijal može podnijeti u danoj sredini, korozijski utjecaj u usnoj šupljini, dinamički mastikatorni ciklus. Čvrstoća je veća što je veća lomna žilavost. U pravilu vrijedi da trajna čvrstoća odgovara polovini statičke čvrstoće. Dakle ona raste s djelotvornošću mehanizama koji zaustavljaju širenje napuklina. Prisutnost napuklina prvotno djeluje tako da je početna čvrstoća manja, nego li navedena unutarnja lomna žilavost, (*intrinsische-njem.*) kojoj se teži za ovu keramiku. Ova rezidualna čvrstoća opada rastom napuklina. Nakon nekog vremena opterećenje toliko smanji čvrstoću da konstrukcija ne može izdržati vršno opterećenje. Samo ako izostane ovo vršno opterećenje, krajnje dolazi do poremećaja i kod normalnog opterećenja ako se ne spriječi rast ili se ne zaustave napukline. Kritični rast napuknuća npr. kao posljedica preopterećenja širi se tako brzo kao zvuk u keramici. Međutim napukline obično rastu brzinom znatno manjom od 1·10⁻⁷m/h, tako da može proći više godina dok nastupi oštećenje. Govorimo o

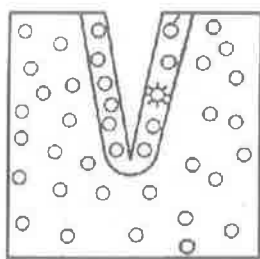
subkritičnom rastu napuknuća. Prevedeno na molekularne dimenzije materijala to znači da satima može doći do odvajanja jedne jedine veze između susjednih atoma.

To govori u prilog da kod keramike može doći do loma kod sasvim normalnog opterećenja iako se ono duže vremena podnosilo. Razlog tome je u subkritičnom rastu napuklina. Korozijsko djelovanje okoline igra važnu ulogu. Ono se svodi na utjecaj vlažne, vodene komponente. Voda može ubrzati rast napukline za više od milijun puta. Ono se može zorno prikazati na sljedećem primjeru (4, 5). Visoki silikatni udio koji je važan za svojstva keramike ima simetriju tetraedra koji se sastoji od jednog atoma silicija i četiri atoma kisika. Nastavak napuknuća zahtijeva da se razore veze u tetraedru. To najprije uvjetuje da se veze saviju. Sada napada molekula vode i svojim odlaganjem uvjetuje transformaciju tetraedra koja znatno olakšava potrebnu deformaciju za napredovanje napukline. Odlaganjem i uzajamnim djelovanjem molekule vode s kristalnom strukturom tetraeda silicija koja je oštećena napuklinom, na

rubu napukline dolazi do pada energije koja je potrebna za rast napukline (5). To je posebno učinkovito ako je materijal tijekom korozijskog djelovanja opterećen. Govorimo o koroziji uslijed naprezanja. Korozija zbog napuklina od naprezanja povećava opasnost od napuklina jer im se krajevi zaoštavaju. Poznato je da voda može uzrokovati lom stakla. Staklar navlaži staklenu ploču prije nego li zarezne sa dijamantnim nožem uzduž željene linije loma. Staklo precizno i lako puca (2).

Utjecaj pripreme

Kvaliteta i preciznost izrade (zgušnjavanje, izostanak pora i šupljina, kvaliteta površine) odlučujuće djeluju na veličinu savojne čvrstoće same keramike, jer lom ima svoj početak u slabim mjestima i oštećenjima, posebno površina. Za očekivati je da lomna žilavost u znatno manjoj mjeri ovisi o pripremi (3). Kao primjer može poslužiti Empress[®] keramika sa dvije klase uzoraka za test savijanja i za mjerenje lomne žilavosti. Klasa I



Slika 6.
Tetragonalna prelazi u monoklinsku fazu

pripređena je u subnotehničkom laboratoriju i ima mnogo uobičajenih manjkavosti, posebno na površini. Klasa II tlaćena je kod proizvođača i brižljivo izbrušena na potrebne dimenzije. Vizualno je imala glatku i homogenu površinu.

- Savojna čvrstoća klase I bila je 79.9 ±8.2 MPa
- Lomna žilavost klase I bila je 1.35±0.2MPa·m^{1/2} (Sl.7)
- Savojna čvrstoća klase II bila je 114.6±10.5MPa (+43%)
- Lomna žilavost klase II 1.46±0.1 MPa·m^{1/2} (+8%)

Ovo nam pokazuje kako savojna čvrstoća ovisi o pripremi.

Literatura:

1. Danzer, R., Telle, R.: Gefüge und Bruch von Hochleistungskeramiken. In: Mauer, K. L., Pohl M. (Hrsg.): Gefüge und Bruch. Bornträger, Berlin-Stuttgart 1990, S. 463.
2. Greil P: Strukturkeramik mit hohem Potential - Chancen und Grenzen durch neue Herstellungstechniken. Proc Symp Materialforschung 1988, KFA J.lich 1988, S.37.

3. Grossman, D.G.: Der Werkstoff Gussglas-Keramikmaterial. In: Preston, J. D. (Hrsg.): Perspektiven der Dentalkeramik. Quintessenz, Berlin 1989;117.
4. Marx R. Moderne keramische Werkstoffe für ästhetische Restaurationen - Verstärkung und Bruchzähigkeit. Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 229-236.
5. Wiederhorn, S.M., Freiman, S. W., Fuller, E. R., Simmons, C.J.: Effects of water and other dielectrics on crack growth. J Mat Sci 1983;17:265.