

KVARCNI ELEKTROPORCELAN VISOKE ČVRSTOĆE

A. Slišković, M. Prelec, M. Kosec

KLJUČNEREČI: kvarcni elektroporcelan, izolacioni materijali, mehaničke osobine, električke osobine, mikrostruktura, tehnologija, eksperimenti

SADRŽAJ: Cilj ovog rada je dobivanje kvarcnog elektroporcelana boljih fizičkih osobina u odnosu na kvarcni konvencionalni porcelan. Ovo je postignuto odgovarajućim procentnim odnosom sirovina uz visoko učešće kvarca (do 50 %), zatim postizanjem fine granulacije sirovog materijala i pečenjem na temperaturi sinterovanja od 1220°C. Čvrstoća na savijanje neglaziranih štapova iznosi do 160 MPa. To je skoro dva puta više u odnosu na konvencionalni (B-10) kvarcni porcelan. Bolje su i neke električke karakteristike.

HIGH STRENGTH QUARTZ ELECTROPORCELAIN

KEYWORDS: quartz electroporcelain, insulating materials, mechanical properties, electrical properties, microstructure, manufacturing process, experiments

ABSTRACT: High strength quartz electro porcelain was developed by optimizing the chemical composition and processing conditions particularly milling and firing. The bending strength of sintered porcelain bodies up to 160 MPa was obtained.

1. UVOD

Elektroporcelan kao izolacioni materijal za visoke naponе i danas je veoma tražen na svjetskom tržištu. Zbog toga se neprestano radi na poboljšanju njegovih fizičkih osobina i unapređenju tehnologije proizvodnje.

Proizvode se obično dvije vrste porcelana za visoki napon: aluminatni na bazi korunda (α - Al_2O_3) i porcelan na bazi kvarca ili kristobalita (SiO_2). Kvarcni i kristobalitni porcelani imaju slabiju čvrstoću i otpornost na neke agense, kao što su fluorovodična i fosforna kiselina, u odnosu na aluminatni porcelan koji uvijek može da ima veću mehaničku, termičku i kemijsku otpornost. S druge strane kvarcni porcelan je mnogo jeftiniji obzirom na sirovine od kojih se dobiva. Tamo gdje nisu pretjerano strogi zahtjevi za mehaničku i kemijsku otpornost, primjenjuje se kvarcni porcelan.

Cilj ovog rada je dobivanje porcelana boljih fizičkih osobina u odnosu na sadašnji koji se proizvodi u Tvornici elektroporcelana (EPT), Energoinvest, pod oznakom B-10 kvarcni porcelan.

Kao primjer relativno jeftinog porcelana, ali visoke čvrstoće poslužio je japanski kristobalitni firme NKG - Japan. Od ove firme na raspolaganju smo imali izolator 35 KV za elektrifikaciju željeznica i prospekt o fizičkim karakteristikama materijala od kojeg je izolator napravljen. Posle analiza pokušali smo dobiti sličan ili približno isti materijal^(1,2). Naša firma EPT taj isti tip izolatora proizvodila je od skupljeg aluminatnog porcelana, jer kvarcni B-10 nema dovoljno visoku čvrstoću za ove izolatore.

U proizvodnji modernog elektroporcelana za postizanje visoke čvrstoće sva nastojanja usmjerena su na finiju teksturu i kristaliničnost proizvoda. Na tim principima radjeni su i naši probni porcelani i sa posebnom pažnjom ispitivana je mikrostruktura svih interesantnih uzoraka. Ova istraživanja provedena su u Institutu "Jožef Stefan", Ljubljana.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

2.1 Sirovine

Za ovaj rad primijenjene su sirovine koje se koriste u procesu EPT-a, a to su: domaći kvarc iz Bitole, francuski feldspat, kaolin i glina iz Engleske, tehnička glinica iz Mostara i njemački kristobalit. Kemijski i mineralni sastav upotrebljenih sirovina prikazan je u tabeli I.

2.2 Priprema uzoraka

Naši probni porcelani, paralelno s japanskim i B-10 označeni su na slijedeći način:

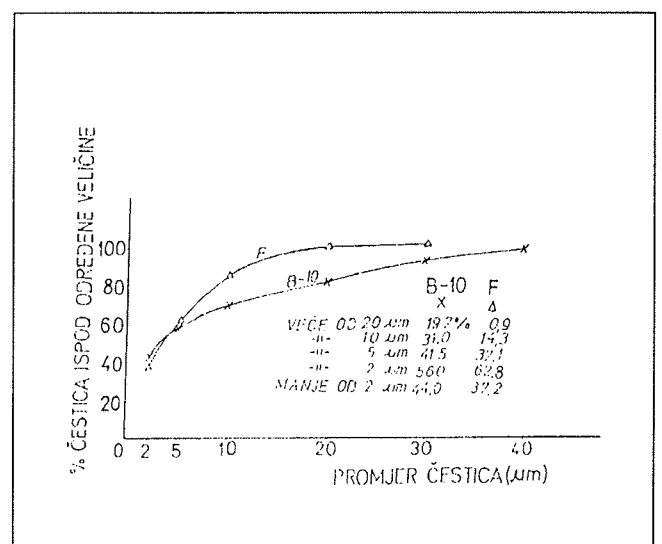
- * Japanski porcelan
- * B-10 (porcelan iz redovne proizvodnje EPT-a)
- * Sastav br. 1 probni porcelan
- * Sastav br. 2 probni porcelan
- * Sastav br. 3 probni porcelan
- * Sastav br. 4 probni porcelan
- * Kristobalitni probni porcelan

Tabela 1: Kemijski i mineralni sastav sirovina						
	Kvarc	Feldspat	Kaolin	Glina	Kristobalit	Glinica
SiO ₂	99,5	69,0	48,1	57,3	99,7	-
Al ₂ O ₃	0,2	19,1	36,2	27,3	0,3	99,5
Fe ₂ O ₃	0,08	0,1	1,2	2,3	trag	-
TiO ₂	-	-	trag	1,3	-	-
CaO	0,06	1,0	0,05	0,5	-	-
MgO	0,05	-	0,30	0,5	-	-
K ₂ O	0,1	9,1	1,5	0,6	-	-
Na ₂ O	0,08	2,7	0,11	0,1	-	-
Gub.ž.	0,5	-	12,5	10,2	-	-
UKUPNO	100,57	101,0	99,96	100,7	100,0	99,5
Kvarc	99,5	2,0	3,0	2,0	10,0	-
Albit-ortoklas	-	90,0	-	-	-	-
Kaolinit	-	-	75,0	53,0	-	-
Ilit	-	-	-	3,5	-	-
Muskovit	-	-	10,0	-	-	-
Montmorilonit	-	-	5,0	15,0	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	64,0
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	30,0
Kristobalit	-	-	-	-	85,0	-

Učešće sirovina u pojedinim probnim sastavima obilježeni od 1 do 4 je sljedeće: 50 do 60 % kvarca, oko 20 % feldspata, 22 do 30 % kaolina i gline. Sastavi 1 i 2 razlikuju se po količini kvarca (sastav br. 1 - 60 %, sastav br. 2 - 50 %) Pored toga uzorak br. 3 sadrži 1 % ZnO i 2 % tehničke glinice, uzorak br. 4 1 % ZnO i 5 % tehničke glinice. Kristobaliti probni porcelan sadrži 40 % kristobalita.

Da bi se postigla što finija tekstura proizvoda, potrebna je fina granulacija sirovina. Pošto su kvarc i feldspat kao prirodne sirovine suviše grube, ove dvije komponente mljevene su mokrim postupkom u kugličnom mlinu sve dotle dok čestice nisu postale finije od 40 mikrometara⁽³⁾. Mljevenje je trajalo 5 do 7 sati u mlinu punjenja od 10 kg. Zatim su dodane gline i kaolin i radi što bolje homogenizacije mljevenje je produženo još 2 sata.

Za tako usitnjen materijal izvršena je granulometrijska analiza metodom sedimentacije. Na dijagramu (slika 1)



Slika 1: Grafički prikaz rasporeda veličine čestica sirovog materijala B-10 i probnog sastava (F).

predstavljene su 2 krivulje rasporeda čestica prema veličini i to za B-10 i probnu smjesu F s optimalnim mlevenjem.

Filtriranjem i vakuumiranjem dobiveni su štapovi kao ispitna tijela koji prema DIN standardima u pečenom stanju trebaju da budu promjera oko 10 mm i dužine 120 mm. Štapovi su pečeni u laboratorijskoj i industrijskoj peći u oksidacijskoj atmosferi. Maksimalne temperature pečenja su 1220°C, 1230°C i 1250°C. Sastav br. 4 pečen je i oksido-redukcijski na 1220°C (Sastav br. 4b).

2.3 Analize uzoraka

Pečeni štapovi poslužili su za ispitivanje mehaničke čvrstoće na savijanje, gustine i mikrostrukture. Mehanička čvrstoća na savijanje uzeta je kao mjerilo za eliminaciju svih probnih sastava koji su imali nižu vrijednost od 120 MPa i tako nisu uzeti za dalja ispitivanja. Gustina je određivana prema Arhimedovom zakonu a teoretska piknometarski.

Za mikrostrukturnu analizu koristili smo:

- * optičku mikroskopiju (OM)
- * elektronsku mikroskopiju (SEM)
- * energijsko-disperzijsku rentgensku analizu (EDS)
- * rentgensku difrakciju (RTG).

Analizirali smo probne sastave od 1 - 4, koji su pečeni na maksimalnim temperaturama 1220 - 1250°C, japanski porcelan i porcelan iz redovne proizvodnje.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Mineralni sastav

RTG analizom ustanovili smo prisustvo pojedinih kristalnih faza (slika 2). Svi uzorci sadrže mulit, kristobalit i kvarc, a sastavi br. 3 i br. 4 sadrže još i Al₂O₃. Japanski porcelan ima najviše kristobalita i mulita, a kvarca u maloj količini.

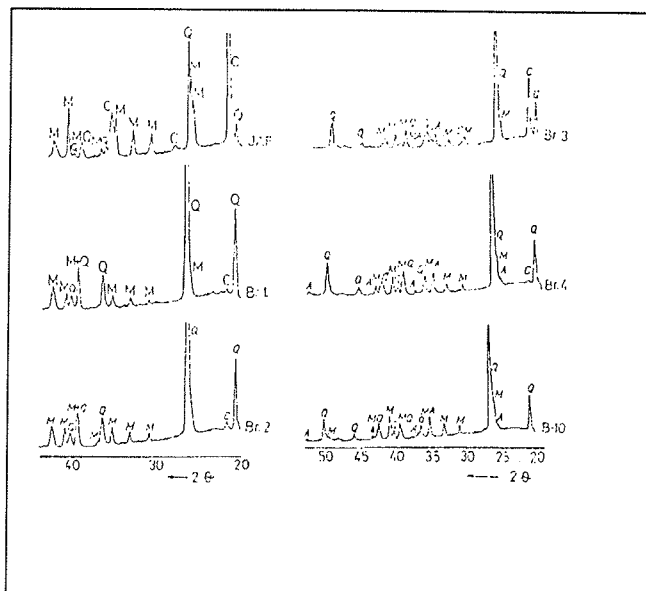
Čvrste komponente porcelanov jesu mulit, kvarc, kristobalit i staklo.

Probni porcelani imaju u velikoj količini kvarca, manje mulita od japanskog i malo kristobalita. Vidimo da se radi o kvarcno- mulitnim porcelanima s primjesama kristobalita. Od probnih sastava najviše kristobalita sadrži sastav br.3., industrijski uzorak B-10 kristobalita nema.

3.2 Mikrostruktura

3.2.1 Poroznost

Pečeni uzorci su brušeni i polirani te pod optičkim mikroskopom fotografirani da bi dobili snimke na kojima se vide pore. Pore su posljedica tehnološkog postupka, prisustva volatilnih komponenata, stupnja sinterovanja i drugo. Poželjno je da se smanje na najmanju moguću mjeru, jer smanjuju čvrstoću materijala. Bitan je oblik i veličina pora, raspored i zapreminsko učešće (tabela II).



Slika 2: Difraktogrami porcelanov; Q - kremen, C - kristobalit, M - mulit, A - Al₂O₃

Oblik pora je uglavnom ovalan. Veličina pora izražena u mikrometrima, mjerena je pomoću ugrađenog mjerila. Izmjereni su presjeci pora na određenoj razdaljini i linearnom metodom količina poroziteta izražena je u zapreminskim postocima. Direktna mjerenja u mikroskopu i snimci kažu, da je porozitet u japanskom porcelanu znatan i da su pore približno jednake veličine. Od probnih porcelana najveći porozitet ima sastav br. 1, a ostali sastavi imaju ga manje. Treba uzeti u obzir ograničene mogućnosti optičkog mikroskopa, jer ne možemo vidjeti pore manje od 1 mikrometra. Znači, da je stvarni porozitet nešto malo veći. Japanski porcelan sadrži oko 10 % pora, a probni sastavi između 3,5 i 6 %. B-10 iz redovne proizvodnje sadrži oko 6 % ovalnih i izduženih pora što je posljedica tehnološkog postupka. Zato je slika poroznosti B-10 nešto drugačija od ostalih.

3.2.2 Čvrste komponente

Identifikacija i semikvantitativna analiza čvrstih komponenata izvršena je pomoću OM, SEM i EDS uz korišćenje i rezultata RTG analize (tabela II).

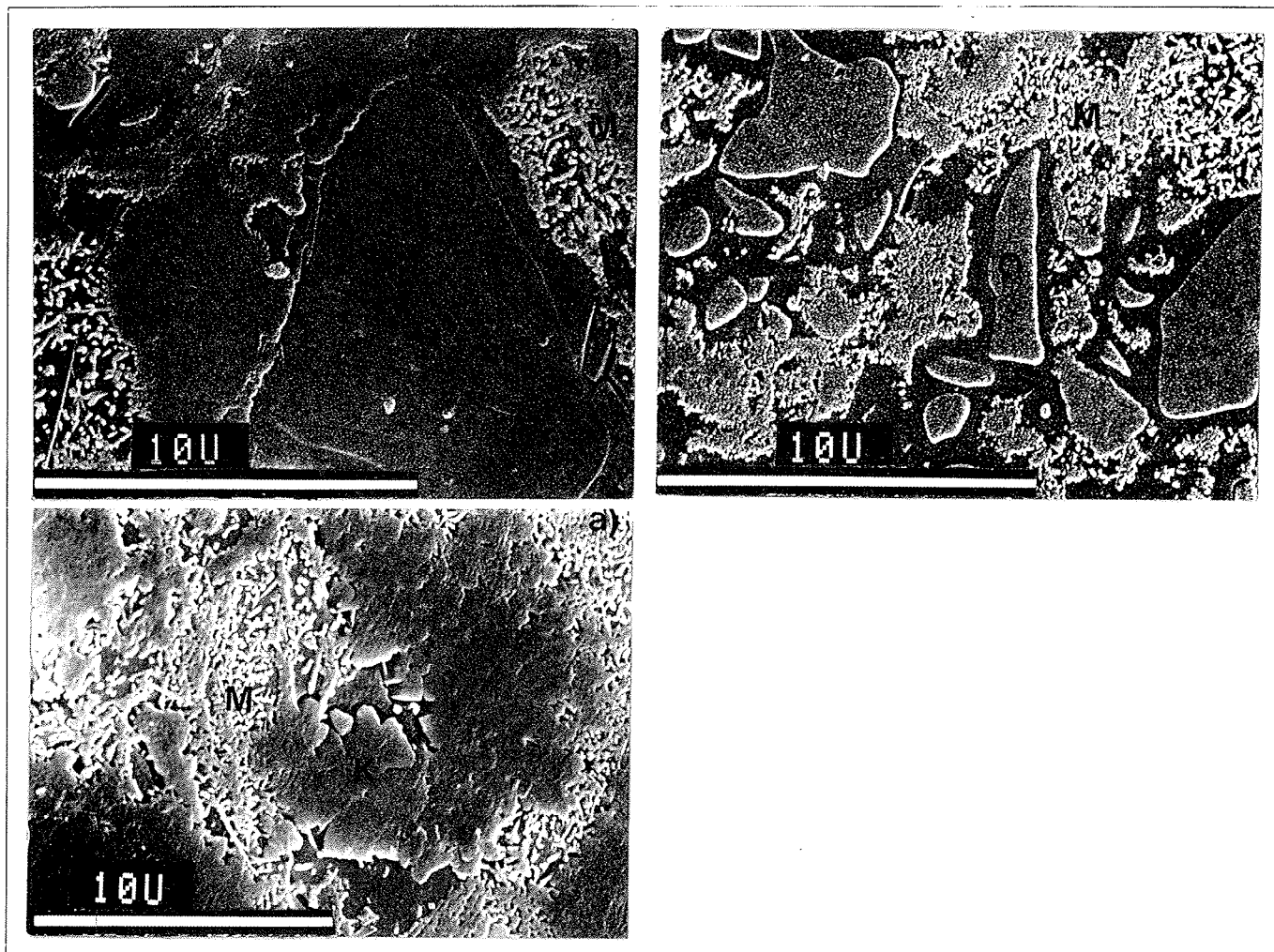
Uzorci su bili polirani i nagrizeni s HF te analizirani sa OM a pojedinačni mikrostrukturni detalji bili su ispitani koristeći SEM (slika 3).

Čvrste komponente porcelanov jesu mulit, kvarc, kristobalit i staklo.

Mulit je nastao iz kaolinita i njemu sličnih minerala - montmorilonita, illita i drugo. Kaolinit zagrijavanjem preko određenih faza prelazi u mulit uz izdvajanje SiO₂. Taj mulit zovemo primarni i ima ljuskasti izgled. U prisustvu tekuće faze nastaje igličasti sekundarni mulit, koji je veoma uočljiv na SEM snimcima za razliku od primarnog.

Kvarcna zrna se u procesu sinterovanja, ona najsitnija rastale, a veća se po rubovima zatale tako da ih obavija

Tabela II: Strukturni sastav uzorka na osnovu analiza OM, SEM, EDS i RTG						
Uzorci	Jap	1	2	3	4	B-10
1. Poroznost						
% pora	10	6	4,5	3,5	4	6
φ max. (μm)	80	65	65	80	35	90
φ pretežno (μm)	5-20	5-30	2-10	5-15	2-15	2-25
2. kvarc SiO ₂						
približna ocjena (%)	malo	35	35	25	15	16
φ zrna max. (μm)		50	55	35	30	100
φ pretežno (μm)		5-23	5-17	3-17	1-15	5-55
3. kristobalit SiO ₂						
približna ocjena (%)	30	vrlo malo	vrlo malo	malo	vrlo malo	nema
φ zrna max. (μm)	85					
φ zrna pretežno (μm)	5-20					
4. staklo (čisto)						
približna ocjena (%)	<10	15	15	15	11	13
5. primjese (EDS)						
TiO ₂ (%)	1					
φ max. (μm)	do 30					
ZrSiO ₄ (%)	1					
φ max. (μm)	do 35					
Fe-nečistoće (%)		> 1	1	< 1	< 1	prisutne
φ max. (μm)		do 50	do 23	do 30	do 35	
6. tekstura						
zrnatost	grublja	grublja	srednja	finija	finija	gruba
raspored komp.	ravnomjerna	koncentrično us.	malo usmjerena	malo usmjerena	malo usmjerena	malo usmjerena
7. mulit						
a) mulitizirana masa pribl. ocjena (%)	70	45	50	55	24	51
b) mulitni kristali igličasti 0,1(μm) prema (SEM)	veći	veći	sred.	sred.	manji	max.do 10



Slika 3: Mikrostruktura sinterovanih porcelana (SEM)
 a - japanski, b - probni sastav br. 4, c - B-10 porcelan; K - kristobalita, Q - kremen, M - mulita, S - staklo

slaj čistog SiO₂. Različita su temperaturna rastezanja kvarca i okolnog stakla, uslijed čega hladjenjem nastaju značajne ovalne pukotine u staklu oko kremenih zrna kao što vidimo na snimcima probnih porcelana i B-10. Kod japanskog porcelana te pukotine nisu vidljive. U probnim porcelanima u nekim slučajevima kvarc tokom pečenja predje u kristobalita. Na snimcima se vidi razlika u obliku zrna kvarca i kristobalita. Zrna kvarca su ravnih rubova dok su zrna kristobalita polukružnih rubova po cijelom opsegu. Prelaz kvarca u kristobalita najprije nastaje na periferiji zrna, ali i u dijelu zrna. Pokušali smo izazvati intenzivniju pretvorbu kvarca u kristobalita dodajući ZnO kao mineralizator (uzorak br. 3). RTG analiza tog uzorka je pokazala, da je nastalo više kristobalita nego u ostalim sastavima (slika 2), prema procjeni sa OM oko 5 %. Međutim, fizičke osobine porcelana nisu bile dosta bolje od onog kojem nismo dodavali ZnO (tabela III). Stoga smo odustali od daljeg insistiranja na pretvorbi kvarca u kristobalita uz dodatak mineralizatora.

Uzorci fino granuliranog materiala pokazali su tokom pečenja sklonost deformaciji. Zbog toga bilo je potrebno rešiti i taj dodatan problem. Sastav 1 i 2 pokazali su najvišu mehaničku čvrstinu nakon pečenja na temperaturama 1220°C i 1250°C. U oba slučaja uzorci su se iskrivilili. Smanjivanjem temperature pečenja ispod

1210°C bitno se smanjila i mehanička čvrstoća. Dodavanjem 2 % odnosno 5 % tehničke glinice (sastavi br. 3 i br. 4) veličina deformacije je svedena u normalne granice kao za B-10 porcelan. Primjena tehničke glinice u količini iznad 5 % ima već nepovoljan utjecaj na plastičnost materijala u sirovom stanju. Iz tabele I. vidi se, da je tehnička glinica sastavljena iz 2/3 γ-oblika i 1/3 α-oblika. Metodama analize ustanovili smo, da α-oblik ostaje nepromijenjen. Njegovo prisustvo potvrđeno je sa RTG (slika 2). γ-Al₂O₃ nismo identificirali, vjerovatno se otopio u staklastoj fazi. U uzorcima sa dodatkom γ-Al₂O₃ zapazili smo i dodatno otapanje kremenih zrna (tabela II), što mijenja sastav i osobine tekuće faze. To bi moglo uticati na smanjivanje sklonosti ka deformaciji tokom pečenja.

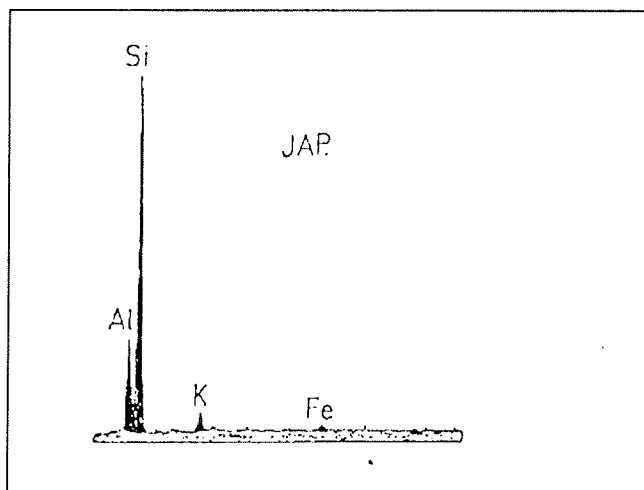
Na snimcima japanskog porcelana vidi se visok sadržaj kristobalita i mulita, a manje stakla. Pomoću EDS ustanovljen je kemijski sastav nekih faza kod japanskog porcelana. U staklastoj fazi nadjeni su Si, Al, K i malo Fe (slika 4).

Znači da je kao topitelj upotrebljen vjerovatno kalijev glinenac. Svjetla zrna veličine do 35 mikrometara identificirana su kao ZrSiO₄ u količini oko 1 %. Veoma svjetla zrna veličine oko 30 mikrometara, djelomično zataljena

Tabela III: Fizičke osobine porcelana poslije pečenja						
Sastavi	Maksimalna temperatura pečenja (°)	Gustina (g/cm ³)	Teoretska gustina (g/cm ³)	Ukupan porozitet (vol.%)	Čvrstoća na savijanje	
					neglazirano (MPa)	glazirano (MPa)
B-10	1250	2,37	2,53	8	75-85	< 100
Jap. (high strength)	-	2,30	-	-	90-120	120-130
Jap. (extra high strength)	-	2,40	-	-	140-160	180-190
Probni sastavi:						
Kristobalitni	1230	2,35	-	-	100-115	-
Kvarcni br.						
1 oksid. pečenje	1230	2,36	2,48	5	115-140	140
2 oksid. pečenje	1250	2,40	2,49	3,7	130-145	140-150
3 oksid. pečenje	1240	2,41	2,49	3,2	135-160	150-165
4a oksid. pečenje	1220	2,41	2,50	3,6	137-155	160-165
4b oksid. - redukc.peč.	1220	2,41	2,50	3,5	140-145	-

NAPOMENA: Za japanski porcelan podaci su uzeti iz prospekta. Prema plavkastoj boji crijepa izolatora kojeg smo analizirali, može se zaključiti da je pečen u oksido-redukcijskoj atmosferi.

i zaobljenih kontura su TiO₂. Procjenjuje se da ih ima također oko 1 %. Tehnološki postupak nam naravno nije poznat. Jedan od mogućih načina je prema literaturnim podacima korišćenje materiala s visokim sadržajem kremenja koji je u obliku finih čestica koje pečenjem prelaze u kristobalit⁽⁴⁾. Mikrostruktura japanskog porcelana jako je homogena; tijesna je povezanost između zrna kris-



Slika 4: Energijsko disperzijska rentgenska analiza (EDS) staklaste faze japanskog porcelana

tobalita i mulita, što je mogući razlog za visoku čvrstoću iako je porozitet oko 10 %.

Povećanju čvrstoće porcelana doprinosi i mulit, koji prorasta alkalnu alumosilikatnu staklastu materiju. Dobro je vidljiv u svim uzorcima u obliku igličastih kristala na SEM snimcima. Koliko mulita otpada na primarni nije moguće ocijeniti.

Na snimcima naših probnih porcelana kao i kod B-10 jasno se vide pukotine oko zrna kvarca. Njihov utjecaj na smanjenje čvrstoće materijala umanjen je postizanjem finije granulacije (slika 1) tako da su oko manjih zrna manje i pukotine. Pored toga, postiže se veća gustina crijepa smanjivanjem poroziteta i na taj način postigli smo značajno poboljšanje fizičkih osobina probnih porcelana u odnosu na B-10.

Tabela II. prikazuje pored poroznosti i ostale komponente strukture uzoraka. Približan kvantitativni odnos faza ocijenjen je na osnovu OM, SEM, EDS i RTG. Izraženo u zapreminskim postocima, procjenjuje se da japanski porcelan ima oko 30 % kristobalita, 70 % mulitizirane mase, 10 % stakla, malo kvarca, zatim TiO₂ i ZrSiO₄ oko 2 %. Promjer zrna kristobalita je 5 do 20 mikrometara. Probni porcelani sadrže oko 15 do 35 %

Tabela IV: Funkcionalni podaci za probni porcelan u usporedbi sa B-10 porcelanom. Karakteristike prema standardu DIN 40685-KER 110.0 (ispitivao - IRCE, Energoinvest)

Br.	Svojstvo	Jedinica	Elektroporcelan B-10		Probni elektroporcelan	
1.	Sposobnost upijanja vode	%	0,0		0,0	
2.	Gustina	g/cm ³	2,37		2,41	
3.	Čvrstoća na savijanje do loma (σ_s)	MPa	neglaz. 75-85	glaz. 100	neglaz. 130-150	glaz. 150-160
4.	Jednominutni ispitni napon (debljina 1,5 mm) (UZ)	KV	29		42	
5.	Ugao dielek. gub. kod 50 Hz i 20°C (tg δ)		28×10^{-3}		$18,5 \times 10^{-3}$	
6.	Dielektrična konst. kod 50 Hz i 20°C (ϵ_r)		7,0		5,8	
7.	Specifični unutrašnji otpor kod 20°C, istosmjerni napon (ρ_D)	Ω cm	$3,0 \times 10^{13}$		$1,6 \times 10^{14}$	
8.	Modul elastičnosti (E)	MPa $\times 10^3$	45		85	
9.	Tvrdoća po Mohs-u		7		7,5	
10.	Linearni koeficijent toplotnog širenja (20-600°C)(α)	$10^{-6}K^{-1}$	5,5		6,5	
11.	Postojanost na naglu promjenu temperature (ΔT)	°C	190		200	
12.	Površinski otpor kod 20°C (UZ)	Ω			$3,8 \times 10^{13}$	

kvarca, stakla 11-15 % i mulitizirane mase 24 do 55 %. Veličina zrna kvarca kreće se pretežno između 1 i 23 mikrometara.

Tabela III. prikazuje mjerene fizičke veličine probnih porcelana paralelno s B-10 i japanskim porcelanom za kojeg su vrijednosti uzete iz prospekta. Prikazane su temperature pečenja, stvarna i teoretska gustina, količina poroziteta izračunata iz gustine, koja se veoma dobro slaže sa OM odredjivanjima i čvrstoća na savijanje. Ukupan porozitet probnih sastava smanjen je na minimum, usitnjavanjem krupnozrnijih sirovina i postizanjem rasporeda veličina čestica kao na slici 1.

Za neglazirane štapove čvrstoća za B-10 iznosi svega 75-85 MPa što je daleko manje u usporedbi s japanskim i probnim porcelanima. Od probnih najmanju čvrstoću ima porcelan dobiven na bazi njemačkog kristobalita⁽⁵⁾. Iznosi svega 100-115 MPa. Pokušali smo mljevenjem dobiti više vrijednosti, ali ni tada nisu dobiveni očekivani rezultati pa smo odustali od daljeg rada na ovom sastavu imajući u vidu i visoku cijenu kristobalita kao sirovine. Kvarcni probni porcelani dali su izrazito dobre rezultate za čvrstoću na savijanje, od najniže 115 do najviše 160 MPa, ovisno o finoći mljevenja, poroznosti nakon pečenja i faznog sastava. Neki primjeri iz novije literature u vezi kvarcnog i aluminatnog porcelana pokazuju da su istraživači, primjenom raznih alumosilikatnih sirovina i dodavanjem metalnih oksida kao mineralizatora, nastojali da dobiju porcelan što bolje čvrstoće. H. Schubert

^(6,7) je u svojim radovima napravio pregled rezultata od nekoliko istraživača iz kojih se može vidjeti da su postignute vrijednosti za mehaničku čvrstoću na savijanje za kvarcni neglazirani porcelan do 130 MPa.

Tabela IV prikazuje izmjerene najvažnije funkcionalne veličine za probni sastav 4 (sadrži 5 % tehničke glinice) koji je izdvojen kao najpogodniji za eventualnu primjenu u usporedbi s B-10. Iz podataka se vidi da probni porcelan br. 4 ima bolji specifični unutrašnji otpor, ispitni napon i manji ugao dielektričnih gubitaka.

4. ZAKLJUČAK

1. Tokom rada uvidjeli smo da možemo dobiti materijal na bazi domaćeg kvarca iz Bitole koji ima isto tako dobre fizičke osobine kao japanski kristobaltni porcelan (sastav br. 4). To znači da je dobiven elektroporcelan visoke mehaničke čvrstoće i dobrih električnih osobina. Materijal se može ispeći na temperaturi 1220°C u oksidacijskoj ili oksido- redukcijskoj atmosferi.

2. Za postizanje ovako dobrih rezultata potrebno je bilo pronaći optimalan odnos sirovina, postići finu granulaciju kvarca i feldspata ispod 40 mikrometara. U sirovom stanju trebalo je voditi računa o ponašanju sirove mase pripremljene mokrim postupkom to jest o sposobnosti filtriranja i vakuumiranja. Formirana probna tijela u obli-

ku štapova procesom vakuumiranja i izvlačenja pečena su u laboratorijskoj ili pogonskoj peći.

3. Problem deformacije tokom pečenja riješili smo dodavanjem $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ u količini 2 do 5 %.

4. Tokom ovih eksperimenata ustanovili smo da pojava kristobalita u probnim porcelanima u količini do 5 % nema značaja za poboljšanje njegovih osobina.

5. Mehanička čvrstoća na savijanje neglaziranog probnog porcelana je skoro dva puta veća od B-10 porcelana, a bolje su i neke električne osobine što je rezultat finije teksture i pogodnog faznog sastava.

6. Treba imati u vidu da se B-10 izradjuje od 80 % uvozne i 20 % domaće sirovine. Probni porcelan br. 4 sadrži 50 % uvozne i 50 % domaće. Osim toga porcelan br. 4 sinteruje na nešto nižoj temperaturi kod 1220°C u odnosu na B-10 koji sinteruje na 1250°C . Za postizanje finije granulacije sirovina u probnim sastavima utrošak energije je znatan što je neizbježno za postizanje dobrih rezultata. S druge strane smanjuje se utrošak energije pečenjem na nižoj temperaturi.

5. LITERATURA

1.SCHÜLLER K.H., Hochfeste Porzellane auf Quarz - und Cristobalitbasis, I. Teil, Ber. Dtsch. Keram. Ges. 44 (1967) 212

2. SCHÜLLER K.H., Hochfeste Porzellane auf Quarz - und Cristobalitbasis, II. Teil, Ber. Dtsch. Keram. Ges. 44 (1967) 284

3.SCHULLE W. und KLEIN G., Der Einfluss der gezielten Feinmahlung von Feldspatträgern auf das keramisch - technologische und Sinter - Verhalten von Porzellanmassen, Sprechsaal, 119, No. 11, 1986, 1023

4.GRIMSHAW REX W., The Chemistry and Physics of Clays and Other ceramic Materials, Ernest Benn Lim., London 1971, 962

5.MIELDS A. und ZOGRAFOU C., Cristobalit als Gefügebestandteil im Porzellan, Ber. Dtsch. Keram. ges. 44 (1967), 453

6.SCHUBERT H., Porzellane hoher Festigkeit, Sprechsaal, 119, No. 10, 1986, 878

7. SCHUBERT H., Porzellane hoher Festigkeit, VII. Sprechsaal, 121, No. 10, 1988, 921

*A. Slišković, dipl.ing.
Centar za istraživanje i razvoj materijala,
"Energoinvest", Sarajevo
M. Prelec, dipl.ing.,
Iskra Elementi", VTOZD Keramika,
Ljubljana, Stegne 27
Dr. M. Kosec, dipl.ing.
Institut Jožef Stefan,
Ljubljana, Jamova 39*

Prispelo: 15. 11. 1989 Sprejeto: 05.12.1989