

I Osobine sirovina i materijala: glina i keramika

U prethodnom poglavlju bilo je, između ostalog, reči o formalnim osobinama posuđa, fakturi i primesama koje se dodaju u osnovnu sirovinu da bi poboljšale određene karakteristike gotovih posuda. Od njih značajno zavisi tehnološki postupak izrade grnčarije i preduslovi koji moraju biti zadovoljeni da bi keramička posuda odgovorila na zahteve grnčara. Da bi se, međutim, razumele i rekonstruisale tehnike izrade keramike i mogućnosti praistorijskih grnčara kako da izaberu pogodnu sirovinu, tako i da proizvedu keramičko posuđe, prvo je potrebno razmotriti svojstva osnovne sirovine – gline i svojstva od nje proizvedenog materijala – keramike.

Glina nije zemlja: poreklo, nastanak i sastav gline

Nije redak slučaj da se u arheološkoj literaturi pojavljuje opis keramike u kome se kaže da je ona izrađena od zemlje određenih karakteristika. Iako se glina u prirodi nalazi u vidu sedimenta, ona *nije zemlja*. Glina vodi poreklo od eruptivnih stena, a njena najznačajnija karakteristika je da se sastoji od minerala.

Stene i minerali

Litosfera (Zemljina kora) sastavljena je od niza elemenata: Si, Al i Fe. Oni ne postoje u prirodnom stanju, već u različitim jedinjenjima, od kojih su najčešći oksidi. Kiseonik predstavlja skoro 50% od težine i 92% od zapremine elemenata litosfere. Silicijum u obliku oksida i silikata čini 97% litosfere. Elementi, oksidi i druga jedinjenja formiraju minerale.

Minerali su prirodna jedinjenja nastala geološkim procesima, karakterističnog hemijskog sastava, sa strogo uređenom atomskom strukturom - kristalnom rešetkom i različitim fizičkim karakteristikama. Minerali se razlikuju po strukturi kristalne rešetke, gustini, tvrdoći, prelomu, sjaju i boji.

U analizi gline važni su minerali koji formiraju stene, jer sve gline potiču od stena. Minerali koji formiraju stene najčešće su silikati, tj. minerali čiji je glavni sastojak silicijum oksid. Najčešće stene su silikati aluminijuma, magnezijuma, gvožđa, kalcijuma, kalijuma i natrijuma. *Kvarc* čini 28% stena (gustina 2.5 i tvrdoća 7); to je najrasprostranjeniji mineral u litosferi i on je osnovni sastojak svih vrsta stena. On predstavlja čisti silicijum-dioksid (SiO_2), providan je i bezbojan. Ukoliko ima primesa i nečistoća može biti obojen u ljubičasto (ametist); crvenkasto (karnelijan), sa crno-belim trakama (oniks), sivo ili čak crno („čadavac“). Čest je u eruptivnim i sedimentnim stenama, kao što su peskovi i peščari.

Stene se sastoje od minerala; neke samo od jednog, dok druge predstavljaju mešavinu nekoliko različitih minerala, te su one prirodni agregati čestica jednog ili više minerala. Najčešće se stene klasifikuju prema poreklu na eruptivne, metamorfne i sedimentne stene⁷. Vulkanske ili magmatske stene nastale su kristalizacijom magme. Metamorfne stene nastale su transformacijom već postojećih stena dejstvom pritiska i temperature u dubini Zemljine kore. Dele se na plutonske (dubinske) i izlivne (vulkanske) stene. Sedimentne stene stvorene su na površini Zemlje dejstvom egzogenih procesa (razarački procesi koji dejstvuju površinski i manifestuju se erozijom, odnošenjem materijala i taloženjem). One čine 66% stena litosfere. Klastične (detritične) stene nastale su od ranijih stena koje su razorene erozijom i raspadanjem, a usitnjeni materijal je

⁷ takva podela je uobičajena iako su primarno sve stene eruptivnog – vulkanskog porekla.

transportovan na drugo mesto. Mogu biti rastresite kao šljunak i pesak ili čvrste kao konglomerat ili pešćar, u kojima su zrnca kamena ili peska sjedinjena cementom (krečnjačkim, silikatskim ili glinenim). **Gline predstavljaju veoma fine klastične sedimente koji su nastali raspadanjem alumosilikata magmatskih ili metamorfnih stena.**

Mineraloški sastav sedimentnih stena proističe od čestica stena od kojih vode poreklo i od produkata hemijske transformacije sastojaka (faza) tih stena. Raspadanje stena i minerala u Zemljinoj kori uključuje mehaničke, hemijske i biološke agense. Može se podeliti na dva osnovna procesa: fragmentacija – mehanička dezintergracija stena i hidroliza – hemijske reakcije minerala sa rastvorima, čime se stvaraju novi minerali. Mehanizmi fragmentacije uključuju abrazivne sile kao što su vetar, voda (padavine, poplave, podzemne vode) ili led, koje utiču na raspadanje i transport finih čestica. Hemijske reakcije uključuju rastvaranje, hidrataciju i oksidaciju. S obzirom na to da gline nastaju kao posledica egzogenih procesa, u poreklu glina veoma je važna otpornost pojedinačnih stena na hemijske ili fizičke promene. Stabilnost ili susceptibilnost stena na takve promene zavise od njihovog sastava i teksture. Najotporniji je kvarc, a najmanje otporan olivin (Rice 1987: Table 2.3). Minerali sa velikom količinom aluminijum-oksida (Al_2O_3) – liskuni i feldspati, najbrže prelaze u glinu.

Feldspati su grupa alumosilikata (sastoje se od SiO_2 i Al_2O_3), koji čine 39% stena, sa količinom SiO_2 koja varira 43-65%, kod kojih se pojavljuju kao baza oksidi kalijuma, natrijuma i kalcijuma. Na osnovu prisustva ovih elemenata, feldspati se dele na alkalne (ortoklas) i plagioklase, tj. feldspate sa različitim količinama kalcijuma i natrijuma (albit, oligoklas, anortit i dr). Prisustvo kalijuma, natrijuma i kalcijuma u feldspatima i glinama koje od njih potiču određuje osobine koje će glina pokazati u pečenju. Oni spadaju u

glavne elemente magmatskih, ali se javljaju i u ostalim vrstama stena. Dele se na dve grupe, prema tome kako kristališu.

Liskuni su silikati čiji su tetraedri raspoređeni u listiće, što ih čini lako cepljivim. Bazično su alumosilikati, sa sadržajem hidroksila i alkalija. Liskuni su osnovne komponente metamorfnih stena. Najčešća dva liskuna su: biotit (crni liskun) i muskovit, kalijumski liskun (beli liskun). Ilti su liskunasti glineni minerali, koji se nalaze u svakoj glini.

Vrste glina

Gline (glinena tla i glinene stene) su sedimentni depoziti koji su, u geološkom smislu, relativno skore akumulacije proizvoda raspadanja starijih stena. Osnovna podela glina vrši se na osnovu mesta taloženja u odnosu na primarnu stenu. U izvesnom smislu sve gline su sekundarnog porekla, jer su one posledica raspadanja stena, a ne njihove originalne formacije.

1. Primarne gline

Primarne (rezidualne) gline su oni sedimenti koji se nalaze na mestu postanka originalne stene ili malim pomakom od njihovog prvobitnog ležišta (Zlatunić 2005: 65). Nastale su nizom hemijskih reakcija, kao i uticajem niza drugih faktora (mraz). Primarne gline nastaju od čitavog niza različitih stena: feldspatnih stena, granita, bazalta, diorita i tufa. U slučaju krečnjaka, kao posledica mrvljenja originalne stene, gline nastaju za vreme ili pre konsolidacije kamena. Bez obzira na sastav originalne stene, primarne gline karakteriše prisustvo grubih, nepromenjenih, uglastih čestica originalne stene. Ti minerali često čine preko 90% primarnih glina i predstavljeni su kvarcom, feldspatima i liskunima. Primarne gline imaju izuzetno nizak učinak organskih komponenti (manje od 1%).

Karakteriše i niska plastičnost (Rice 1987: 37). U ovoj grupi glina preovladava kaolinit, koji nastaje raspadanjem granita i profira, a vezuje se za delovanje humusnih voda ili raspadanje feldspata delovanjem vulkanskih voda. Osobine kaolina su srednja plastičnost, mala vezivna moć, veliko skupljanje posle pečenja i visoka otpornost na termičke pritiske.

2. Sekundarne gline

Sekundarne (transportovane ili sedimentne) gline nastaju premeštanjem ili transportom od mesta nastanka, najčešće vodom, ali i vetrom, glacijacijom i erozijom. Mnogo su češće od primarnih glina i finije su teksture, jer tokom transporta dolazi do usitnjavanja čestica. Zbog izloženosti vodi, njihova plastičnost se povećava. Zajedno sa glinenim mineralima, voda taloži i nečistoće, jedinjenja gvožđa, mangana i kalcijuma, pesak, ali i organske materije čiji je sadržaj u sekundarnim glinama relativno visok (5-10%). One se dalje mogu podeliti na osnovu uslova i načina taloženja i transporta na fluvijalne, eolske, glacijalne i druge gline.

Granulometrija gline

Gline se mogu definisati i na osnovu veličine čestica i tako se u geologiji termin „glina“ odnosi na čestice, tj. frakcije određenih dimenzija. Najvažnija osobina gline je plastičnost, koju glina dobija zahvaljujući česticama malih dimenzija. Prema različitim standardima, različite veličine čestica se smatraju glinom. Kod nas je uobičajeno da se glinom smatra frakcija manja od 0.005 mm, dok se frakcije između 0.05 i 0.005 nazivaju alevritima; peskovita frakcija se odnosi na čestice veće od 0.05 mm (upor. stranu 165). S obzirom na to da se većina sedimenata ne sastoji isključivo od čestica određene veličine, već predstavlja mešavinu različitih frakcija, formiraju se deskriptivne kategorije, kao što su „peskovita glina“ i slično. Da bi se neki sediment okarakterisao kao glina, mora da

sadrži određeni procenat glinovite frakcije, prema nekim šemama 35% čestica manjih od 0.002 mm, prema drugim 40%.

Količina glinenih čestica u sedimentu zavisi od načina formiranja depozita. Stene u kojima dominira glinovita frakcija su ilovača i škriljac.

Glineni minerali i sastav glina

S obzirom na to da su gline smeše, one sadrže različite količine glavnih i sporednih sastojaka. Najvažniji sastojak svih glina su glineni minerali, tj. alumosilikati koji sadrže vodu. Jedna manja grupa glinenih minerala pripada alofanima – amorfnim alumosilikatima, koji za razliku od ostalih glinenih minerala imaju osobinu da se rastvaraju u hlorovodoničnoj kiselini (Libšer i Vilert 1967: 14).

Većina glavnih glinenih minerala pripada grupi *filosilikata* (slojeviti silikati), koji se sastoje od slojeva SiO_2 i Al_2O_3 , a prema rasporedu slojeva dele se na više podgrupa: dvoslojna (kaolinit, haloizit) i troslojna u kojoj je najznačajnija grupa smektita (66.7% SiO_2 , 28.3% Al_2O_3 i 5 % vode) (Rice 1987: 48). Najznačajniji mineral iz grupe smektita je *montmorilonit*, koji sadrži magnezijum i kalcijum, belosive je boje, u dodiru sa vodom bubri, ali nije plastičan (Zlatunić 2005: 67). Iliti, koji takođe pripadaju ovoj grupi slični su muskovitu i takođe se nalaze u svim glinama, a od liskuna ih razlikuje samo veća količina vode.

Osim glinenih minerala, gline obično sadrže još i kvarc (pesak) i ostatke neraspadnutih stena – feldspata i liskuna. Takođe, čest sastojak u glinama je i kalcijum-karbonat (CaCO_3), koji može da bude ravnomerno raspodeljen u vidu sitnih zrna, ali i u formi većih komada. Gline sa sitnim primesama kalcijum-karbonata pogodne su za

obradu jer lakše sinteruju. Značajan udeo u glini čine i organske materije, kao što su ostaci biljaka ili humusa.

Svojstva gline

Glina se generalno definiše kao materijal koji postaje plastičan kada se pomeša sa određenom količinom vode. Voda na koju se ovo odnosi nije ona voda koja se prirodno nalazi između listića smektitnih minerala, niti voda koja predstavlja deo hemijske strukture gline (tzv. hemijska voda). Radi se o tzv. dodatnoj vodi koju adsorbuju glinene čestice i koja se vezuje za njihove površine i ivice. Većina osobina gline koje se mogu izmeriti egzaktnim metodama zavisi od ponašanja gline tokom mešanja sa vodom.

Plastičnost

Najvažnija osobina gline je plastičnost. Ona se definiše sposobnošću gline da, kada se pomeša sa dovoljnom količinom vode, formira testo koje pritiskanjem dobija željeni oblik, a po prestanku pritiska taj oblik i zadržava (Libšer i Vilert 1967: 15; Shepard 1971: 14). Plastičnost se gubi kada voda ispari tokom sušenja, ali će forma biti zadržana. Plastičnost se može povratiti dodatnim vlaženjem, ali će u tom slučaju da nestane formirani oblik. Izlaganjem toploti glina postaje tvrda i gubi plastičnost.

Plastičnost gline zavisi od niza faktora: granulacije, oblika čestica, sadržaja glinenih i drugih minerala, količine vode i organskih sastojaka i drugih. Plastičnost, kao i neke druge osobine, zavisi od interakcije gline i vode na površini glinenih čestica. Zato najvažniji uticaj na plastičnost imaju njihova granulacija i oblik. Čestice gline najčešće su u formi listića ili pločica. S obzirom na to da poseduju izvanredno veliku površinu, sposobne su da dejstvuju velikom snagom prijanjanja. Tanka vodena skrama koja se nalazi

između čestica uzrok je njihovoj dobroj povezanosti i sposobnosti pomeranja. Što su čestice sitnije, veća je površina izložena vodi, pa se stoga plastičnost povećava. Takođe, na plastičnost utiču i adsorbovani joni. Sitne čestice gline se negativno električno pune, dok je voda pozitivno naelektrisana. Isto naelektrisane čestice gline ponašaju se kao joni i međusobno se odbijaju i na taj način ostaju stabilni i odvojeni, zbog čega se sprečava brzo zgrudvavanje. Kada voda ispari, pločice dolaze u kontakt jedna sa drugom i posle toga se one teško odvajaju (Bronitsky 1986: 213).

Za sada nema zadovoljavajućih načina za merenje i utvrđivanje plastičnosti, delom zbog toga što na tu osobinu utiče mnogo faktora. Definicija plastičnosti ističe deformaciju gline uticajem sile. Oblikovanjem gline, međutim, javlja se više različitih sila i da bi se razumele njene karakteristike potrebno je razmotriti svaku ponaosob. Prva je kompresiona sila⁸ – pritiskanje gline, druga tenziona sila⁹ - kada se glina razvlači, a treća je primena različitih sila koje deluju u suprotnim pravcima. Sve tri vrste pritiska izazvaće pucanje.

Za utvrđivanje plastičnosti važne su dve osobine: tačka razvlačenja i rastegljivost. U tački razvlačenja počinju da deluju kompresione sile koje menjaju oblik plastične mase, pri čemu glina postaje savitljiva. Tačka razvlačenja može se meriti silom prema površini, tj. kg po kvadratnom metru. Rastegljivost se odnosi na količinu deformacije koju glina može da izdrži ispod tačke razvlačenja, a da se ne pojave pukotine (Rice 1987: 61). Ove dve osobine međusobno su obrnuto proporcionalne: glina sa visokom tačkom razvlačenja imaće nisku rastegljivost; najbolja glina je ona koja ima izbalansirane ove dve osobine.

⁸ Kompresiona sila definiše se kao vrsta pritiska koji nastaje primenom jake sile na materijal pod pravim uglom i pokazuje sposobnost materijala da izdrži veliko opterećenje (Bronitsky 1986: 239).

⁹ Tenzioni pritisak nastaje kad na materijal deluje vučna sila (Schiffer et al. 1994: 199).

Plastičnost se može utvrditi na osnovu sadržaja vode (Rye 1981: 20). Osim toga, postojali su i pokušaji da se plastičnost utvrdi merenjem torzionih sila (Bronitsky 1986: 214). Ipak, za sada preovlađuju sasvim subjektivni načini utvrđivanja plastičnosti, na osnovu „osećaja“ – pritiskanjem glinene kugle palcem: što se kasnije na ivicama pojave pukotine, to je glina plastičnija (Libšer i Vilert 1967: 26). Drugi način je izrada „kobasica“ od gline koje se savijaju u prsten; na osnovu deformacija i pukotina glina se opisuje kao suviše plastična (ne održava oblik), plastična (zadržava oblik uz neznatnu pojavu pukotina), suva (javljaju se brojne pukotine, ali se oblik i dalje zadržava) i suviše suva („kobasica“ puca i lomi se). Ovakva vrsta testa sirovine zabeležena je i etnografski (Bronitsky 1986: 216). Iako su takve probe veoma korisne, one ipak ne daju naučno tačne brojčane vrednosti.

Ispitivanja pomoću kojih se dolazi do delimičnih svojstava plastičnosti su određivanje dodatne vode i određivanje granica plastičnosti. Dodatna voda meri se gubitkom težine, koja se izračunava u procentima prema suvoj glini. Broj koji označava plastičnost dobija se kao razlika u količini vode u glini, između njene granice lepljivosti i granice istegljivosti (Libšer i Vilert 1967: 26).

U vezi sa količinom vode koju glina prima mogu se razlikovati dve vrste gline. Masne gline su čiste gline bez primesa, odlikuju se velikom plastičnošću, imaju izrazitu vezivnu moć zadržavanja velikog broja neplastičnih primesa i jako se skupljaju tokom sušenja (Zlatunić 2005: 66). Montmorilonitske gline često pripadaju grupi masnih gline (Rice 1987: 61). Posne gline imaju hrapave površine, lako se rastvaraju u vodi, primaju malo vode i vezuju malo neplastičnih primesa.

Skupljanje i sadržaj vlage

Dodatna voda u glinenom testu odvaja čestice gline, tako da kad je glina vlažna, masa ima nisku gustinu. Kada dodata voda ispari („voda skupljanja“), masa se skuplja i stvara se tenzioni pritisak, čestice približavaju jedna drugoj, i sve su gušće raspoređene. Tako masa dolazi u tzv. „kožno stanje“, kad postaje čvrsta i gubi plastičnost.

Za sušenje je od velikog značaja i voda koja je sadržana u porama, koje ima u različitoj količini u zavisnosti od rešetkaste strukture glinenih minerala. Ona čini 10-26% mase, u zavisnosti od veličine čestica. Fine gline imaju više pora. Gubitak ove vode ne utiče na skupljanje, jer se ona zamenjuje vazduhom. Takođe, voda koja je vezana na površini čestica pomoću adhezije naziva se „adheziona voda“. Radi se o vodi koja se u vidu tanke skrame adsorbuje iz atmosfere na površini delimično suve mase. Ni ona ne utiče na skupljanje (Rice 1987: 65).

Zapremina gline se tokom sušenja i kasnije, tokom pečenja, smanjuje. Tako se razlikuju „skupljanje pri sušenju“ i „skupljanje pri pečenju“, koji zajedno čine „ukupno skupljanje“. Svako skupljanje označava se procentom početnog stanja; skupljanje pri sušenju obračunava se u odnosu na veličinu sveže modelovanog, vlažnog komada, a skupljanje pri pečenju u odnosu na veličinu komada u suvom stanju. Linearno skupljanje odnosi se na merenje merama za dužinu (visina, debljina zida, prečnik); zapreminsko skupljanje meri se težinom (Libšer i Vilert 1967: 16). Skupljanje može da se meri i na test-briketima, a merama skupljanja dodaje se i vreme sušenja (Bronitsky 1986: 217).

Gline smektitne grupe, sa velikom količinom montmorilonita imaju osobinu da jako bubre kada se pomešaju sa vodom i potrebna im je velika količina vode da bi postale plastične. Shodno tome, montmorilonit se najviše skuplja za vreme sušenja. Tako proizilazi da što je veća količina vode potrebna da bi se dobila zadovoljavajuća

plastičnost, veća je šansa da će doći do pucanja za vreme sušenja i pečenja (Arnold 1985: 21).

Sušenje je osetljiv korak u izradi grnčarije, jer se u zidovima posuda javljaju pritisci koji mogu da izazovu pucanje i lomljenje. Prilikom sušenja, iz zidova keramike ne izlazi sva dodatna voda; masne gline posle sušenja zadržavaju još oko 6%, a posne 3-4% vode. Zato je u tehnološkom postupku potrebno izvršiti predgrevanje na temperaturama 110-120°C, kada se ta voda gubi.

Proces sušenja može se podeliti u dva jasno odvojena dela (Libšer i Vilert 1967: 81; Rice 1987: 66). Vlažna masa na početku sušenja sastoji se od prostora ispunjenog lističastim česticama glinenih minerala, koji bubre i pokrivaju se skramom adhezije vode; između njih leže čestice neplastičnih primesa, a ostali međuprostori – pore ispunjeni su vodom iz pora. Na početku skupljanja voda isparava kroz otvore na porama sa površine i prelazi u okolni vazduh, ali se i voda iz unutrašnjosti pomera ka površini. U unutrašnjosti počinje gubljenje vode skupljanja, praćeno gubitkom adhezije vode. Glineni minerali se približavaju jedan drugom, što se spolja odražava smanjenjem zapremine; pore su još uvek ispunjene vodom. U drugom delu sušenja isparava samo porna voda iz razgranatog sistema finih pora u obliku kapilara, koje se tada napune vazduhom.

Važan faktor za sušenje gline je veličina čestica. Kod finih glina, voda brže isparava sa površine nego iz zidova; tako dolazi do neujednačenog skupljanja i stvaranja pritiska koji izazivaju pucanje ili deformaciju oblika. Vrlo često te pukotine nisu vidljive i oštećenja će se pojaviti tek za vreme pečenja. Zato posude izrađene od fine gline moraju da se suše veoma sporo. Takođe, fine gline često sadrže organske materijale, pri čemu i voda u porama može da sadrži soli ili druge organske materije. Kako voda isparava, na

površini mogu da se jave naslage ili skrama, što utiče na gustinu i tvrdoću keramike (Rice 1987: 67).

Razlika u stepenu skupljanja različitih delova posude može da bude izazvana različitim tehnikama oblikovanja. Tako različiti delovi posude mogu da budu izrađeni od testa sa različitom količinom vode: oni delovi posude sa većom količinom vode imaju veće skupljanje od onih suvljih, što dovodi do pucanja. Orijentacija čestica gline takođe može da bude različita u zavisnosti od tehnika oblikovanja. Skupljanje je različito u zavisnosti od orijentacije čestica, jer se javlja različita količina vodene skrame oko čestica gline. Tako će uglovi i mesta spajanja postati najosetljivije tačke, jer su to mesta gde se orijentacija čestica drastično menja.

Ne treba zaboraviti ni to da na skupljanje tokom sušenja značajno utiče i vrsta, količina i veličina primesa dodatih u osnovnu sirovinu. Kako njihova količina i veličina rastu, sušenje postaje sve teže. S druge strane, primese mogu i da olakšaju sušenje, jer smanjuju količinu površina koje adsorbuju vodu, pa je ponekad korisna količina od 25% primesa da bi se sprečilo jako skupljanje (Arnold 1985: 22).

Tokom sušenja raste otpornost na lomljenje, udar ili savijanje i to se naziva suvom čvrstoćom¹⁰. Atributi koji utiču na suhu čvrstoću su fine čestice, a na njeno povećanje utiče i dodavanje organskih primesa. Suva čvrstoća raste sa gubitkom vode i najveća je kad je posuda potpuno suva.

Tekstura

Grube čestice u glini utiču na njenu osobinu koja se naziva teksturom i ona zavisi od količine, veličine i oblika uključaka u glini, bez obzira na njihovo poreklo ili mineralni

¹⁰ engl. „green strength“.

i hemijski sastav. Ti uključci mogu biti prirodni, posebno u primarnim glinama, ali i veštački dodati od strane majstora, kao primese u osnovnoj masi.

Svojstva keramike

Mikrostruktura

Mikrostrukturu keramike određuje njen fazni sastav, tj. međusobni odnosi (morfologija, granulacija i distribucija) staklaste, ne-staklaste faze i makro- i mikro- pora (Bronitsky 1986: 223). Definisane mikrostrukture keramike zasniva se na utvrđivanju sastava, strukture, teksture i površinskih svojstava keramike.

Faze predstavljaju svaki homogeni materijal koji se mehanički odvaja od ostalih komponenti.

Sastav se odnosi na kristalne i staklaste komponente, amorfne faze i pore. Staklasta faza važna je u rekonstrukciji temperature pečenja, jer se različiti minerali tope, tj. sinteruju na različitim temperaturama.

Tekstura je predstavljena morfologijom, distribucijom i veličinom kristala, amorfne faze i makro i mikro-pora.

Struktura se odnosi na raspored faza.

Površinska svojstva uključuju sve pomenute osobine koje su vidljive na mrvljenim, poliranim ili polomljenim površinama (Rice 1987: 348). Kod keramike pečene na niskim temperaturama, glavni faktori koji utiču na mikrostrukturu su korišćene sirovine i tehnike izrade, uključujući pečenje i donekle promene u faznom sastavu, koje se ogledaju u prisustvu staklastih faza. Fazni dijagrami se obično koriste da bi se prikazale

kristalografske promene i ponašanje sastojaka u materijalu prilikom izlaganja visokim temperaturama, kad dolazi do topljenja. Kako se povećava temperatura pečenja, dolazi do vitifikacije – pojave staklaste faze i formiranja novih minerala. Tako je, na primer, važno ponašanje kalcijum-karbonata, čije promene mogu da ukažu na uslove pečenja (Bronitsky 1986: 223). Analiza faznog sastava obavlja se nizom analitičkih tehnika, kao što su analiza tankih preseka ili rentgenska difrakciona analiza, o čemu će biti reči u daljem tekstu.

Tvrdoća i čvrstoća

Tvrdoća je fizička osobina koja je najjače povezana sa čvrstoćom, i najčešće se odnosi na otpornost materijala na abraziju. Drugim rečima, materijal je tvrdi ukoliko zasecanjem po njegovoj površini ostaje manji trag (Bronitsky 1986: 222). Tvrdoća je važna osobina keramike, jer može da ukaže na razlike u sirovinama, tehnikama izrade i uslovima pečenja. Tvrdoća može da se odredi na osnovu ogreba, a najčešći način merenja je prema Mosovoj skali, na osnovu poređenja sa utvrđenim standardima (Shepard 1971: 114-116). Kada je u pitanju keramika sa arheoloških lokaliteta, primena ovog testa otežana je činjenicom da je keramika heterogeni materijal, a tvrdoća može da se razlikuje na različitim delovima posude. Većina arheološke keramike pokazuje tvrdoću između 2.5 i 4 na Mosovoj skali (Bronitsky 1986: 222). Tvrdoća raste sa povećanjem temperature pečenja, a na nju može da utiče i atmosfera pečenja, posebno redukciona atmosfera, koja povećava tvrdoću. Finiji, manje porozni materijali imaju veću tvrdoću. Na tvrdoću utiče i obrada površina: glačanje će sabiti čestice na površini, što će je učiniti tvrdom i otpornijom na abraziju; slično se ponaša i keramika sa premazom. Za arheologe je od velike važnosti oblik preloma keramike jer može da ukaže na tvrdoću: tvrda keramika se teže lomi i ostavlja ravne ivice, dok mekša keramika ima neravne, trošne ivice (Rice 1987: 355).

Tvrdoća se najčešće odnosi na površinu keramike, dok se čvrstoća odnosi na ceo primerak - posudu. Ona je posledica mnogih svojstava materijala - sastava, fizičkih svojstava, tehnika oblikovanja, uslova sušenja i pečenja, ali i oblika posude i debljine zidova (Tite et al. 2001: 304). Čvrstoća se odnosi na mehanička svojstva materijala, pre svega na otpornost na mehaničke pritiske, tj. uticaje tenzionih, kompresionih i sila koje deluju u različitim pravcima. Otpornost na različite mehaničke pritiske veoma je važna osobina keramike ukoliko se razmatra njena funkcija, posebno funkcije skladištenja, transporta i termičke pripreme hrane, a ponašanje posuda pod različitim pritiscima bila je tema eksperimentalnih istraživanja (na primer Bronitsky and Hamer 1986; Schiffer and Skibo 1987).

Poroznost

Pore su definisane kao prazni prostori između čvrstih čestica. *Otvorene pore* predstavljaju međusobno povezane pore, koje se bez prekida pružaju od jedne do druge površine. *Zatvorene pore* su one pore koje nisu povezane sa površinom ili su odvojene od površine prisustvom glazure, premaza ili vitrifikacije. U analizi poroznosti razlikuju se ukupna poroznost, koja se izražava odnosom zapremine pora u odnosu na ceo primerak keramike i prividna poroznost, koja prikazuje zapreminu pojedinačnih otvorenih pora (Shepard 1971: 125-126). Veličina i oblik pora zavise od veličine, oblika i rasporeda tvrdih čestica u masi. Obično su nepravilnog oblika i zavise od sastava sirovine. Na poroznost značajno utiču dodate primese, pre svega prisustvo organskih materija. Tako, na primer, pore koje nastaju sagorevanjem organskih primesa predstavljaju „negative“ oblika originalne primese. Poroznost raste sa povećanjem količine dodatih primesa.

Pre pečenja, poroznost je predstavljena otvorenim porama. Na početku pečenja, ona raste, jer tada sagorevaju organske materije. Maksimum dostiže na 800°C, a posle

toga opada procesom vitrifikacije. Otvorene pore se eliminišu ili transformišu u zatvorene (Rice 1987: 351).

Jedan od načina utvrđivanja prividne poroznosti je upijanje vode. Obavlja se tako što se posuda ili probna pločica izmeri u dobro osušenom stanju („suva težina“), a zatim potapa u destilisanu vodu kako bi se pore zasitile. Ponekad se uzorak kuva ili potapa u vodu tokom 24 sata. Zatim sledi merenje u zasićenom stanju („mokra težina“). Povećanje u težini odražava sposobnost upijanja vode i predstavlja se kao procenat težine u suvom stanju (Libšer i Vilert 1967: 29). Prava - ukupna poroznost određuje se odnosom specifične težine (težina 1 cm³ materijala bez pora, tj. samo potpuno čvrstih sastojaka) materijala i prostorne težine (težina 1 cm³ materijala) i takođe se izražava u procentima. Vizualizacija strukture pora može se dobiti i primenom skenerske elektronske mikroskopije.

Šta je faktura?

Kao što smo videli, na mnoga svojstva keramike utiču ne samo karakteristike osnovne sirovine, već i primese koje su od strane majstora dodate u osnovnu masu. Identifikacija korišćenih sirovina za primese za arheologiju predstavlja jedno od najvažnijih pitanja pri analizi teholoških izbora, tehnika izrade i funkcije keramičkog posuđa. Izgled i sastav mase od koje je izrađena keramika je, u stvari, ono što se u keramičkim analizama naziva fakturom. Iako se radi o terminu koji je veoma čest u svakodnevnom kontaktu sa materijalom i u literaturi, još uvek postoje nedoumice u vezi sa definisanjem fakture, a taj termin se, nažalost, i dalje veoma često koristi u sasvim pogrešnom značenju.

Nije retkost da se u arheološkoj literaturi kaže da je neka keramika izrađena od „neprečišćene“ ili „prečišćene zemlje“. Ovakva, uobičajena definicija fature je, naravno, sasvim pogrešna. U prethodnom tekstu smo pokazali da se keramika ne izrađuje od zemlje, već da su sirovine – gline - minerali sa karakterističnim svojstvima koja glinu čine obradivom, tj. pogodnom za oblikovanje. Prečišćenost je sledeći izvor zablude. Kao što smo videli, glina se prirodno javlja u različitim oblicima i sa različitom količinom prirodno prisutnih grubljih konkcija, mineralnih ili organskih, i u tom stanju ona je najčešće potpuno neupotrebljiva i neplastična. Da bi se dovela u stanje u kome ju je moguće oblikovati, ona mora da se prečisti. Svaka glina od koje je izrađena keramika, dakle, mora biti prečišćena. Separacija može da se obavi odmah po vađenju gline iz majdana, ili kasnije, korišćenjem različitih posebnih tehnika¹¹. Tek pošto je separacija obavljena, u osnovnu sirovinu se dodaju primese, koje će sa svoje strane uticati na različita svojstva gotove posude. Tako se keramika grube fature, na primer, nikako ne sme smatrati keramikom od neprečišćene ili loše prečišćene sirovine. Njena gruba faktura je, naprotiv, posledica svesne operacije majstora: grubi uključci su ili namerno dodati ili je namerno birana sirovina koja ih prirodno sadrži, i to sa određenom svrhom. Naizgled gruba, a time i neatraktivna keramika nije proizvod neznanja i nesposobnosti majstora da izradi finu posudu, već naprotiv, ona je posledica dugotrajnog iskustva i poznavanja osobina i ponašanja materijala pod različitim pritiscima, kako tokom izrade, tako i tokom upotrebe. Zbog toga za uobičajenu podelu faktura na grubu, srednju i finu glavni kriterijum mora da bude vrsta, količina i veličina dodatih primesa ili prirodno prisutnih grubih uključaka (Shepard 1971: 131).

Neki autori predlažu da se podela faktura vrši prema granulaciji osnovne ili sirovina korišćenih za primese: keramikom grube fature smatra se ona keramika čije su

¹¹ detaljnije o tehnikama separacije u poglavlju „Proces izrade keramičkih posuda“.

primese veće od 1 mm, dok su primese u finoj keramici manje od 0.5 mm (Bronitsky and Hamer 1986: 90). Razlog za ovakvu podelu je pretpostavka da će keramika sa različitom granulacijom primesa imati i različite karakteristike, koje se pre svega ogledaju u termičkim svojstvima, odnosno otpornošću na termičke pritiske.

Primese

U arheologiji i etnoarheologiji potvrđeno je korišćenje veoma širokog spektra različitih vrsta materijala koji se koriste kao primese u osnovnoj sirovini. Mogu se podeliti na neorganske (pesak, kalcit, školjke, šamot, usitnjeni kamen) i organske (pleva, trava, perje, pepeo, dlaka, jaja, balega, različite vrste vlakana, krv). One se definišu kao materijal koji se dodaje u osnovnu sirovinu da bi poboljšao ili na neki drugi način uticao na karakteristike ponašanja neke posude u toku njene upotrebe (Braun 1983). Takva definicija je svakako tačna, jer se primese najčešće dodaju da bi se poboljšale karakteristike posuda tokom upotrebe (otpornost na termičke i mehaničke pritiske, propustljivost i sl). Ipak, neke primese se dodaju i iz čisto tehnoloških razloga - da bi se olakšalo oblikovanje ili smanjila opasnost od pucanja ili lomljenja posuda u nekom od koraka u izradi. Tako se primese definišu i kao svi grubi sastojci u masi, koji su dodati da bi se modifikovala svojstva gline, vlažne ili suve, tokom sušenja ili pečenja (Rice 1987: 406). S obzirom na to da je uticaj korišćenih primesa na funkciju detaljno analiziran na drugom mestu (Vuković 2006), ovde ćemo razmotriti primese sa stanovišta tehnologije, tj. one koje se dodaju da bi se olakšao postupak izrade.

U analizi tehnologije izrade keramike važno je uzeti u obzir efekat primesa na plastičnost i druge osobine osnovne sirovine, kao što je na primer ponašanje mase za vreme pečenja. Na ove osobine utiče vrsta primesa, ali i njihova veličina.

Veličina čestica primesa utiče na plastičnost: čestice većih dimenzija olakšavaju održavanje oblika modelovane posude i čine glinu pogodnom za izradu „kobasica“, što ih čini nekom vrstom armature. Ne treba, međutim, zaboraviti da velika količina neplastičnih primesa znatno umanjuje plastičnost, što posudu čini slabom i neotpornom, pa može da dovede do pucanja, lomljenja ili deformacije oblika (Arnold 1985: 29). Osim toga, negativni uticaji velikih čestica primesa ogledaju se u činjenici da sprečavaju spajanje gline i primesa, što može da dovede do pucanja za vreme sušenja (Bronitsky 1986: 218). Povećanje količine većih čestica može da smanji opasnost od prevelikog skupljanja mase tokom sušenja. Na taj način se povećava veličina pora i olakšava prolazak vode od unutrašnjosti ka spoljnim površinama. Negativna posledica je, međutim, što se na taj način smanjuje suva čvrstoća (Rice 1987: 71).

Primese se najčešće dodaju da bi se uticalo na (ne)plastičnost osnovne sirovine. *Opošćivači* su oni neplastični dodaci koji se dodaju da bi se smanjila prevelika plastičnost osnovne sirovine. Oni čine glinu posnijom, snižavaju procenat skupljanja, sprečavaju krivljenje i skupljanje pri sušenju i na niskim temperaturama pečenja povećavaju poroznost. Najvažniji i najčešći opošćivači su kalcijum-karbonati (kalcit, tucane školjke), kvarcni pesak i šamot, tj. tucana keramika. Šamot se često koristi, i to iz više razloga. S jedne strane ekonomičan je, jer se dodavanjem tucane keramike smanjuje potrebna količina osnovne sirovine. Još važnija osobina je i zapreminska postojanost. Pošto je šamot već pečena glina, kao sastavni deo mase on se pri pečenju niti skuplja, niti širi. Upotreba šamota dalje povećava otpornost na termičke i mehaničke pritiske i unutrašnje napone (Libšer i Vilert 1967: 19). Ukoliko je masa, međutim, neplastična, moraju se dodati primese koje će povećati plastičnost i to su često masne organske primese sitne granulacije, najčešće balega.

Različite primese s jedne strane pozitivno utiču na plastičnost mase, ali se s druge strane različito ponašaju tokom pečenja. Kvarcu i pesku u fakturi potrebne su više temperature pečenja, zbog prelaska alfa u beta-kvarc. Kalcijum karbonati (krečnjak i školjke), zbog činjenice da može doći do rehidracije, takođe moraju da peku pod određenim uslovima (Bronitsky 1986: 218). O hemijskim promenama do kojih dolazi za vreme pečenja detaljnije će biti reči u sledećem poglavlju.

So se dodaje u glinu sa velikom količinom krečnjaka da bi se poboljšao kvalitet osnovne sirovine, tj. da bi se ublažila razgradnja kalcita za vreme pečenja – da bi se temperatura povećala na onu koja je potrebna za njegovu razgradnju (Rye 1981: ; Arnold 1985: 26). Prisustvo natrijuma snižava temperaturu potrebnu za vitrifikaciju. Tako se postiže da keramika ima veću čvrstoću i onemogućava rehidraciju kalcijum-oksida posle pečenja.

Pitanje organskih primesa uvek predstavlja poseban problem u interpretaciji. Njihovo prisustvo najčešće se objašnjava potrebom za lakše oblikovanje, gde organske primese većih dimenzija predstavljaju neku vrstu „armature“ koja olakšava oblikovanje. Čini se da takvo objašnjenje nije sasvim ispravno, jer velike organske primese, kao što su trava ili slama, naprotiv, otežavaju oblikovanje i utiču na pojavu pukotina tokom sušenja i pečenja. Ovo je dokazano i eksperimentalnim probama.¹² Drugo objašnjenje je da se dodavanjem organskih primesa poboljšava proces pečenja. Naime, sagorevanje organskih materija u zidu posude omogućava ujednačenije pečenje, posebno u uslovima nemogućnosti kontrolisanja uslova pečenja na otvorenoj vatri (Skibo et al. 1989: 133). Tako nastale pore činiće gotovu posudu „elastičnijom“ i stoga otpornijom na različite, posebno termičke pritiske, tokom upotrebe.

¹² V. Svoboda, pers. comm.

Videli smo da različite karakteristike osnovne sirovine - gline i dodatih primesa različito utiču na niz osobina pečene keramike: s jedne strane pozitivno utiču na neka svojstva, dok su istovremeno pogubne za neka druga. Izradu grnčarije još težim poduhvatom čini potreba proizvedu postojeane posude sa jasno određenom funkcijom: nije dovoljno oblikovati, osušiti i ispeći posudu tako da ona ostane cela i bez pukotina; potrebno je da bude dovoljno „dugovečna“, tako da u toku što je moguće dužeg vremenskog razdoblja – njenog životnog veka, izdrži pritiske kojima je izložena tokom upotrebe. Današnjim grnčarima u tome u mnogome pomažu saznanja egzaktnih nauka, pa čak je i tada potrebno znatno iskustvo. Praistorijski grnčari takvim znanjima nisu raspolagali, a ipak su proizvodili kvalitetnu, izdržljivu i pogodnu keramiku. Zato je potrebno, imajući u vidu današnja tehnološka znanja, detaljno razmotriti tehnike izrade keramike i način na koji su praistorijski grnčari mogli tokom procesa izrade da utiču na svojstva materijala i kontrolišu i u dovoljnoj meri smanje negativne pojave.