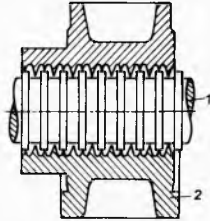
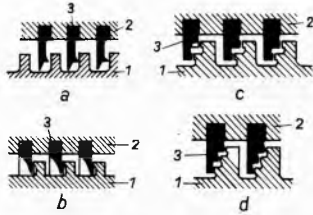


Još je savršeniji način bezdodirnog brtvenja s pomoću utora i izdanaka na rotirajućem i na mirujućem dijelu spoja, koji za diru jedni u druge, ali tako, da se međusobno ne dotiču, stvarajući neku vrstu labirinta. *Labirintne brtvenice* (koje se uglavnom primjenjuju kod brtvenja između obočja i vratila parnih i plinskih turbina, kao i kod njihovih razdjelnih stijena), sastoje se od niza grebena na vratilu i na obočju, koji ulaze jedni među druge, čineći kod toga uzastopna proširenja i suženja, kako to prikazuje sl. 419. Ovdje su grebeni na vratilu izrađeni od punog materijala (ili se na vratilo navuče vitka s urezanim grebenima). Normalne labirintne brtvenice izrađuju se od mjeđi ili od bronce, a za visoke temperature od nikal-čelika ili krom-nikalnog čelika. Postoji mnogo oblika labirintnih brtvenica, koje mogu imati radijalne, aksijalne ili radijalne i aksijalne prigušene raspore (sl. 420). Širina raspora iznosi obično 0,3...0,5 mm, a može se i regulirati.



Sl. 419. Labirintna brtvenica na vratilu parne turbine. 1 Vratilo i greben izrađeni u jednom komadu, 2 dio obočja turbine s labirintima

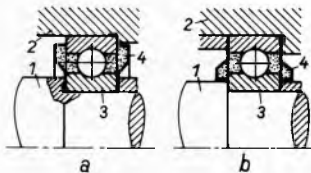


Sl. 420. Nekoliko primjera labirintnih brtvenica: a, b s aksijalnim raspoređivanjem, c, d s kombiniranim aksijalno-radijalnim raspoređivanjem; 1 vratilo s grebenima, 2 mirujući dio, 3 posebno ugrađeni labirinti

Labirintno brtvenje zasniva se na principu prigušivanja medija koji prolazi kroz labirinte, mijenjanjem u njima smjera kretanja, tlaka i brzine uslijed promjene presjeka raspore među njima. Brzina prolazećeg medija što nastaje u svakom suženju raspore, poništava se zbog naglog proširenja presjeka i skretanja i zbog stvaranja turbulencije. Kako su otpori kod turbulentnog strujanja skoro dva puta veći nego otpori kod laminarnog strujanja, to su labirintne brtve vrlo pogodna za sprečavanje prolaza plinova i para uz minimalne gubitke. To je i glavni razlog njihove primjene kod turbina radi zaštitnog djelovanja protiv gubitka tlaka i vakuuma.

Dotirno zaštitno brtvenje najjednostavnije se može izvesti s pomoću *pustenih prstenova* trapeznog presjeka (sl. 421). Pošto je takav način brtvenja povezan s trenjem, prstenovi se prije ugradnje natapaju vrućim uljem. Unatoč tome treba računati s trošenjem materijala i češćom izmjenom prstenova. Tamo gdje se očekuje intenzivnije onečišćenje, ugrađuju se više prstenova odvojeno jedan od drugoga ili u brtvenice jedan do drugoga. Zaštita pustenim prstenovima najviše se upotrebljava pri podmazivanju mašću (npr. kod valjnih ležaja skoro svih oblika). Pri podmazivanju uljem pusti se prstenovi upotrebljavaju razmjerno rijetko, jer se brzo natapaju mazivom i počinju ga propuštati.

Kombinirano zaštitno brtvenje s pomoću pustenih prstenova i labirinata primjenljivo je u pogonima u kojima dolazi do jakog prašenja. Pri tome se labirinti moraju napuniti mašću.



Sl. 422. Jednostavni primjeri zaštitnog brtvenja Nilos-prstenovima. a Vanjsko brtvenje, b unutrašnje brtvenje; 1 vratilo, 2 kućište, 3 kotrljajući ležaj, 4 Nilos-prsten

Za dotirno zaštitno brtvenje uspješno se upotrebljavaju i tzv. *Nilos-prstenovi*. Jednostavni primjeri njihove upotrebe za vanjsko i unutrašnje brtvenje prikazani su na sl. 422.

Kako je već navedeno, za dotirno zaštitno brtvenje upotrebljavaju se danas i *manžete*. Taj je način zaštitnog brtvenja najkvalitetniji, pogotovu pri

podmazivanju uljem. Oblici manžeta koji se upotrebljavaju za zaštitno brtvenje vrlo su brojni. Većinom su to manžete s oprugom. Najčešće se izrađuju s metalnim kućištima ili s dijelovima za ukrućenje. Prednosti manžeta s oprugom su u tome što se jednostavno ugrađuju, zauzimaju malo mjesta i uzrokuju malo trenje.

E. Oberšmit

LIT.: *Машиностроение, энциклопедический справочник*, Москва 1948. — S. Gross (prevod D. Taubkin), *Proračunavanje i oblikovanje opruga*, Zagreb 1951. — F. Findeisen, *Neuzeitliche Maschinenelemente*, Zürich 1950/53. — E. F. Göbel, *Berechnung und Gestaltung von Gummifedern*, Berlin 1955. — L. Jemmar, *Ozubena kola čelni*, Praha 1956. — W. Tochtermann, *Maschinenelemente*, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956. — B. H. Кудрявцев, *Жубчатые передачи*, Москва, Ленинград 1957. — W. Lindner, *Zahnräder*, Berlin 1957. — W. Pampel, *Kupplungen*, Berlin 1958. — C. V. Серенсен и др., *Вали и оси*, Москва 1959. — A. Neumann, *Schweisstechnisches Handbuch für Konstrukteure*, Berlin 1960. — G. Niemann, *Maschinenelemente*, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960. — Lueger *Lexikon der Technik*, Band 1, Stuttgart 1960. — B. Добровольский и др., *Детали машин*, Москва 1961. — M. F. Spotts, *Design of Machine Elements*, Englewood Cliffs, N. J. 1961. — D. W. Dudley, *Gear Handbook*, New York 1962. — A. Bolek i dr., *Části strojů*, Praha 1963. — K. H. Decker, *Verbindungselemente, Gestaltung und Berechnung*, München 1963. — E. Kickbusch, *Föttinger-Kupplungen und Föttinger-Getriebe*, Berlin 1963. — W. Krumme, *Klingenberg-Spiralkegelräder*, Berlin 1963. — J. E. Shigley, *Mechanical Engineering Design*, New York 1963. — *Справочник машиностроителя*, Москва 1963. — V. L. Doughty, *A. Vallance, Design of Machine Members*, New York 1964. — B. C. Поляков, И. Д. Барбаш, *Муфты*, Москва, Ленинград 1964. — K. Zirpke, *Zahnräder*, Leipzig 1964. — A. Frischherz, *R. Dornier, Maschinenelemente*, München 1965. — G. Köhler, *H. Rönitz, Maschinenteile*, Stuttgart 1965. — G. Schuermann, *Verbindungselemente*, Leipzig 1966. — R. Bauer, *G. Schneider, H. Kaltosen, Achsen, Wellen, Lager, Kupplungen*, Leipzig 1967. — F. Schmidt, *Berechnung und Gestaltung von Wellen*, Berlin 1967. — *Das Fachwissen des Ingenieurs*, Leipzig 1967. — P. H. Black, O. E. Adams, *Machine Design*, New York 1968. — K. H. Decker, *K. Kabus, Maschinenelemente-Aufgaben*, München 1970. — Г. М. Ицкович и др., *Курсовое проектирование деталей машин*, Москва 1970. — St. Fronius, *Maschinenelemente*, Berlin 1971. — D. Vitas, *M. Trbojević, Mašinski elementi*, Beograd 1971. — K. H. Decker, *Maschinenelemente, Gestaltung und Berechnung*, München 1973. — H. Dubbel, *Taschenbuch für den Maschinenbau*, Berlin-Göttingen-Heidelberg.

E. Oberšmit D. Taubkin

EMAJLIČANJE, tehnički proces pokrivanja metalnih površina *emajlom*, staklastom prevlakom, da bi se zaštitile od korozije i/ili da bi im se poljepšao izgled. Proces se sastoji u tome da se na pogodno pripremljenu metalnu površinu nanese (po pravilu s dodacima) sloj mljevenog stakla (*frite*) i ovaj onda pečenjem fiksira. Glavne su primjene emajljanja u proizvodnji sanitarnih uređaja (kada za kupanje, izljevâ, umivaonikâ i sl.), kućanskih aparata, strojeva i naprava (hladnjakâ, peći, kuhalâ, štednjakâ, boilerâ i spremnikâ za toplu vodu, strojeva za pranje rublja i suda, itd.), bolničkog, kućanskog i kuhinjskog suda (lonaca, šerpa, tava), natpisnih ploča, industrijskih aparata (kotlova, spremnikâ, cijevnih vodova, naročito u kemijskoj i prehrambenoj industriji), termički napregnutih dijelova strojeva (mlaznicâ mlaznih motora, ispuhâ i sl.).

EMAJL

Emajlom se naziva taljenjem dobivena anorganska staklasto čvrsta tvar koja se pečenjem fiksira na metalnu površinu da je zaštiti od kemijskih utjecaja i/ili da joj poljepša izgled.

Staklo, a prema tome i emajl, amorfan je i izotropan čvrst materijal dobiven hlađenjem tekuće taline na takav način da ne nastaje kristalizacija, nego kontinuiran prijelaz od tekućeg stanja (preko plastičnog) u čvrsto stanje. Danas je o strukturi stakla, i pored intenzivnih istraživanja, malo sa sigurnošću poznato. Prema teoriji W. H. Zachariasena (1932), koju je 1933 N. Warren podupro rendgenografskim ispitivanjima, atomi u staklu tvore, poput atomâ u kristalima, suvislu prostornu mrežu, koja se od prostorne mreže kristalâ razlikuje time što je nepravilna. To znači da je «bliski poredak» (koordinacijski brojevi atoma) u staklu i u pripadnom kristalu približno jednak, ali je različit «daleki poredak». (V. *Čvrsto stanje*, TE 3, str. 128.)

Zachariasen je, na osnovi svoje teorije, okside od kojih se može smatrati da je staklo sastavljeno, podijelio na one koji mogu sami tvoriti mrežu («staklotvorne» ili «mrežotvorne»), npr. SiO₂, P₂O₅, B₂O₃; one koji se u gotovu, uglavnom kovalentnim vezama obrazovanu mrežu mogu (po pravilu ionski) ugraditi i time staklu mijenjati svojstva («modifikatori»), npr. Na₂O, K₂O, CaO, BaO; i one koji se, iako sami ne mogu tvoriti mrežu, mogu u mreži kovalentno vezati (i tako djelomično zamijeniti staklotvorne elemente), a mogu se i ionski vezati kao modifikatori (tê je nazvao «intermedijarnim»), npr. Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, NiO, PbO. Za praktične svrhe korisnija je podjela oksidâ u staklotvorne (najčešće SiO₂, za specijalne svrhe B₂O₃, P₂O₅), taljiva (koja snižuju temperaturu taljenja, npr. Na₂O, K₂O, B₂O₃) i stabilizatore (koji poboljšavaju kemijsku otpornost i/ili sprečavaju kristalizaciju, npr. CaO, MgO, Al₂O₃). Više o tome v. *Staklo*.

Emajli su gotovo svi alkalijsko-borosilikatna stakla, kojima su radi postizanja određenih karakteristika prevlake dodatni drugi spojevi. Bijeli emajli, koji tvore većinu tehničkih emajlâ, predstavljaju mutna (opalna) stakla, tj. oni sadrže sitne kristale, mješurice zraka ili skrtnute kapljice, kojima je indeks loma svjetla različit od indeksa loma osnovne staklene mase. Donedavna se zamučivanje emajla postizalo najčešće čvrstim tvarima dodatim

pri mljevenju frite, npr. SnO₂ i Sb₂O₃, a danas »prethodno zamučivanje« uzrokuju netopljivi fluorovi spojevi u friti, a konačno zamučivanje TiO₂ i ZrO₂ koji su u friti otopljeni, a pri pečenju emajla se izlučuju (rekristaliziraju).

Od samostalno oblikovanog stakla emajl se može razlikovati po tome što — zbog različitog načina proizvodnje — u emajlu većinom nije postignuto ravnotežno stanje između sastojaka. Stoga se i emajlirane jednadžbe, s pomoću kojih se iz sastava stakla izračunavaju različite fizičke karakteristike, smiju samo s rezervom primijeniti na emajl.

Fizička svojstva emajla. Podaci o fizičkim svojstvima emajla (i, radi usporedjenja, čelika) navedeni su u tabl. 1.

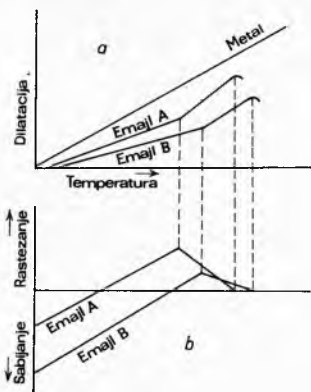
Toplinska svojstva emajla. Kao amorfan čvrst materijal, emajl (staklo) nema oštro određenu temperaturu taljenja, nego pri povišenju temperature prolazi kroz ista stanja kao pri postanku iz tekućeg stanja ohlađivanjem (v. gore), samo obrnutim redom: postepeno omekšava, postaje plastičan, pa gustotekuć i na kraju žitkotekuć. Interval temperature unutar kojeg staklo iz stanja pothlađene tekućine prelazi u čvrsto amorfnu stanje (odn. unutar kojeg mu viskozitet naglo opada od 10¹³ P do praktički beskonačnog) zove se *interval transformacije*. Taj je interval za obične emajle naveden u tablici 1; specijalni emajli podnose bez mekšanja više temperature, npr. emajli na bazi cirkon-oksida za volframske mlaznice mlaznih motora i temperature do 1300 °C.

Temperature mekšanja emajla to su više što je sadržaj SiO₂ (odn. drugih staklotvornih oksida) veći. Kako i tvrdoća emajla na isti način ovisi o sadržaju staklotvornih oksida, postoji korelacija između temperature mekšanja i tvrdoće emajla, te se »tvrdim« emajlom naziva emajl koji mekša na višoj temperaturi, odnosno, za svrhe koje zahtijevaju tvrdi površinu emajla (npr. za predmete koji se često čiste trljanjem) upotrebljava se emajl više temperature mekšanja. Slična korelacija postoji također između temperature mekšanja i kemijske otpornosti emajla.

Tablica 1
FIZIČKA SVOJSTVA EMAJLA I ČELIKA

	Emajl	Čelik
Specifična masa, g/cm ³	2,2...3,5	7,85
Interval transformacije, °C	400...500	1400
Čvrstoća na vlak, kp/mm ²	3...6	40
Čvrstoća na tlak, kp/mm ²	60...100	200
Modul elastičnosti, kp/mm ²	6000...8000	21 000
Tvrdoća po Mohsu	3...6	—
Toplinska vodljivost, kcal/mh °C	0,8...1,0	40
Specifična toplina, kcal/kg °C	0,2...0,3	0,13
Specifični otpor, Ωmm ² /m	10...20 · 10 ⁻⁸	0,13
Volumenska toplinska rastezljivost, °C ⁻¹	250...360 · 10 ⁻⁷	350 · 10 ⁻⁷

Za razliku od metala, kojemu se (volumenski) *koeficijent toplinskog rastezanja* u cijelom temperaturnom području zanimljivom za emajliranje ne mijenja, emajl ima na nižim temperaturama koeficijent rastezanja manji nego metal, a na višim temperaturama koeficijent rastezanja veći od koeficijenta rastezanja metala, do temperature kad se običajnom metodom određivanja rastezanja opaža, uslijed mekšanja emajla, prividno stezanje umjesto rastezanja. Uslijed take ovisnosti koeficijenta rastezanja o temperaturi, emajlna je prevlaka na metalu pri hlađenju s rastaljenog stanja napregnuta najprije na vlak, a na kraju hlađenja na tlak. Kako je staklu tlačna čvrstoća mnogo veća od vlačne, poželjno je da emajl u toku hlađenja bude što manje napregnut na vlak i da ostane po potpunom ohlađenju dovoljno jako napregnut na tlak, kako bi pri opterećenju na vlak unutrašnje naprezanje što dulje ostalo tlačno. Sl. 1 prikazuje te odnose za dva različita emajla; emajl B bolji je od emajla A, jer je u njemu vlačno naprezanje u toku hlađenja manje, a zaostalo tlačno naprezanje veće.



Sl. 1. Toplinsko rastezanje emajla i čeličnog lima (a) i naprezanja u emajlnom sloju pri hlađenju nakon pečenja (b)

Otpornost emajla prema *naglim promjenama temperature* jedno je od najvažnijih svojstava koja se traže za određenu primjenu, napose od emajla na kuhinjskom posudu. Ta otpornost ovisi o mnogim fizičkim svojstvima emajlne prevlake; najveći utjecaj imaju koeficijent toplinskog rastezanja i debljina sloja emajlne prevlake. (Mjerenje debljine sloja emajla predstavlja stoga jednu od obaveznih kontrola pri emajliranju, s tim više što o debljini sloja ovisi i druga važna svojstva emajlne prevlake, npr. njezina otpornost prema savijanju. Debljina sloja emajla na magnetskim metalima mjeri se redovito magnetskim mjernim instrumentima.) Emajlirano kuhinjsko sude treba da izdrži bez pucanja da bude bar tri puta zagrijano na 200...240 °C i onda naglo ohlađeno vodom na 20 °C.

Razvoj jače zamučenih emajla (sa TiO₂ i ZrO₂) omogućio je smanjenje debljine emajlne prevlake i time poboljšanje njezinih mehaničkih svojstava i povećanje njezine otpornosti prema naglim promjenama temperature.

Električna svojstva emajla. O električnim svojstvima stakla (a prema tome i emajla) v. također članak *Elektrotehnički materijali* (str. 83).

Kemijska svojstva emajla prvenstveno su važna za gotovo sve primjene emajliranih metala. Već prema namjeni emajliranih predmeta, od staklaste prevlake na njima traži se da bude otporna prema različitim kemijskim utjecajima, što se postiže modificiranjem njezina sastava. Tako se od posuda u kojima se priprema ili čuva hrana zahtijeva da budu otporne prema vodi i razrijeđenim organskim kiselinama na povišenoj temperaturi, ali i da budu što otpornije prema alkalijским otopinama u kojima se peru i čiste; od prevlake kupaoičkih kada, umivaonikâ, strojeva za pranje rublja i sl. traži se u prvome redu što veća otpornost prema alkalnim otopinama sode, sapuna, detergenata itd.; od reakcijskih posuda u kemijskoj industriji zahtijeva se da odolijevaju i vrućim mineralnim kiselinama, itd.

Površina stakla, a prema tome i emajla, općenito je mnogo otpornija prema kiselinama nego prema lužinama, zbog toga što kiseline ispočetka izlučuju topljive sastojke stakla i ostavljaju neotopljenu koloidnu kremenu kiselinu, koja štiti površinu od daljeg nagrizanja, dok alkalije otapaju i kremenu kiselinu. Što je u običnom silikatnom staklu sadržaj SiO₂ veći, a sadržaj alkalija (Na₂O, K₂O) i zemnih alkalija (CaO, MbO) manji, to je njegova otpornost prema kiselinama veća; B₂O₃ u manjem postotku povisuje, a u većem snižuje kiselinstalnost stakla. TiO₂ i ZrO₂, koji se često dodaju emajlnoj masi da bi emajl postao neproziran, ukoliko se otapaju u staklu, djeluju na kemijsku otpornost kao SiO₂. Emajli alkalnog karaktera koji sadrže MgO i ZrO₂ idu među emajle najotpornije prema lužinama.

Kemijska se otpornost emajla može povisiti sporim hlađenjem emajliranog predmeta, jer se onda lakše uspostavlja stabilno, ravnotežno stanje. Naglo hlađeni emajl nalazi se u metastabilnom, vrlo reaktivnom stanju.

Emajli se prema kemijskoj otpornosti običavaju u Evropi dijeliti na tri grupe: emajle otporne prema razrijeđenim organskim kiselinama, kiselinstalne emajle i visokokiselinstalne emajle. U prvu grupu ide emajl na normalnom kuhinjskom posudu za pripremu i spremanje hrane; takvo posude dolazi često u doticaj s organskim kiselinama kao što su octena, vinska, limunska, mliječna i oksalna. U drugu grupu idu naročito emajli za sanitarne uređaje, koji su često izloženi djelovanju mineralnih soli i/ili mokraćne kiseline. U treću grupu idu različiti specijalni emajli za kemijsku aparaturu, koji su otporni prema koncentriranim mineralnim kiselinama na povišenim temperaturama, neki i prema alkalijским lužinama svih koncentracija na običnoj temperaturi. Svi su emajli neotporni prema koncentriranim alkalijским lužinama na povišenim temperaturama, prema fluorovodičnoj kiselini i prema fosfornoj kiselini iznad 100 °C.

Sirovine za proizvodnju emajlne mase koje se najčešće upotrebljavaju navedene su u nastavku razvrstane prema spojevima koje unose u staklo i prema ulozi tih spojeva u sastavu emajla i procesu emajliranja.

SiO₂, kao glavni staklotvorni oksid, unosi se u staklo u obliku kvarca, čistog kremenog pijeska ili kremenog brašna i u obliku glinenca (feldšpata: ortoklasa K₂O · Al₂O₃ · 6SiO₂ i albita Na₂O · Al₂O₃ · 6SiO₂). Količina glinenca u smjesi sirovinâ ograničena je količinom Al₂O₃ koja se njime istovremeno unosi. Glinenac unosi u smjesu također K₂O ili Na₂O, koji djeluju kao taljiva,

Al_2O_3 , koji je u staklu pretežno mrežotvorni oksid, unosi se po pravilu u alumosilikatima (glinencu, pegmatitu, kaolinu, glini), rjeđe u obliku kriolita (Na_3AlF_6) ili natrijum-aluminata.

B_2O_3 unosi se najčešće kao boraks, danas obično bezvodni (natrijum-tetraborat $Na_2B_4O_7$; v. *Bor*, TE 2, str. 115, 116) ili kao borna kiselina $H_3BO_3 \cdot B_2O_3$ ima (naročito u temeljnom emajlu) zadatac da otapa metalne okside i poboljšava kvašenje metalne površine rastaljenim emajlom.

Na_2O , kao glavno taljivo, unosi se u obliku bezvodne sode Na_2CO_3 i natrijumske salitre $NaNO_3$, koja pored toga djeluje kao oksidans, također boraksom i natrijumskim solima koje se dodaju kao stabilizatori, zamučivači itd. K_2O se unosi s glinencem, potašom K_2CO_3 i kalijumskom salitrom KNO_3 . LiO dodat u malim količinama emajlu snižuje mu temperaturu taljenja i poboljšava kvašenje metalne površine. Stoga se unosi kao $LiCO_3$ u moderne titanske emajle za jednoslojno emajljanje.

BaO je jedini zemnoalkalni oksid koji se kao takav u većim količinama (u obliku karbonata $BaCO_3$) unosi u emajle, napose u mekane (lako taljive), tzv. majolika-emajle. Kalcijum se unosi u fritu fluoridom CaF_2 , koji se dodaje za prethodno zamučivanje emajla, a djeluje i kao taljivo; nekim se emajlnim masama dodaje nešto kalcita (vapnenca) $CaCO_3$. Spojevi magnezijuma dodaju se često mlivu u mlinovima za mljevenje frite.

TiO_2 u novije je vrijeme — pošto su naučili utjecati na ravnotežu topljivosti u talini tako da se u njoj pri pečenju emajla izlučuju kristali TiO_2 (anatas i rutil) — postao glavni zamučivač emajla.

Poželjno je da izlučeni kristali budu u što većem omjeru anatas, a ne rutil, jer anatas daje emajlu ljepšu plavkastobijelu boju. Razlog je tome što kristali anatas reflektiraju više plavog svjetla, što imaju optimalnu veličinu za intenzivno zamučivanje i što su znatno manje od kristala rutila osjetljivi prema onečišćenju tragovima oksida metala (osobito kroma) koji pomjeraju boju reflektiranog svjetla prema žutom. «Stabilizacija» anatas u emajlu postiže se dodatkom nekoliko postotaka P_2O_5 (kao NaH_2PO_4) friti.

Dodatkom TiO_2 povisuje se također kiselostalnost i sjaj emajla. Titansko staklo približnog sastava $Na_2O \cdot SiO_2 \cdot TiO_2$ upotrebljava se, pod imenom V 26 ili tasil, kao taljivo u emajlima bez bora ili siromašnima borom. U količinama ispod 10%, TiO_2 smanjuje viskozitet staklene taline.

ZrO_2 danas je, poput TiO_2 , važan zamučivač emajla, ali ne poboljšava kao TiO_2 taljivost. Dodaje se friti kao takav ili kao cirkon $ZrSiO_2$ (v. *Cirkonijum*, TE 2, str. 672, 673).

PbO u velikoj mjeri smanjuje viskozitet rastaljenog emajla, pa se stoga nalazi u različitim ukrasnim emajlima. Dodaje se talini kao PbO ili kao minimum Pb_3O_4 . Zbog otrovnosti tih spojeva u mnogim se zemljama olovni emajli praktički više ne proizvode.

ZnO sastojak je jednog tipa emajla zamučenih titan-dioksidom i nekih puder-emajla za gvožđe.

Oksidansi dodaju se temeljnom emajlu za čelik da bi se u toku pečenja emajla ubrzao postanak sloja Fe_3O_4 , koji ima važnu ulogu u prijanjanju emajlne prevlake. Osim salitre, koja je već spomenuta, kao oksidans služi i MnO_2 , kojim se unosi MnO u neke temeljne i majolika-emajle.

Sb_2O_3 i Sb_2O_4 kao zamučivači dodaju se masi kao takvi ili kao natrijum antimonat $NaSbO_3 \cdot 3H_2O$ (zapravo $Na[Sb(OH)_6]$, v. *Antimonovi spojevi*, TE 1, str. 312).

Fluoridi kao sredstva za zamučivanje emajla unose se u nj — osim sa fluoridom CaF_2 i kriolitom Na_3AlF_6 , spomenutima ranije — također u obliku natrijum-silikofluorida, kalijum-silikofluorida, natrijum-fluorida i aluminijum-fluorida (v. *Fluor*). Fluoridi djeluju kao razmjerno slabi zamučivači, te se nazivaju «predzamučivači»; oni izazivaju zamučivanje frite (također izlučivanjem mjehurića plina), za razliku od zamučivača koji se dodaju friti pri mljevenju (npr. SnO_2 , Sb_2O_3 i Sb_2O_4) i zamučivača koji nastaju rekristalizacijom (TiO_2 , ZrO_2).

Oksidi kobalta i nikla, Co_2O_3 i NiO , imaju svojstvo da posreduju prijanjanje emajla na metalnu podlogu (kobalt-oksidi u znatno većoj mjeri nego nikel-oksidi). Kobalt-oksidi se unosi u emajl kao čisti Co_2O_3 , nikel-oksidi kao NiO ili Ni_2O_3 .

Kao boje za emajle upotrebljavaju se najviše: spineli sa oksidima Fe , Co , Ni , Mn , Cu , Cr , te sulfid željeza za crni emajl; smalta (kobaltno staklo) za modri; Cr_2O_3 za zeleni; Fe_2O_3 i

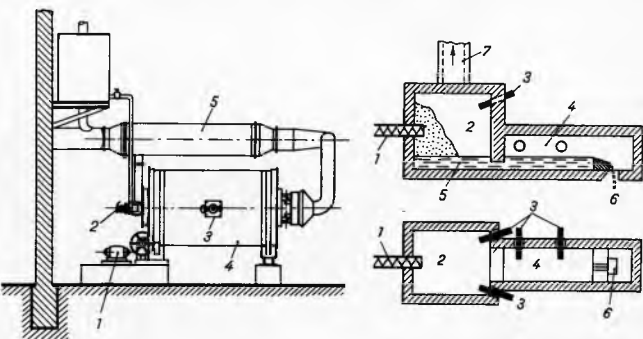
spineli sa Fe , Cr , Zn za smeđi; MnO_2 , CoO za ljubičasti; CdS , $CdSe$ i kromni pigmenti za crveni.

Osim navedenih najčešće upotrebljivanih sirovina upotrebljavaju se (rjeđe) i druge, npr. Al_2O_3 (kao staklotvorni oksid i zamučivač, CeO_2 , SnO_2 i kalcijum-fosfat (zamućivači), sumpor i sulfidi (za poboljšanje kvašenja metala rastaljenim emajlima bez B_2O_3), SrO , Li_2CO_3 , $SrCO_3$ (taljiva).

Važna je sirovina za proizvodnju emajla plastična glina, koja se dodaje friti kad se ona mokro melje, da bi se dobila stabilna suspenzija.

Proizvodnja frite. Radi proizvodnje određene frite, sirovine se prema recepturi točno odvažu i unose u miješalice u kojima se pomiješaju i homogeniziraju. Ta se smjesa rastali bilo diskontinuirano, obično u rotacionim pećima (sl. 2), bilo kontinuirano u kadnim pećima (sl. 3). Iz kontinuiranih peći dobiva se po pravilu jednoličniji proizvod uz manji ručni rad i manju ovisnost o načinu posluživanja. Peći se griju plinom ili loživim uljem, u novije vrijeme također električki. Temperatura i trajanje taljenja, koji ovise o sastavu i veličini sarže, strogo se kontroliraju; predugo taljenje i taljenje na previsokoj temperaturi uzrokuju veće gubitke isparavanjem (npr. fluora) i smanjenje sposobnosti zamučivanja emajla. Temperatura taljenja je $1100 \dots 1200^\circ C$ za temeljne emajle, $1050 \dots 1100^\circ C$ za pokrovne, $\sim 1200^\circ C$ za titanske emajle; trajanje taljenja $1\frac{1}{2} \dots 2\frac{1}{2}$ h. Pri taljenju u šaržama prati se tok procesa u posljednjoj fazi «sazrijevanja» (kad se sarža pretvorila sva u žitku masu iz koje izlazi malo mjehurića plina), obično promatranjem staklene niti izvučene iz taline. Čim se pokaže da u niti nema nerastvorenih zrnaca, odn. da ih ima samo u određenoj količini utvrđenoj iskustvom, talina se ispušta iz peći i granulira se naglim hlađenjem u vodi ili se puštanjem među vodom hladene okretljive željezne valjke pretvara u ljuske ili pločice koje se mrvilicama granuliraju. Tako dobivena fritra skladišti se i pakuje.

Emajlirnice po pravilu same ne peku frite koje su im potrebne, nego ih nabavljaju od specijaliziranih tvornica koje ih proizvode.



Sl. 2. Rotaciona bubnjasta peć za taljenje frite, ložena uljem ili plinom. 1 Elektromotor, 2 plamenik, 3 otvor za punjenje i pražnjenje, 4 bubanj, 5 predgrijač zraka

Sl. 3. Peć za kontinuirano taljenje frite, ložena uljem ili plinom. 1 Dovod sirovinske smjese, 2 zona taljenja, 3 plamenici, 4 zona dozrijevanja, 5 talina, 6 ispušt, 7 dimnjak

Priprava šlikera i pudera. Frita se na površinu metala pri emajljanju nanosi bilo u obliku vodene suspenzije, zvane šliker, bilo u obliku finog praha, zvanog puder. Danas je emajljanje mokrim postupkom (šlikerom) mnogo raširenije nego suhim (puderom). Suhim se postupkom uglavnom samo nanosi pokrovni sloj emajla na predmet (po pravilu od gvožđa) koji je bio prethodno po mokrom postupku prevučen temeljnim emajlom.

Priprava šlikera. Šliker se pripravlja mokrim mljevenjem frite u kugličnim mlinovima ozidanim oblogom od porculana, steatita, sileksa (kremenca) ili taljene gline, s pomoću kugli od istog materijala. Kuglice moraju biti različitih promjera, od $3 \dots 4$ do $7 \dots 8$ cm, a njihova ukupna težina treba da je $25 \dots 50\%$ veća od težine mliva. (Gubici težine kuglica habanjem doknađuju se dodatkom samo najvećih kuglica, jer manje nastaju iz većih uslijed habanja.)

Od šlikera se zahtijeva: 1. da predstavlja homogenu i stabilnu suspenziju, tj. da su čestice frite u vodi jednoliko raspoređene i da se ni nakon duljeg vremena (nekoliko dana) ne talože, i 2.

da dobro prijanja na metalnu površinu, ali da se s nje i ocjeđuje toliko koliko je potrebno da na metalu zaostane tanak, jednolik sloj. Ta se svojstva postižu time što se šliker priprema s pravilnom količinom vode i što mu se pri mljevenju dodaje plastična glina u količini koja ovisi o kemijskom sastavu frite i o njezinoj namjeni. Osim vode (35...50%) i gline (4...12%), šlikeru se pri mljevenju dodaju i druge supstancije radi postizanja određenih svojstava: šlikeru za temeljni emajl dodaje se fino mljevenog kvarca i glinenca u različitim omjerima radi regulacije temperaturnog intervala pečenja (4...30%, ponekad i više); radi povećanja konsistencije šlikera dodaju mu se elektroliti, poglavito soda i boraks šlikeru za temeljni emajl, a šlikeru za pokrovni emajl magnezijum-karboleat i -klorid, amonijum- i kalijum-klorid, natrijum-aluminat i niz drugih soli. Šlikeru za temeljni emajl dodaju se reduktivna sredstva, najčešće natrijum-nitrit, da bi se spriječilo rđanje željeza u toku sušenja emajlne mase prije pečenja, tj. postanak sloja oksida Fe_2O_3 , koji se u rastaljenom emajlu slabo otapa. I neki zamućivači dodaju se šlikeru pri mljevenju (v. gore). Relativna gustoća šlikera iznosi obično između 1,55 i 1,80, jedino kad frita sadrži mnogo olova može iznositi i do 2,40. Vrlo je važno za ponašanje emajla pri nanošenju da šliker ima što točnije onu gustoću koja je iskustvom utvrđena kao optimalna. Finoća mljevenja važna je za ponašanje emajla pri sušenju i pečenju; ona može biti manja za temeljni emajl nego za pokrovni. Prije upotrebe se iz šlikera magnetskim filtrom uklanjaju komadići željeza, koji bi mogli uzrokovati pogreške (prištiće, mjehuriće).

Priprema pudera. Puder za emajliranje dobiva se također mljevenjem frite u kugličnim mlinovima, ali bez vode i uglavnom bez dodataka osim pigmentata. Puder se većinom melje pod stručnim nadzorom u specijaliziranim tvornicama gdje se tali frita, pa emajlirnice nabavljaju puder općenito u mljevenom stanju.

Podjela emajla. Budući da emajl po svome sastavu mora biti prilagođen metalu na koji se nanosi, svrsi kojoj je emajlirani predmet namijenjen i tehnološkom procesu kojim se nanosi, a emajliraju se različiti metali na različite načine za različite svrhe, broj je emajla različitog sastava vrlo velik.

Prema podlozi na koju se nanose, emajli se mogu podijeliti na emajle za (ljeveno) gvožđe, emajle za čelični lim i emajle za druge metale. Pretežni broj emajla služi za emajliranje čelika i gvožđa, pa je u ovom članku riječ uglavnom samo o emajliranju tih metala.

Prema tehnološkom postupku emajliranja razlikuju se temeljni emajli i pokrovni emajli (za klasični postupak emajliranja) te jednoslojni emajli (uglavnom za moderni postupak emajliranja čelika). Temeljni emajl osigurava prijanjanje emajlne prevlake na podlogu time što je čvrsto zakotvljen na nju i time što tvori postepen prijelaz od metala velike toplinske rastezljivosti do sloja pokrovnog emajla mnogo manje toplinske rastezljivosti. Razlike u namjeni emajla uvjetuju razlike u sastavu pokrovnog emajla, a razlike u sastavu pokrovnog emajla mogu — uz razlike u sastavu podloge — uvjetovati razlike u sastavu temeljnog emajla. Sve u svemu, pokrovnih emajla ima kudikamo više nego različitih temeljnih emajla.

Prema namjeni mogli bi se emajli, dakako, podijeliti gotovo na toliko grupa koliko ima namjena, jer se za svaku namjenu traži da joj svojstva emajla budu prilagođena. Međutim, to ne znači da se svi ti mnogobrojni emajli proizvode od isto toliko bitno različitih frita, tj. da se od jedne iste frite ne može proizvesti (npr. modificirajući količinu i vrstu dodataka pri mljevenju) velik broj različitih emajla. Stoga se može navesti manji broj skupina u koje se svrstava pretežna većina svih emajla koji se danas u većem obimu proizvode. Kao takve se skupine emajla za čelični lim navode, npr.: a) bijeli emajli, uglavnom na plosnati čeličnim limovima, koji ne dolaze u doticaj s tekućinama te se od njih ne traži kemijska otpornost, niti moraju bezuslovno biti bez otrovnih sastojaka; b) bijeli emajli za kuhinjsko posuđe i sl., koji moraju zadovoljavati određene tehničke uvjete i zakonske propise u pogledu mehaničke, toplinske i kemijske otpornosti, te neotrovnosti; c) transparentni emajli koji, uz dodatak bojila, služe za dobivanje različitih obojenih emajliranja, d) emajli za prevlačenje rubova posuda i sl., koji moraju naročito čvrsto prijanjati uz podlogu i biti otporni prema djelovanju temperature za

vrijeme pečenja emajla; obojeni su tamno da bi se emajliranje moglo izvesti u jednom sloju. U skupinu specijalnih emajla, koji se proizvode u razmjerno manjim količinama za posebne namjene, mogu se ubrojiti visokokiselinstalni emajli, emajli otporni prema lužinama, emajli otporni prema visokim temperaturama, katalitički emajl za pećnice koje ne treba čistiti (jer se onečišćenja u njima sama uklanjaju oksidacijom), fosforescivajući emajli i ukrasni emajli za bakar i plemenite metale. Posebno treba spomenuti emajle za aluminijum koji se upotrebljavaju za emajliranje aluminijumskih folija i limova za potrebe arhitektonske i građevinske.

U tabl. 2 naveden je sastav nekih tipičnih emajlnih frita.

Tablica 2
SASTAV SMJESE SIROVINA ZA NEKE TIPIČNE EMAJLNE FRITE

	A	B	C	D	E	F
Kvarc	20,0	42,0	10,0	20,9	15,0	4,3
Glinenac	30,3		40,0	23,6	33,0	19,0
Boraks	31,6		40,0	26,7	24,0	27,0
Boraks bezvodni		19,1				
Borna kiselina					5,0	
Soda	6,7		3,0	1,9	3,0	4,0
Natrijumska salitra	3,8	7,8		1,2	3,0	
Kalijumska salitra						3,4
Natrijum-fosfat			3,2	7,5	12,5	5,1
Na_2SiF_6			1,2			
K_2SiF_6			7,8			
Kriolit					2,0	4,5
Fluorit CaF_2	4,5		5,0	1,2		4,0
TiO_2		20,2		10,3		
$CaCO_3$				3,2		
$BaCO_3$						7,1
$MgCO_3$						4,3
MnO_2	1,5		0,5			
Co	0,5		0,4			
NiO	0,2					
Kaolin				0,4		

A — temeljni emajl za čelik, američki; B — titanski pokrovni emajl, američki; C — temeljni emajl za gvožđe prema Aldingeru; D — temeljni emajl za gvožđe prema Karmausu; E — bijeli emajl za emajliranje kuhinjskih posuda od gvoždenog lijeva; F — bijeli puder za gvoždeni lijev

EMAJLIRANJE

Podloga emajla i njezina priprema. Čelik i gvožđe koji se emajliraju treba da udovoljavaju određenim zahtjevima u pogledu sastava, strukture i kvaliteta površine. Za čelični lim prikladan kao podloga za emajliranje klasičnim postupcima navode se ove analitičke granične vrijednosti: C 0,075...0,1%, Si tragovi, Mn 0,35...0,45%, P 0,025...0,065%, Cu 0...0,03%, S 0,03...0,05%, ostatak Fe. O limu za moderno jednoslojno emajliranje v. dalje. Lim za emajliranje ne smije da ima usmjerenu strukturu od valjanja ni biti rekristaliziran od žarenja. Površina treba da mu je bez pora, zarezotina, uklopina troske. Limu se prije pripreme za emajliranje, radi boljeg prijanjanja emajla, često površina učini jednoliko hrapavom provlačenjem među sitno nazubljenim valjke. Za analitički sastav lijeva za emajliranje navode se ove granične vrijednosti: C 3,2...3,7%, od toga grafit 2,4...3,1%, Si 2,4...2,6%, Mn 0,35...0,54%, P 0,6...1,3%, S najviše 0,1%, ostatak Fe. Struktura treba da je perlitična, s fino razdijeljenim grafitom.

Priprema podloge za emajliranje sastoji se u tome da se s površine koju treba pokriti emajlom uklone sve nečistoće tako da se emajl nanosi na čisti metal.

Sa čeličnog lima treba ukloniti u prvom redu rđu i ostatak masti kojom čeličane zaštićuju lim od korozije pri skladištenju i transportu i kojom se maže lim pri obradi plastičnom deformacijom. **Odmašćivanje** se obavlja ili žarenjem na zraku, ili organskim otapalima, ili osapunjavanjem u alkalnoj kupki uz dodatak emulgatora. Žarenjem (najbolje do 650 °C) odmašćuju se vrlo masni rđavi predmeti i predmeti koji se ionako moraju žariti nakon prerade dubokim vučenjem. Da bi se pri žarenju na površini stvorio rastresitiji sloj oksida željeza (koji će se lakše ukloniti luženjem) površina se za vrijeme žarenja prska razrijeđenom solnom kiselinom ili prije žarenja zaprašuje salmijakom (NH_4Cl). Odmašćivanje osapunjavanjem i emulgiranjem obavlja se najbolje u 5...6% tnoj otopini detergenata blizu temperature ključanja kroz 15...20 minuta. Rđa i ogorina od žarenja uklanja se sa površine lima luženjem (dekapiranjem, »bajcanjem») u solnoj kiselini (na ~18 °C) ili sumpornoj kiselini (na ~60...70 °C).

Da bi se smanjilo razvijanje vodika (od nagrivanja željeza), koji uzrokuje greške na sloju emajla, dodaju se kupki za luženje inhibitori. Nakon luženja limovi se provlače kroz kupku za neutraliziranje, pa oplaknu vodom i, na kraju, što brže osuše.

U USA se čelični lim prije nanošenja šlikera još prevlači tankim slojem nikla uronjavanjem u kiselu otopinu nikalne soli. U Evropi se to pri klasičnom dvoslojnom emajljanju ne prakticira, ali za moderno jednoslojno emajljanje titanskim emajlom takvo je niklovanje obavezno.

U najnovije vrijeme vrše se i pokusi s elektrolitskim odmašćivanjem i s odmašćivanjem ultrazvukom.

S površine *gvozdenog lijeva* treba samo ukloniti ogorinu i ostatke ljevačkog pijeska; to se obavlja pjeskarenjem čeličnim zrnima u hermetički zatvorenim čeličnim komorama komprimiranim zrakom pod tlakom 2-4 atmosfere. Osim gvozdenog lijeva, pjeskarenjem se čisti i površina nekih čeličnih predmeta, napose debelih limova i većih izradaka.

Nanošenje emajlne mase. Pri «mokrom emajljanju» nanosi se na očišćeni predmet sloj šlikera bilo prskanjem šlikera iz pištolja bilo umakanjem predmeta u šliker. Pri nanošenju umakanjem (redovito na razmjerno male predmete) višak se šlikera ocjeđuje okretanjem i potresanjem predmeta. Šliker emajla za rubove (v. gore) nanosi se na rubove predmeta ručno ili posebnim strojevim. Za dobivanje prevlake emajla pravilne debljine sloja važno je održavanje određene finoće, gustoće i temperature šlikera (18-22 °C). Nanijeti sloj šlikera suši se u komornim ili kontinuiranim kanalnim sušionicama, najbolje na 70-80 °C, uz dovoljnu cirkulaciju zraka, pri čemu su predmeti položeni na vrške čavala usadenih u vodoravne daske.

Pri «suhom emajljanju» predmet se najprije pokrije slojem temeljnog emajla i onda se, čim je predmet izvučen iz peći za emajljanje, električki ili pneumatski s pomoću potresnih sita usijani sloj temeljnog emajla na njemu jednolično posipava puderom. Puder se odmah rastali toplinom vrućeg predmeta; da bi te topline bilo dosta za to, predmet mora imati dovoljno velik toplinski kapacitet, tj. mora imati razmjerno veliku masu. Stoga se na taj način emajliraju prvenstveno predmeti od (lijevanog) gvožđa (npr. kupaće kade). Predmeti sa slojem pokrovnog emajla nanijetog opisanim načinom vraćaju se kratko u peć gdje se taj sloj do kraja rastali te se dobiva glatka, sjajna površina. Da bi se dobio dovoljno debeo sloj pokrovnog emajla, postupak grijanja predmeta i posipavanja puderom treba po pravilu više puta ponavljati. Na male predmete (kuke za vješalice, konsole itd.) može se nanijeti pokrovni sloj time što se predmeti vrući od emajljanja temeljnim slojem zaranjaju u puder. Kade i sanitetske artikle emajlirane suhim postupkom treba što pomnije ohladiti u komornoj ili kanalnoj peći.

I pri mokrom emajljanju prskanjem i pri suhom emajljanju pudranjem u novije vrijeme primjenjuje se elektrostatičko nanošenje (v. *Elektrostatičke operacije*, str. 43), a u najnovije vrijeme i elektroforetsko nanošenje, koje se vrši kao pri elektroforetskom lichenju i oblaganju (v. *Elektrokemičke operacije*, TE 4, str. 401).

Pečenje emajla obavlja se u mufolnim, komornim ili tunelnim pećima, grijanima plinom, naftom ili električnom energijom. S obzirom na razlike u sastavu temeljnih i pokrovnih emajlnih masa za čelik i za gvožđe, i s obzirom na razlike u mehanizmu prijanjanja emajla na različite podloge, i režim pečenja razlikuje se prema tome da li je posrijedi pečenje temeljnog ili pokrovnog emajla i da li se emajlira čelični lim ili gvozdjeni lijev.

Sl. 4 prikazuje modernu tunelnu peć s kanalom u obliku slova U.

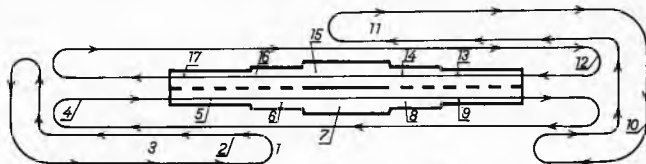
Temeljni emajl na čeličnom limu peče se po pravilu u temperaturnom području od 800 do 900 °C, tj. u području u kojemu se emajlna masa potpuno rastali i dobije dovoljno glatku površinu. Atmosfera u peći treba da je oksidacijska, jer u ostvarenju veze između metala i emajla vidnu ulogu imaju oksidi željeza koji se stvaraju oksidacijom lima u početnoj fazi pečenja.

Proces pečenja temeljnog emajla na čeliku odvija se u dvije faze. U prvoj fazi, prije nego se počinje taliti porozna emajlna masa, kroz nju prodire do metalne površine kisik iz zraka i oksidira je. Nastali sloj oksida Fe_2O_3 (za razliku od metalnog željeza) otapa se u rastaljenoj emajlnoj masi i njega ta masa kudikamo bolje kvasi nego što bi ona kvasila čistu metalnu površinu. U drugoj fazi pečenja rastali se emajlna masa, razlije se po oksidnom sloju na metalnoj površini i iz njega otapa izvjesnu količinu oksida željeza (oboje ubrzava boraks u sastavu frite). Ulaskom željeza u sastav emajla njegova se toplinska rastezljivost povećava i približava rastezljivosti čelika, a posredstvom oksida željeza emajl se u izvjesnoj mjeri već veže uz čeličnu površinu. Jače prijanjanje uzrokuje prisutni kobalt-oksidi na još ne sasvim objašnjen način. [Medu ostalim, vjerovatno time što između željeza i čestica izreduciranog metalnog kobalta nastaju elektrokemijski procesi (lokalni članci), koji ohrabrujuju metalnu površinu i stvaraju mogućnost za bolje zakotvljenje emajlnog sloja.]

Predmeti s ispečenim slojem temeljnog emajla moraju se oprezno ohladiti na sobnu temperaturu.

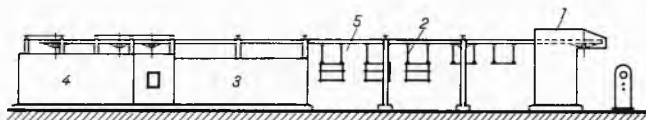
Pokrovni emajl na čeličnom limu peče se obično na temperaturi od 750 do 850 °C, dakle za 20-50 °C nižoj nego temeljni.

Pokrovni se emajl spaja s temeljnim time što se oni na površini njihova dodira miješaju. Da se pri tome osnovna svojstva obaju slojeva ne bi promijenila, potrebno je da pokrovni emajl kad dođe u doticaj s temeljnim bude manje viskozno (više tekuć) nego ovaj. To se obično postiže time što se (uglavnom varirajući količinu gline i kvarca dodatih pri mljevenju frite) udese intervali taljenja obaju emajla tako da je pokrovni emajl nešto lakše taljiv nego temeljni. Pri masovnoj proizvodnji emajliranih predmeta pečenje temeljnog i pokrovnog emajla na različitim temperaturama (npr. u različitim tunelnim pećima) nije zgodno, pa se u tom slučaju pogodnim sastavom obaju emajla postiže da je uvjet različite viskoznosti ispunjen i pri pečenju obaju emajla na istoj temperaturi.



Sl. 4. Tok materijala u procesu emajljanja predmeta od čeličnog lima. 1 Priprema predmeta, 2 transporter do mjesta nanošenja temeljne emajlne mase (3), 4 transporter do tunelne peći i kroz nju, 5 zona sušenja toplinom ispečene robe, 6 zona predgrijavanja robe s temeljnom emajlnom masom toplinom ispečene robe, 7 zona pečenja temeljnog emajla, 8 i 9 zone hlađenja temeljnog emajla uz sušenje pokrovnog u zonama 13 i 14, 15 zona paljenja pokrovnog emajla, 16 i 17 hlađenje pokrovnog emajla uz sušenje temeljnog u zonama 5 i 6, 10 transporter do mjesta nanošenja pokrovne emajlne mase (11), 12 transporter robe s nanijetom pokrovnom emajlnom masom do peći i kroz nju

U novije vrijeme nastoji se primjenom emajla pogodnog sastava postići da se temperatura pečenja emajla snizi na 723 °C, temperaturu iznad koje se perlit u čeliku pretvara u austenit (v. *Čelik*, TE 1, str. 49), uslijed čega se emajlirani predmeti mogu deformirati, a mogu nastati i greške u emajlu. To se kod temeljnih emajla postiže primjenom emajlne mase sa dvije i više friti različitog sastava. Jedna frita, tzv. «mekka», tali se na niskoj temperaturi dajući talinu koja je malo viskozna, dobro kvasi površinu i lako otapa okside željeza; druga frita, «tvrda», tali se također na niskoj temperaturi, ali joj talina nema glatku površinu i ne otapa dobro okside željeza. Dalje frite imaju «srednja» svojstva.



Sl. 5. Kontinuirana tunelna peć u obliku slova U. 1 Upravljanje transporterom, 2 vješanje robe s nanesenom emajlnom masom na transporter, 3 zona izmjene topline (sušenje emajlne mase toplinom ispečene robe), 4 zona pečenja, 5 skidanje ispečene robe s transportera

Pečenje emajla na gvozdenom lijevu razlikuje se prema tome da li se lijev emajlira mokrim ili suhim postupkom. Pri emajljanju mokrim postupkom upotrebljava se tzv. *sinterovani temeljni emajl*, napravljen od frite koja se sastoji praktički samo od zrnca kvarca koji su grijanjem u smjesi s boraksom na površini rastaljeni i time slijepljeni. Sloj takve temeljne emajlne mase, nanijete u obliku šlikera, osušen na 60-80 °C kroz 2-3 sata, pali se na 750-800 °C, po ohlađenju pokrije tankim slojem pokrovnog emajla, suši ~8 sati i konačno peče na 700-760 °C. Pri emajljanju suhim postupkom predmeti se pokriju mokrim načinom tankim slojem taljenog temeljnog emajla koji se peče na 870-920 °C i onda opravljanjem pokriju slojem pokrovnog emajla kako je prije opisano.

Temeljni sloj emajla na gvožđu prijanja pretežno mehanički time što se zakotvi u udubinama hrapave površine. Zbog toga temeljna emajlna masa za gvožđe ne mora sadržati oksid kobalta ili nikla, ali može sadržati veće količine boraksa ili borne kiseline (ili olovnog oksida PbO), da bi talina lakše prodrla u te udubine. Pri nanošenju temeljne emajlne mase uzima se to u obzir time što se masa na površinu natrija četkama.

Sl. 5 prikazuje tok materijala pri dvoslojnom emajljanju mokrim postupkom.

Jednoslojno bijelo emajliranje. Potreba da se pri emajliranju nanese dva sloja znatno poskupljuje klasični način emajliranja (koje, kao svako emajliranje, zahtijeva k tome i razmjerno velike investicije). Stoga se emajliranje u konkurenciji s drugim postupcima i materijalima na nekim područjima teško održalo, a na nekima moralo i ustupiti (npr. pred pečenim prevlakama lakom, pred plastičnim masama, nerđajućem čeliku). Pokušaji da se čelični lim emajlira samo jednim slojem donedavna su donekle uspjeli samo s emajlima tamne boje; direktno nanošenje besprijekornog sloja bijelog emajla nije polazilo za rukom, poglavito zbog toga što je ugljik-dioksid, koji se razvija oksidacijom ugljika u čeliku, uzrokovao greške u sloju emajla. Suradnjom proizvođača čelika, frite i emajlirane robe u USA uspjelo je u novije vrijeme među sobom uskladiti sastav čeličnog lima, sastav frite i postupak emajliranja tako da se može jednim pečenjem dobiti sloj bijelog emajla, koji k tome ima bolja mehanička svojstva nego prevlaka dobivena dvoslojnim emajliranjem. (To se povoljno ispoljava manjim gubicima uslijed oštećenjavanja pri transportu i montaži emajliranih predmeta.)

Frita za jednoslojno bijelo emajliranje sadrži kao glavne sastojke SiO_2 (iz kvarca), Na_2O i B_2O_3 (iz boraksa) i TiO_2 , osim toga P_2O_5 za «stabilizaciju» anataasa (iz NaH_2PO_4). Proizvodi se više vrsta (s različitim koeficijentima toplinskog rastezanja) za različite namjene (emajliranje ravnih ploča, posuda i sl., rubova, itd.). Kao frita titanskog pokrovnog emajla, frita jednoslojnom bijelog emajla je bezbojna i prozirna; emajl se zamućuje rekristaliziranim TiO_2 tek pri pečenju.

Čelik za direktno emajliranje mora biti posebne vrste. Iz početka bio je to čelik sa priličnim sadržajem titana; danas se upotrebljava meki «bezugljični» čelik, tj. čelik sa vrlo malim sadržajem ugljika ($\leq 0,003\%$). Takav je čelik, dakako, skuplji od običnog čelika za emajliranje.

Priprema podloge jednoslojnog emajla mora biti vrlo pomna i mora se završiti niklovanjem. Jednoslojni se titanski emajl peče na nešto višoj temperaturi nego titanski pokrovni emajl pri dvoslojnom emajliranju. Dobiveni sloj emajla je vrlo tanak (0,12–0,16 mm) i stoga ima odlična mehanička i toplinska svojstva; difuzno odbija ~90% svjetla što na nj pada.

Uvođenjem direktnog postupka, emajliranje je moglo da se vrati na neka područja primjene koja je bilo izgubilo, a stvorene su i nove mogućnosti primjene.

LIT.: H. Fritz, Die Emailierung von Eisenblech, Atzgersdorf bei Wien, s. a. — R. Aldinger, Der praktische Emailfachmann, Dresden 1939. — L. Stuckert, Die Emailfabrikation, Berlin 1941. — W. Machu, Nichtmetallische anorganische Überzüge, Wien 1942. — A. Novotný, Základy technologie smaltování, Praha 1951. — B. Локушин, Технология эмалирования металлических изделий, Москва 1951. — T. Naab, Technologie des Emails, 1953. — H. Hasse, H. Prottscher, Technologie des Emails, Freiberg 1953. — L. Vielhaber, Emailtechnik, Düsseldorf 1953. — A. Pezold, Email, Berlin 1955. — N. N. Cholodilin, Дюссельдорфский завод стальных и зеливых (приевоу с рускоу), Katowice 1956. — S. Tomsia, B. Zapytowski, Technologia przemyslu emalierskiego, Katowice 1960. — A. I. Andrews, Porcelain enamels, Champaign, Ill 1961. — E. E. Bryant, Porcelain enameling operations, Cleveland, Ohio 1964. — B. B. Варгин, ред., Технология эмали и эмалирование металлов, Москва 1972.

V. Čolja R. Podhorsky

EMULGIRANJE, nastajanje i proizvodnja *emulzija*, tj. disperznih sustava međusobno netopljivih ili samo malo topljivih tekućina, koji nisu ni molekularne ni koloidne disperzije (otopine). Emulzije se obično razlikuju od koloidnih sustava veličinom i oblikom čestica dispergiranih faza. (Dispergirana faza u disperznom sustavu naziva se još i diskontinualnom, unutrašnjom, a najčešće disperznom, za razliku od faze u kojoj je dispergirana, a koja se naziva vanjskom ili, zbog toga što postoji kao cjelovita, neprekinutom makrofazom, češće neprekidnom ili kontinualnom fazom.) Dok su čestice disperznih faza koloidnih sustava različitog oblika i imaju najveću dimenziju obično $1 \cdot 10^2$ nm, čestice disperznih faza emulzija skoro uvijek imaju približno oblik kuglica, zbog čega se nazivaju globulama, najčešće s promjerom $10^2 \cdot 10^5$ nm. Emulzije s vrlo malim globulama imaju svojstva bliska svojstvima koloidnih disperzija. Zbog toga se nazivaju koloidnim emulzijama ili *emulzoidima*. U tehničkim emulzijama češće se susreću globule s promjerom većim od 10^3 nm, tako da su često vidljive ne samo pod mikroskopom nego i golim okom.

Ni granice između emulzija i nekih drugih disperznih sustava, posebno nekih suspenzija, nisu sasvim određene. Tako su

npr. poznati disperzni sustavi međusobno netopljivih tekućina stabilizirani rasprašenim tvarima kao što su čađa, kremen, koloidni grafit, tzv. *Pickeringove emulzije*, koje su istovremeno i emulzije i suspenzije ili koloidne disperzije. U industrijskoj praksi emulzijama nazivaju se i neke suspenzije voskova i tzv. emulzijski naliči, koji su zapravo suspenzije veziva, pigmentata i drugih čvrstih sastojaka.

S druge strane, dvije odlike emulzija omogućavaju njihovo jasno razlikovanje od sustava grubo dispergiranih tekućina od kojih nastaju. Prva od tih jest što je veličina nakupina molekula disperznih faza emulzija (iako u većini slučajeva nejednolična, što čini emulzije polidisperznim sustavima) ograničena toliko da te nakupine mogu tvoriti stabilne suspenzije. Druga je odlika što je nužna posljedica netom navedenog ograničenja, da su granične površine faza emulzija neusporedivo veće.

Tipovi emulzija. U praksi se skoro isključivo radi o vodnim emulzijama, tj. emulzijama koje sadrže vodu. Ostalih emulzija vrlo je malo i zbog toga se o njima malo zna, pa se pod emulzijama obično, a i u ovom članku, razumijevaju samo vodene emulzije.

Voda u tim emulzijama može biti bilo koja od obiju faza, ili njihov bitan sastojak. Zbog toga što često nije posrijedi čista voda, nego tekuća mješavina u kojoj je voda glavni sastojak, točnije je govoriti o *vodenoj fazi* nego o vodi, kako se to običava. Druga faza u emulzijama može biti neko ulje ili neka druga po fizikalnim svojstvima ulju više ili manje slična tvar. Zbog toga se ta faza običava nazivati uljem, ali je također točnije namjesto toga govoriti o *uljnoj fazi*.

Emulzije u kojima je vodena faza kontinualna, a uljna disperzna, nazivaju se *emulzijama ulja u vodi* (kratko UV-emulzijama). One emulzije u kojima su faze obrnute, nazivaju se *emulzijama vode u ulju* (kratko VU-emulzijama). O kojem se o ta dva tipa emulzija radi može se lako utvrditi jednostavnim pokusima. Jedan od tih je utrljavanje kapi ulja, bolje obojenog nekim bojilom topljivim u ulju (i zbog toga netopljivim u vodi), u malu količinu emulzije stavlenu na staklo. Ako je emulzija tipa VU, ulje će se lako sjediniti s kontinualnom fazom i time s emulzijom, a ako je obojeno, i emulzija će se obojiti. Ovi rezultati izostat će ako je emulzija tipa UV, jer se ulje upotrijebljeno kao reagens ne može emulgirati na taj način, a boja ne može doprijeti do disperzne faze jer je netopljiva u kontinualnoj fazi. Drugi način određivanja tipa emulzija jest mjerenje njihove električne vodljivosti. Zasniva se na okolnosti što je električna vodljivost vode znatna, a ulja neznatna, pa će vodljive biti i UV-emulzije (jer je njihova kontinualna faza vodena), a nevodljive VU-emulzije (jer je njihova kontinualna faza uljna).

Uloga napetosti površine pri emulgiraju. S gledišta termodinamike emulzije se razlikuju od dvoslojnih ili grubo dispergiranih sustava tekućina iz kojih nastaju sadržajem slobodne energije. Taj je u emulzijama veći nego u odgovarajućem dvoslojnom sustavu, i to veći za *površinski rad*, tj. rad utrošen pri emulgiraju za povećanje granične površine faza i za međusobno razmicanje globula, analogno kao kod razrjeđivanja otopinâ. (Pod razrjeđivanjem se stoga razumijeva i smanjivanje koncentracije globula gotovih emulzija dodavanjem tvari kontinualne faze.) Međutim, zbog toga što je rad razrjeđivanja važan samo pri nastajanju vrlo malih globula, a što u tehničkim emulzijama obično nije slučaj, ovdje se on može zanemariti. Tada je površinski rad samo onaj koji je potreban za svladavanje sila koje se protive povećavanju granične površine faza, tj. *napetosti površine*. U heterogenim sustavima tekućina iz kojih nastaju emulzije, a u kojima nisu prisutne površinski aktivne tvari (tzv. tenzidi, v. Površinski aktivne tvari u članku *Detergenti*, TE, 3, str. 249 i članak *Tenzidi*), napetost površine rijetko je toliko malena da bi taj rad bio dovoljno malen da dođe do spontanog emulgiranja. Obično su napetosti graničnih površina faza sustavâ tekućinâ koje treba emulgirati $1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-2}$ N/m, a kako je za to potrebno razmjerno vrlo veliko povećanje površine, i odgovarajući površinski rad može poprimiti razmjerno znatne vrijednosti.

Tako se, npr., već pri emulgiraju tekućine sadržane samo u jednoj kapi obujma 1 cm^3 u globule (jednaki) promjera od 10^3 nm, granična površina faza sustava povećava od razmjerno sasvim male na $\sim 6 \cdot 10^4 \text{ cm}^2 = 6 \text{ m}^2$, pa su, računajući s navedenim vrijednostima napetosti granične površine sustava voda-ulje, za to potrebni površinski radovi redova veličine $10^{-2} \cdot 10^{-1} \text{ J}$.