

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 oštećenja 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 jednoslojnog 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. Haab, Technologie des Emails, 1953. — H. Hasse, H. Prottscher, Technologie des Emails, Freiberg 1953. — L. Vielhaber, Emailtechnik, Düsseldorf 1953. — A. Petzold, Email, Berlin 1955. — N. N. Cholodilin, Düsellovanie vyrobów stalowych i zeliwnych (prijewod s ruskog), 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 vodenoj 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 $10^{-2} \cdot 10^{-1} \text{ J}$.

Ipak, ma koliko ove veličine površinskog rada bile važne za energetska stanja sustava o kojima je riječ, one su u usporedbi sa snagama tehničkih uređaja s pomoću kojih se može izvoditi emulgiranje vrlo male, pa privođenje tog rada graničnim površinama faza samo po sebi ne bi predstavljalo načelni problem, kad ne bi bilo ometano. Međutim, kako emulgiranje nastupa pod utjecajem trenja pri relativnom gibanju slojeva tekućina jednih prema drugima (u tzv. posmičnim poljima), odnosno u turbulentnim uvjetima, samo mali dio pri tome sustavu privedene energije pretvara se u površinsku energiju. Zbog toga je, slično kao i u drugim procesima homogeniziranja, korisnost (stupanj korisnog djelovanja) uređaja za emulgiranje vrlo mala. Obično iznosi ~ 1 %. Ostatak sustavu pri tome privedene energije beskorisno se pretvara u toplinu trenja.

S druge strane, zbog poznate težnje tekućina da pri pozitivnim vrijednostima napetosti površine smanjuju graničnu površinu, na opisani način (turbulencijom ili/i smicanjem slojeva bez drugih sredstava) priredene emulzije ne mogu biti postojeće i, već prema tipu, manje ili više brzo spontano stupaju u procese suprotne emulgiraju, tzv. razrješavanje emulzija (*demulgiranje*). Za razliku od postojećih emulzija, često zvanih pravim emulzijama, priređenih uz upotrebu različitih pomagala, takve emulzije često se nazivaju kvazi- ili pseudo-emulzijama.

Spontano demulgiranje. Zbog toga što su slobodno suspendirane u kontinualnoj fazi, globule se, kad nisu električno nabijene, slobodno giblju prema Stokesovom zakonu na dolje ili na gore, već prema tome da li je gustoća disperzne faze veća ili manja od gustoće kontinualne faze, tj. nastaju procesi *sedimentacije*, odnosno *vrhnjenja*. Ti procesi odvijaju se to brže što su globule i razlike gustoće među fazama veće, a viskozitet kontinualne faze manji, a odvijaju se to sporije pod obrnutim uvjetima što je električni naboj na globulama veći. Očituju se najprije nastajanjem slojeva različitih nijansa boje, a njihov kraj nastajanjem sedimenata, odnosno vrhnja, i izbistravanjem glavne mase kontinualne faze. Međutim, to još nije stvarni proces demulgiranja, tj. ireverzibilne (nepovratne) separacije faza, o toj se može govoriti tek kad nastupi *koalescencija* (stapanje globula). Usprkos povećavanja sklonosti koalescenciji, uzrokovane zbijanjem globula kao posljedice sedimentacije i vrhnjenja emulzija, ta dva procesa sasvim su reverzibilna. (Iako raslojena, emulzija postoji i dalje i može se vratiti u prijašnje stanje laganim mućkanjem.)

Proces separacije faza nastaje kad popucaju površinski filmovi globula na mjestima njihovog dodira, uslijed čega nastaje koalescencija. Taj proces može nastupiti i bez provociranja sedimentacijom, odnosno vrhnjenjem, pod utjecajem napetosti površine, a u sedimentima i vrhnju pospješuje ga još i utjecaj gravitacije, tj. kao i procesi sedimentacije i vrhnjenja odvija se to brže što su globule veće i što im je gustoća veća. Ako je proces nesmetan, on se brzo odvija do kraja, tj. do potpunog raslojavanja sustava u dvije makrofaze, vodeni i uljni sloj. Taj proces je ireverzibilan jer raslojeni sustav više nije emulzija. (Takvi sustavi, nastali raslojavanjem pravih emulzija, ponekad se ipak mogu razmjerno lako vratiti u prijašnje stanje.)

Zbog toga, budući da su obično gustoća i napetost površine vodenih faza veće, najčešće je postojanost emulzija tipa VU manja od postojanosti emulzija tipa UV. Tako se, npr., kvazi-emulzije tipa UV, iako nestabilne, kad sadrže malo disperzne faze ipak mogu održavati stanovito vrijeme, dok su kvazi-emulzije tipa VU obično sasvim nepostojeće.

Tehnološke operacije demulgiranja. Demulgiranje nije uvijek štetan proces. Naprotiv, često je potreban za izolaciju sastojaka prirodnih emulzija (npr. vrhnja iz mlijeka, v. *Meso, mlijeko, ribe, jaja — prerada*) ili za separaciju faza emulzija koje se u različitim procesima proizvode kao fazni prolzodi ili nastaju kao nepoželjan rezultat neke operacije (npr. u preradi biljnih ulja, v. *Masti i ulja*). Najčešće se tada demulgira centrifugiranjem (v. *Centrifugiranje*, TE 2, str. 590). U praksi se centrifuge za demulgiranje obično nazivaju centrifugalnim separatorima, a o demulgiranju se govori kao o *separaciji*.

Sredstva za olakšavanje emulgiranja i stabilizaciju emulzija. Iz prije spomenutog slijedi da se emulgiranje vodene i uljne faze nekog sustava može olakšati smanjenjem napetosti njihovih graničnih površina. To se može postići dodavanjem ten-

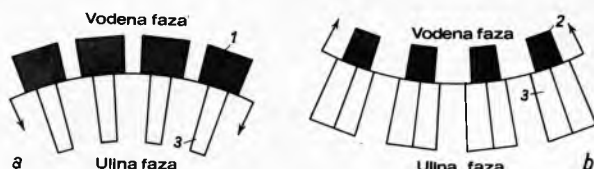
zida. Samim tim tenzidi općenito u stanovitoj mjeri povećavaju postojanost emulzija. Međutim, stabilizacijsko djelovanje tenzida tim efektom obično nije dovoljno da bi svi oni mogli ujedno biti i sredstva za proizvodnju pravih emulzija. Zato je potrebno da uz površinski aktivitet imaju još i stanovitu moć ometanja utjecaja drugih činilaca procesa demulgiranja. Tenzidi koji imaju sva ta svojstva nazivaju se *emulgatorima*.

Često se emulgatorima nazivaju i neki drugi tenzidi, kao što su sredstva za kvašenje i suspendiranje, solubilizatori, detergenti. Jedino je opravdanje za to što se neki tenzidi u stanovitim slučajevima mogu upotrijebiti i kao emulgatori i kao bilo koje od ovih sredstava.

S druge strane, iz prije rečenog slijedi da tvari koje povećavaju postojanost emulzija, tj. u njima djeluju kao stabilizatori, ne moraju ujedno biti i tenzidi. Zato može biti dovoljno da one povećavaju viskozitet kontinualne faze, ili/i umanjuju razlike gustoća faza, ili/i povećavaju električni naboj globula. S pomoću takvih stabilizatora često je moguće proizvesti prave emulzije i bez emulgatora. Ipak, stabilizatori emulzija često imaju u stanovitoj mjeri svojstva tenzida, pa ni granica između emulgatora i stabilizatora emulzija nije uvijek sasvim jasna.

Emulgatori. Prema prije rečenom (v. poglavlje *Površinski aktivne tvari* u članku *Detergenti*; v. i članak *Tenzidi*), da bi neka tvar upće mogla biti emulgator, njene molekule moraju biti hidrofilno (lipofobno)-lipofilni (hidrofobni) sustav [tj. jednim svojim dijelom privlačiti vodu (odbijati ulje), a drugim dijelom privlačiti ulje (odbijati vodu)], pa je međusobni odnos hidrofilneta i lipofilneta njihovih molekula najvažnije svojstvo emulgatora. U tom pogledu razlikuju se tri temeljna slučaja: kad u sustavu prevladava hidrofilni karakter, kad prevladava lipofilni karakter i kad ne prevladava ni jedan ni drugi. Od toga zavisi da li i koliko će emulgator biti topljiv u vodenoj ili u uljnoj fazi emulzije, a budući da je obično kontinualna faza ona u kojoj je topljiv emulgator, od toga zavisi onda obično i tip emulzije.

To se može objasniti primjerom djelovanja natrijuskog i kalcijuskog sapuna određene vrste masnih kiselina ($R \cdot COOH$) kao emulgatora prema predodžbi shematski prikazanoj na sl. 1, na temelju tzv. teorije usmjerenog klina koju



Sl. 1. Shematski prikaz djelovanja natrijuskog (a) i kalijuskog (b) sapuna kao emulgatora. 1 Solvativirana skupina $-COONa$, 2 solvativirana skupina $-COO \rangle Ca$, 3 solvativirani ugljikovodični ostatak molekule sapuna

je postavio W. D. Harkins 1917. Naime, usprkos tome što su oba ta sapuna anionski aktivni tenzidi i što su im anioni $R \cdot COO^-$ jednaki, a što znači da su kemijski srodni, pa bi trebalo očekivati slično ponašanje, njihovo emulgatorsko djelovanje vrlo je različito. Natrijuskim sapun topljiv je u vodi, a kalcijuskim sapun topljiv je u ulju, a to može značiti samo jedno, tj. da hidrofilni karakter skupine $-COONa$ prvoga prevladava nad lipofilnim karakterom ugljikovodičnog ostatka R njegove molekule, a lipofilni karakter dvaju ugljikovodičnih ostataka R molekule drugoga prevladava nad hidrofilnim karakterom njene skupine $(-COO)_2Ca$.

Kao svi tenzidi, tako se i ovi emulgatori koncentriraju u graničnoj površini faza sustava ulje-voda. (Radi se, dakle, o adsorpcijskoj pojavi; v. *Adsorpcija*, TE 1, str. 1.) Pri tome su im hidrofilni dijelovi molekula, skupina $-COONa$, odnosno $(-COO)_2Ca$, solvativirani molekulama vode, a ugljikovodični ostaci (R) molekulama ulja. Zbog toga što u molekulama natrijuskog sapuna prevladava hidrofilni karakter, logično je pretpostaviti da su pri tome skupine $-COONa$ hidratirane masom molekula vode većom od mase molekula ulja kojom su solvativirani pripadajući im ugljikovodični ostaci. Emulgatorsko djelovanje natrijuskog sapuna može se tumačiti savijanjem granične površine sustava silama na njenim krajevima usmjerenim prema uljnoj fazi (sl. 1 a), zbog toga što na strani okrenutoj vodenoj fazi adsorbirane solvativirane tvorevine imaju obujam veći od obujma solvativiranih tvorevina adsorbiranih na strani okrenutoj uljnoj fazi, pa i površina vodene faze mora postati veća od površine uljne faze. Drugim riječima, pri emulgiraju sustava natrijuskim sapun uzrokuje nastajanje globula uljne faze, tj. on je emulgator za dobivanje emulzija tipa UV. Obrnuto, na granici sustava ulje-voda u kojem je otopljen kalcijuskim sapun, treba sebi solvataciju predočiti tako da je masa molekula ulja kojom su solvativirani ugljikovodični ostaci molekula sapuna veća od mase molekula vode kojom su hidratirane ostacima pripadajuće skupine $(-COO)_2Ca$, pa se granična površina sustava savija pod utjecajem suprotno (prema vodi) usmjerenih sila na njenim krajevima, zbog toga što na njoj strani okrenutoj ulju adsorbirane solvativirane tvorevine imaju obujam veći od obujma hidratiranih tvorevina adsorbiranih na strani vodene faze, pa i površina uljne faze mora postati veća od površine vodene faze. Drugim riječima, pri emulgiraju sustava kalcijuskim sapun uzrokuje nastajanje globula vodene faze, tj. on je emulgator za dobivanje emulzija tipa VU.

Kao adsorptivni na graničnim površinama globula, emulgatori tvore monomolekularni film, dakle, treću fazu emulzija, koja u velikoj mjeri određuje njihov stabilitet. Jedan od stabilizacijskih

efekata tog filma može biti mehaničke prirode, tj. razmjernan čvrstoći, odnosno viskozitetu filma, već prema tome da li je on čvrst ili tekuć. Drugi stabilizacijski efekt tog filma može biti nastajanje električnog naboja globula, tj. odbojnih elektrostatičkih sila među njima. Često su ta dva efekta superponirana jedan drugome. Zbog toga se emulgatorima smiju smatrati samo oni tenzidi koji stvaraju tzv. *kondenzirane filmove*. Međutim, kolika je njihova moć u tom pogledu ne može se zaključiti tako lako na temelju njihove kemijske konstitucije, kao što se to može u pogledu njihovog tenzidnog djelovanja. Takva svojstva mogu imati kemijski različite tvari, pa emulgatori mogu biti spojevi iz vrlo različitih skupina, a i prirodne i umjetne smjese tih spojeva. (U trgovini se nalaze pod mnoštvom trivijalnih naziva.) Zbog toga je ne samo broj emulgatora odviše velik za potpuno nabiranje na ovom mjestu nego je i teško načiniti njihovu klasifikaciju koja bi zadovoljavala sve zahtjeve. Jedna od najprihvatljivijih klasifikacija možda je podjela emulgatora na nisko- i viskomolekularne, pri čemu se prvi dalje dijele na one s pretežno hidrofilnim karakterom, one sa pretežno lipofilnim karakterom i one bez izrazitog hidrofilnog ili lipofilnog karaktera.

Niskomolekularni emulgatori s pretežno hidrofilnim karakterom preferencijalno djeluju u smjeru nastajanja emulzija tipa UV. To mogu biti kako ionogeni tako i neionogeni tenzidi.

Među prvima vrlo su brojne anionaktivne tvari, kao što su sapuni natrijuma, kalijuma, amonijuma, nekih amina, smolni sapuni, natrijumske soli pojedinih masnih i drugih organskih kiselina (npr. sulfatiranih oksimasnih, žučnih, parafin-, ksilol-, naftalin-, alkilnaftalinsulfonskih) i kiselih spojeva (npr. sulfoniranih estera i amida) i materijala (npr. sulfoniranih ulja).

Kao i općenito kationaktivni tenzidi, tako su i kationaktivni emulgatori mnogo manje brojni. I ovdje su to kvarterne amonijumske soli (npr. lauril-trimetil-amonijumklorid), alkilpiridinijske soli (lauril-piridinijumklorid, lauril-kolamin-formil-metil-piridinijumklorid).

Neionogenih emulgatora u toj skupini također ima mnoštvo, ali su to daleko pretežnim brojem etoksilirani, naročito polietoksilirani, derivati masnih alkohola, estera i estera.

Niskomolekularni emulgatori s pretežno lipofilnim karakterom, koji preferencijalno djeluju u smjeru nastajanja emulzija tipa VU, mogu se svrstati, uglavnom, u tri skupine tvari: soli, estere i esterificirane smjese spojeva. Prve su neki od tzv. metalnih sapuna (većinom oleati i stearati magnezijuma, kalcijuma, aluminijuma, litijuma). Druge su derivati masnih kiselina i polivalentnih alkohola (di-, tri-, itd. esteri). Treće su najčešće proizvodi esterifikacije oksidiranih masti i ulja.

Niskomolekularni emulgatori bez izrazitog hidro-, ili lipofilneta također mogu biti esteri masnih kiselina i polivalentnih alkohola. Dalje u tu skupinu emulgatora idu polipropoksilirani esteri masnih kiselina i eteri masnih alkohola, različiti klor-nitro-derivati parafina, alkil-derivati piridina i mnogi drugi.

Viskomolekularni emulgatori. Najvažnije mjesto u toj skupini emulgatora zauzimaju različite bjelančevine (npr. albumini, kazein) i proizvodi njihove razgradnje (npr. želatina, tutkalo, v. *Bjelančevine*, TE 2, str. 50). Slijede ih neke prirodne polisaharidne tvari (npr. arapska guma, tragant, agar, lihenin, karagen), smole (npr. gumigut) i glikozidi (npr. saponini), a i neke umjetne tvari kao što su derivati celuloze (esteri i eteri, v. *Celulozni derivati*, TE 2, str. 581, odn. 583) i polimerizati vinilnih spojeva (npr. polivinilalkohol, polivinilacetat, polivinilpirolidon).

Stabilizatori. U mnogim slučajevima emulgatori iz posljednje skupine zapravo i ne olakšavaju emulgiranje ili se njihovo djelovanje u tom smjeru očituje u razmjerno maloj mjeri, pa nikako ili malo utječu na veličinu energije koju za to treba utrošiti, već samo, ili pretežno, djeluju stabilizacijski u gotovim emulzijama time što ugušćuju kontinualnu fazu i/ili stvaraju spomenute zaštitne filmove. Često se tada o njima govori kao o zaštitnim koloidima.

U nekim se slučajevima kao zaštitni koloidi ponašaju i neki drugi emulgatori (npr. neke soli arilsulfonskih kiselina), a i neke čvrste tvari koje su sklone adsorpciji na graničnim površinama faza emulzija. Najpoznatiji takvi čvrsti stabilizatori, u praksi često zvani i čvrstim emulgatorima, s pomoću kojih se mogu prirediti već spomenute Pickeringove emulzije, jesu silika- i alu-geli, neke vrste glina (bentonit) i aktivni ugljen.

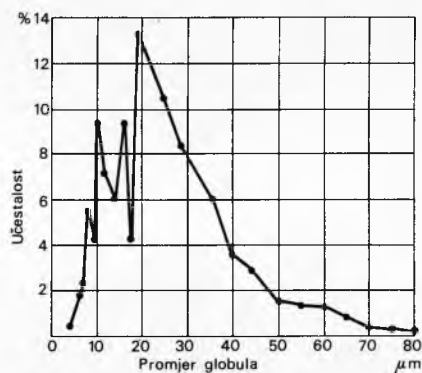
Svojstva emulzija. Za upotrebu emulzija možda je najznačajnije to, što se izborom njihovog sastava i postupka emulgiranja mogu njihova u velikoj mjeri međusobno uvjetovana svojstva prilagodavati zahtjevima primjene u vrlo širokim granicama. Zbog toga je u proizvodnji emulzija potrebno poznavati ta svojstva i tu njihovu uvjetovanost. Međutim, kako su ona vrlo brojna, njihovo opisivanje ovdje nužno je ograničeno na najvažnija.

Veličina globula, kako slijedi iz već rečenog, među ostalim, važan je činilac postojanosti emulzija. To svojstvo emulzija zavisi od niza uvjeta pod kojima su emulzije dobivene (razlici viskozitetu faza, djelovanju za to upotrijebljenih emulgatora, količini pri tome upotrijebljene energije i načinu njenog privođenja sustavu).

Zbog toga je određivanje veličine globula važno kako za određivanje postupka emulgiranja tako i za kakvoću emulzija. Točnije se određivanje veličine globula emulzija može izvesti brojenjem pod mikroskopom, najbolje uz pomoć fotomikroskopske tehnike i konstrukcijom krivulje raspodjele te veličine. Jedna takva krivulja prikazana je dijagramom na sl. 2. Grubo se određivanje veličine globula emulzija može izvesti promatranjem izgleda i boje njihove tankih slojeva pri otjecanju na stijenci neke posude i uz pomoć podataka iz slijedeće tablice:

Veličina globula	Izgled
makroglobule	faze se mogu razlikovati
> 1 μm	mliječnobijele emulzije
0,1 ... 1 μm	modrikastobijele emulzije
0,05 ... 1 μm	sive poluprozirne emulzije
0,05 μm i manje	prozirne emulzije

Pri tome se pretpostavlja da emulzije nisu priredene s bojilima ili pigmentima i/ili od faza s indeksima loma slične veličine.



Sl. 2. Krivulja raspodjele veličina globula jedne emulzije

Viskozitet emulzija slične je veličine kao i viskozitet njihovih kontinualnih faza, bar dok je obujam tih faza veći od polovice ukupnog. Zbog toga se i viskozitet emulzija obično može povećavati i smanjivati povećavanjem, odnosno smanjivanjem viskozitetu kontinualne faze, npr. ugušćivanjem dodacima, odnosno razrjeđivanjem. (Jedno i drugo može biti uzrok i drugih promjena, npr. poremećaja emulgatorskog djelovanja, pa tada zahtijevaju korekciju.)

Općenito, razrjeđivanje ili ugušćivanje disperzne faze nema utjecaja na viskozitet emulzija, ili je taj utjecaj mali. Međutim, viskozitet emulzija raste s povećavanjem sadržaja disperzne faze u njima iznad pedeset volumskih postotaka sve do stanja kad emulzija prestaje biti tekućina. Pri tome se bar djelomično radi o tzv. strukturnom viskozitetu (v. *Tekućine*) uzrokovanom međusobnim djelovanjem globula.

Viskozitet emulzija često se povećava i za vrijeme njihovog mirovanja. Ponekad je tome uzrok i tiksotropski efekt (također v. u članku *Tekućine*).

U kakvom agregatnom stanju treba prirediti određenu emulziju zavisi od upotrebnih svojstava koja se od nje zahtijevaju. Njihovo priređivanje u obliku rijetkih ili gustih tekućina, pasta ili gela inače ne predstavlja načelni problem.

Postojanost emulzija. Od emulzija se često traži da budu postojane ne samo pod normalnim uvjetima već i pod nekim izvanrednim. Tako je jedan od najobičnijih zahtjeva u pogledu kakvoće emulzija da budu postojane i na višim temperaturama. Tada treba poduzeti mjere za kompenzaciju činilaca koji bi mogli uzrokovati u tim uvjetima smanjenu postojanost (npr. korekciju viskoziteta u slučaju kad su emulzije postojane samo na nižim temperaturama, zbog toga što im viskozitet veoma opada s rastom temperature, ili/i izbora emulgatora, kad se pri zagrijavanju znatno mijenja njegova topljivost u jednoj od faza i time njegova raspodjela po graničnoj površini, ili/i kad se pri tome disperzna faza tali).

Osim toga, od mnogih emulzija traži se da budu postojane prema izmjeničnom smrzavanju i taljenju. Budući (barem se tako pretpostavlja) da je postojanost pod tim uvjetima osigurana otpornošću granične površine faza prema razaranju kristalima u periodu zamrzavanja, ona se u znatnoj mjeri može ostvariti pronalaženjem prikladnog emulgatora i određivanjem njegove potrebne količine.

S druge strane, ponekad nije poželjno da emulzije budu postojane (npr. emulzije insekticida moraju se razmjerno brzo demulgirati, da bi se insekticidi mogli taložiti na materijalu koji treba zaštititi). Faze takvih emulzija moraju se dati prije upotrebe lako emulgirati (običnim potresanjem).

Sadržaj disperzne faze i inverzija faza emulzija. Iz poznatog pravila da sasvim zbijene kugle, kojima je potpuno ispunjen neki prostor, zauzimaju samo 74,06% njegovog obujma i pod pretpostavkom da se globule ne deformiraju, trebalo bi zaključiti da ni emulzije ne mogu sadržavati više od $\sim 74\%$ disperzne faze. Dalje povećavanje sadržaja disperzne faze moralo bi onda imati za posljedicu prijelaz disperzne faze u kontinualnu i, obrnuto, kontinualne u disperznu, što se naziva *inverzijom faza*.

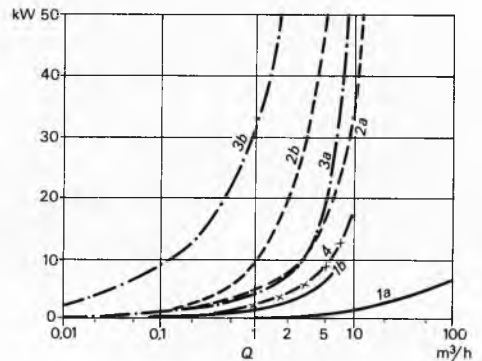
Da je inverzija faza zaista zavisna od omjera obujmova faza emulzija, iako ne nastupa baš kod određene točne vrijednosti te veličine koja slijedi iz netom opisane pojednostavnjene predočbe, može se pokazati emulgiranjem nekih dvofaznih sustava tekućina s različitim sadržajem faza, npr. sustava oleinska kiselina-voda. Pri tome se, naime, kad je sadržaj oleinske kiseline između 5% i 40%, dobivaju kvazi-emulzije tipa UV, a kad je taj sadržaj između 40% i 70%, kvazi-emulzije tipa VU. Istraživanja su pokazala da je u takvim slučajevima omjer obujmova faza, na kojem nastupa inverzija faza, često jednak drugom korijenu omjera viskoziteta tih faza.

Međutim, pretpostavka da se globule ne mogu deformirati nije održiva, bar ne u slučaju pravih emulzija, jer se one mogu prirediti sa sadržajem disperzne faze daleko većim od 74% (i do 99%). Uostalom, globule deformiranog oblika u takvim emulzijama mogu se i vidjeti na mikrofotografskim snimcima kao na sl. 3. Tu pojavu treba očito pripisati emulgatorskom djelovanju, posebno njegovom stabilizacijskom efektu jačanjem granične površine faza zaštitnim filmom. Istraživanja zavisnosti omjera sadržaja faza pri kojem nastupa inverzija faza pokazala su da su ti odnosi vrlo složeni (taj omjer na vrlo zamršen način zavisi od svojstava i koncentracije emulgatora).

Procesi proizvodnje emulzija u industrijskom mjerilu najkorektnije se projektiraju na bazi iskustava koja se stiču istraživanjima u laboratoriju i pokusima u pilotskim uređajima. Pri tome je najbitnije utvrditi za određeni slučaj najpovoljniju operaciju emulgiranja. Osobito je to povezano s izborom principa na kojem se osniva izazivanje sile trenja, odnosno smicanja na

graničnim površinama faza koje treba emulgirati, tj. izborom prikladne operacije homogeniziranja. Međutim, kako se pri emulgiraju uvijek pojavljuju toplinski efekti, taj izbor može biti povezan i s rješavanjem problema hlađenja. Ponekad priprema komponenta koje treba emulgirati može zahtijevati i grijanje (npr. u proizvodnji margarina, v. *Masti i ulja*), štoviše, to može biti potrebno i za vrijeme emulgiranja.

Uz napetost granične površine faza, koju prema rečenom treba održavati što manjom, glavni faktor u tom izboru jest omjer viskoziteta disperzne i kontinualne faze. Istraživanja su (P. H. Clay, G. J. Taylor) pokazala, naime, da je za emulgiranje potrebna to manja turbulencija, odnosno da su potrebne to manje posmične sile što je taj omjer veći (što je veći viskozitet disperzne faze u usporedbi s viskozitetom kontinualne). To znači da su i količine energije, koje nužno treba privesti sustavu da bi se dosegao jednaki stupanj emulgiranja, to manje, tj. da su za to potrebni uređaji to manje snage, što je taj omjer veći.



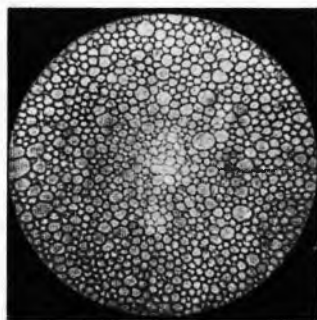
Sl. 4. Grafički prikaz ovisnosti (a minimalne i b maksimalne) potrebne snage P (kW) nekih uređaja za emulgiranje o količini proizvoda (šarže) Q (m^3/h) za: 1 propelerne agitatore, 2 homogenizatore, 3 koloidne mlinove, 4 uređaje s ultrazvukom

Aparati za emulgiranje mogu se podijeliti na nekoliko skupina. Prvu čine uređaji s pokretnim, osobito rotacijskim agitatorima, kao što su različita mješala i propeleri, pomoću kojih se dobivaju manje ili više polidisperzni sustavi, pa se jedva mogu smatrati pravim homogenizatorima. Pod homogenizatorima se u praksi razumijevaju i izdvajaju kao posebna skupina uređaji za emulgiranje u posmičnim poljima formiranim protiskivanjem sustava faza kroz procijepe među stijenkama. Takvi se uređaji upotrebljavaju osobito za usitnjavanje i ujednačavanje veličine globula grubih, polidisperznih emulzija. Važni dijelovi tih uređaja jesu crpke, u kojima se također odvija emulgiranje, barem djelomično. (Postoje i specijalne izvedbe crpki koje djeluju kao homogenizatori.) Na sličnom principu rade i *koloidni mlinovi*, koji se također izdvajaju kao posebna skupina uređaja za emulgiranje. Dalje skupine uređaja za emulgiranje čine uređaji u kojima se koriste kavitacijski efekti (o kavitaciji v. *Hidraulika, Korozija*) ili efekti parnog udara i oni u kojima se kombiniraju različiti principi.

Gruba usporedba ekonomičnosti, u pogledu trošenja energije među nekim od tih vrsta uređaja, može se načiniti na temelju podataka prikazanih dijagramima na sl. 4. Odatle se mogu stvoriti i stanoviti zaključci u pogledu ekonomske opravdanosti primjene pojedine vrste uređaja za emulgiranje s obzirom na troškove proizvodnje.

Neki procesi emulgiranja obuhvaćaju i specifičnosti koje nisu povezane s problemima privođenja energije sustavu faza; te specifičnosti ponekad prevladavaju toliko da problem privođenja energije više nema ulogu glavnog faktora. Jedan od takvih procesa jest emulgiranje inverzijom faza.

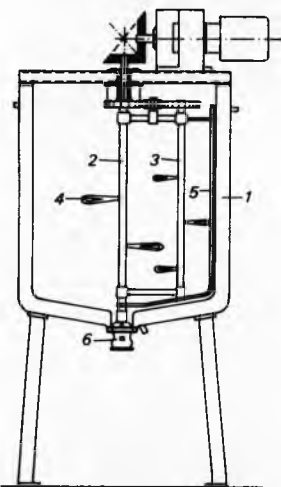
Emulgiranje uređajima s rotacijskim agitatorima. U tim se uređajima emulgiranje odvija poglavito pod utjecajem turbulencije. Kako je ta u određenom slučaju zavisna od brzine rotacije agitatora i time od za to primijenjene snage, proizvode se, da se energija ne bi neracionalno trošila, kako sporodni tako i brzo-hodni aparati.



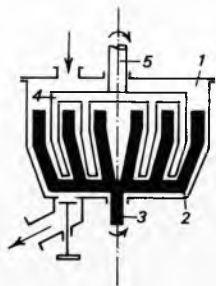
Sl. 3. Mikrofotografski snimak emulzije s deformiranim globulama

Sporohodni aparati te vrste isključivo su aparati s mješalima. Postoje različite njihove izvedbe. Najpoznatiji su tzv. *kirnovi* aparati, koji se često upotrebljavaju za operacije predemulgiranja u sprezi s homogenizatorima (npr. također u proizvodnji margarina) i *planetne mješalice* (sl. 5) koje se općenito mnogo upotrebljavaju u prehrambenoj industriji (v. Planetni prijenos, str. 294, u članku *Elementi strojeva*), zbog toga što vrlo dobro pojačavaju turbulenciju nasuprotnim gibanjem uzrokovanim s jedne strane mješalom na centralnom, a s druge mješalom na planetnom zupčaniku.

Brzohodni aparati iz te skupine mogu biti vrlo različite konstrukcije, već prema tome na kakvom principu djeluju i kakvi su njihovi agitatori. Jedan takav aparat, tzv. *centrifugalna mješalica*, shematski je prikazan na sl. 6. U njegovom kućištu nalaze se dva rotora (glavni rotor i proturotor) s izdancima, smještenim na koncentričnim kružnicama, tako da se izdanci jednog rotora mogu slobodno gibati mimo izdanaka drugog rotora. Gibanje proturotora najčešće je protusmjerno gibanju glavnog rotora, ali on može biti i slobodno uležišten, tako da se giblje istosmjerno pod utjecajem gibanja glavnog rotora, ali sporije, ili zakočen, tako da je nepomičan.



Sl. 5. Planetna mješalica. 1 Duplicirana posuda za grijanje/hlađenje, 2 glavno (centralno) vratilo, 3 planetno vratilo, 4 podesiva krila propelera, 5 strugač stijenke, 6 ispušt

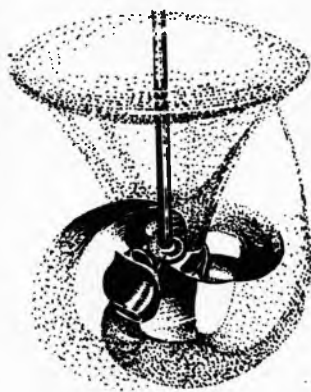


Sl. 6. Princip rada centrifugalne mješalice. 1 Kućište, 2 glavni rotor, 3 vratilo glavnog rotora, 4 proturotor, 5 vratilo proturotora

Ipak, najčešće brzohodni aparati za emulgiranje imaju turbomješala. Često su takvi aparati konstruirani slično centrifugalnim crpkama. Međutim, dok se u konstrukciji centrifugalnih crpki za transport teži ograničavanju turbulencije na što manju mjeru, u konstrukciji *crpki za emulgiranje* turbulencija je pozitivni faktor učinka, pa se uzrokuje na različite načine, npr. rupama na krilima impelera, ili položajem krila suprotnim hidrodinamički povoljnom položaju. Impeler takve vrste prikazan je na sl. 7 i 8.



Sl. 7. Propellersko turbo-mješalo

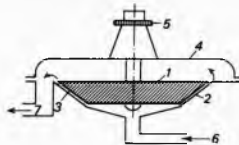


Sl. 8. Djelovanje propellerskog turbo-mješala

Osim toga, brzohodni aparati za emulgiranje mogu biti konstruktivno slični turbinama. Emulgiranje u takvim aparatima znatnim dijelom nastupa i pod utjecajem posmičnih sila, pa su u tom pogledu oni slični i koloidnim mlinovima.

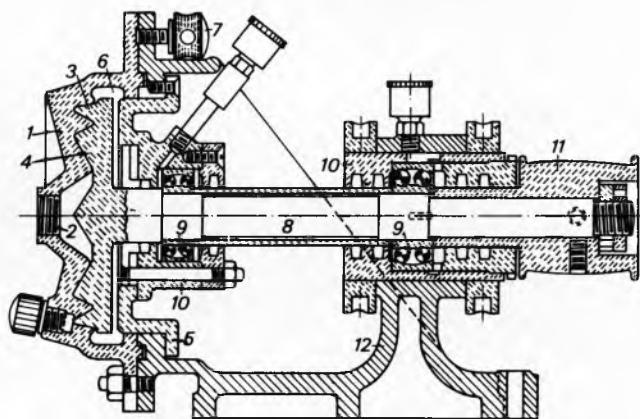
Emulgiranje u koloidnim mlinovima. Princip rada koloidnih mlinova prikazan je shematski predočenim uzdužnim presjekom,

tzv. Premier-mlina na sl. 9. Grubo predemulgirani sustav dovodi se mlinu kroz otvor 6 u statoru 2 i protiskuje kroz procijep 3 iz-



Sl. 9. Princip rada koloidnih mlinova. 1 Rotor, 2 stator, 3 procijep u kojem se formira posmično polje, 4 kućište, 5 uređaj za podešavanje procjepa, 6 dovod, 7 odvod

među rotora 1 i statora, podesiv uređajem 5, i zatim odvodi kanalom 7 iz kućišta 4. Jedna suvremenija izvedba tog mlina prikazana je na sl. 10. Površine njegovog statora i rotora među kojima se formira posmično polje nisu ravne, već imaju kružne zube. Nagibi bokova tih zuba sve su strmiji što su dalje od središta (tj. bliže periferiji) statora, odnosno rotora. Time je postignut dulji put predemulzije kroz zonu emuliranja i sužavanje presjeka te zone poprečno na smjer gibanja, a s druge strane omogućena je konstrukcija mlina s površinom poprečnog presjeka prostora između periferija rotora i statora jednakom površini poprečnog presjeka prostora iza dovoda, ili čak manjom. Zbog toga je u takvom mlinu predemulzija dulje izložena posmičnim silama, pa je adsorpcija emulgatora na graničnoj površini faze po tome potpunija, proces se odvija progresivno i zbog toga lakše, a moguće je zonu emuliranja održavati punom i time spriječiti štetno uvlačenje zraka.



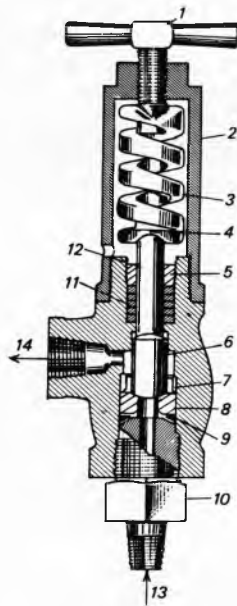
Sl. 10. Uzdužni presjek jednog suvremenijeg Premier-mlina. 1 Stator, 2 otvor za dovod predemulzije, 3 rotor, 4 naborane površine među kojima se formira posmično polje, 5 poklopac kućišta, 6 kanal za odvod emulzije, 7 uređaj za podešavanje procjepa, 8 vratilo rotora, 9 ležajni vratila, 10 kućište ležaja, 11 zagonaska remenica, 12 postolja

Osim Premier-mlina, za emulgiranje se upotrebljava i niz drugih koloidnih mlinova, kao što su npr. Barlett-Snow-, Hurrell-, U. S.-, Charlotte-, Hatt-Dussek-mlin.

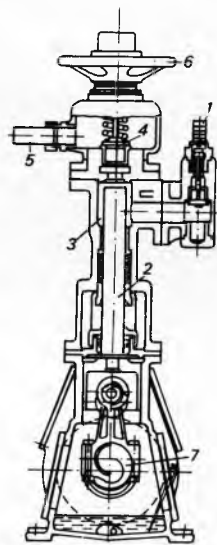
Emulgiranje homogenizatorima. Suvremeni homogenizatori obično su jedinstveni aparati kojima su glavni dijelovi crpke i elementi za stvaranje posmičnih polja. U tim aparatima ugrađene crpke obično su klipne, jer su te prikladnije za postizanje visokih tlakova nužnih za odvijanje procesa u posmičnim poljima, a manje ugrijavaju materijal u preradbi. (Npr. u homogenizatorima s klipnim crpkama ugrijavaње materijala može se ograničiti na svega 5...17 °C, a u onim s nekom drugom crpkom na ne manje od 28...50 °C. Međutim, od drugih crpki zupčane imaju prednost što u zračnostima među njihovim pokretnim dijelovima nastaju posmična polja, a uz to i recirkulacija, i time dosta znatno predemulgiranje.)

Elementi za stvaranje posmičnih polja u homogenizatorima zapravo su redukcijski ventili specijalne izvedbe. Na prvom mjestu, oni moraju uzrokovati i održavati stalnim vrlo velike padove tlakova nužne za homogeniziranje smicanjem (obično u području od 40 do 400 at), pružiti mogućnost da se ti padovi reguliraju i osiguravati dovoljno dug put materijala kroz posmična polja. Zbog toga ti ventili imaju snažne opruge, ručne uređaje za reguliranje tlaka tih opruga i prikladne uređaje koji ventile otvaraju kad tlak predemulzije postigne određenu vrijednost; zapornici

i sjedala ventila imaju poseban oblik. Osim toga, od suvremenih ventila za homogeniziranje traži se da sprečavaju tzv. pojavu nakupljanja, koja često nastupa pod opisanim uvjetima rada. (To je veliki porast viskoziteta emulzije, koji suprotno očekivanju ne povećava, nego smanjuje njenu postojanost. Tumači se nakupljanjem globula u agregate u kojima je sklonost aglomeraciji povećana.) Kako se taj efekt može poništiti daljom ekspanzijom na manjim razlikama tlakova (obično ~ 80 at), suvremeni ventili za homogeniziranje najmanje su dvostepeni, a često su i višestepeni. Jedan dvostepeni ventil za homogeniziranje prikazan je na sl. 11. U njemu se po protiskivanju predemulzije kroz posmično polje između dosjednih površina zapornika (6) i sjedala (8) pod utjecajem vrlo velikog pada tlaka ona dalje protiskuje kroz posmična polja s manjim padom tlaka, koja se nalaze u kanalima stvorenim između unutrašnjih površina redukcijskog prstena (7) i zapornika izdancima prstena. (Ti izdanci služe i za vođenje zapornika.) Jedan jednostavni homogenizator za emulgiranje prikazan je na sl. 12.



Sl. 11. Dvostepeni ventil za homogeniziranje. 1 Ručno kolo za podešavanje tlaka, 2 pokrov ventila, 3 tlačna opruga, 4 čaška za oslonac opruge, 5 stezaljka brtvila, 6 zapornik, 7 redukcijski prsten, 8 sjedalo, 9 brtva čepa dna, 10 čep dna, 11 brtвило, 12 držač zapornika, 13 dovod, 14 odvod



Sl. 12. Jednostavni homogenizator. 1 Dovod (obično dva) s protupovratnim ventilom, 2 klip, 3 cilindar, 4 ventil za homogeniziranje, 5 ispušt, 6 ručno kolo za reguliranje tlaka otvaranja ventila za homogeniziranje, 7 ekscentrični zagonski sklop

Spomenute odlike homogenizatora omogućavaju njihovu upotrebu u proizvodnji emulzija vrlo različite konzistencije, od emulzija s vrlo malim viskozitetima (npr. za homogeniziranje mlijeka) do emulzija s vrlo velikim viskozitetima, pastozne konzistencije (npr. u proizvodnji margarina, v. *Masti i ulja*).

Kavitacijski postupci emulgiranja. Sudaranje mjehurića para koji se razvijaju i kratko vrijeme postoje u tekućinama kad se u njima pojavljuje kavitacija ima za posljedicu tlačne učinke, dovoljno snažne da se mogu iskoristiti i za emulgiranje. Najjednostavniji način na koji se može emulgirati kavitacijom jest da se jedna komponenta emulzije ubrizgava u drugu mlazovima primjereno velike brzine, tj. s pomoću uređaja koji imaju prikladne tlačne crpke i sapnice. Pri tome se onda emulgiranje dijelom odvija i pod utjecajem turbulencije. U suvremenijim uređajima iz te skupine ti se efekti postižu s pomoću ultrazvuka. Najjednostavniji je princip emulgiranja ultrazvukom uz pomoć hidrodinamičkog transduktora. Taj princip i provedba emulgiranja mlaznim

hidrodinamičkim transduktorom prikazani su u poglavlju Primjena zvuka u tehnici članka *Akustika*, TE 1, str. 67, sl. 44. Osim na taj način, ultrazvuk se za te svrhe proizvodi i električnim oscilatorima koji rade na magnetostriksijskom ili piezoelektričnom principu. Međutim, poteškoće povezane s prijenosom energije tih uređaja na tekućine još uvijek ograničavaju njihovu upotrebu u industriji.

Postupci emulgiranja efektom parnog udara zasnivaju se na posljedicama implozija mjehurića vodene pare kad se ona ubrizgava u hladne tekućine i pri tome naglo kondenzira. Pri tome se, naime, u tekućini pojavljuju jake posmične sile koje se mogu iskoristiti za emulgiranje. Za to su potrebni vrlo jednostavni uređaji u kojima su bitni dijelovi za hlađenje (npr. djelotvorne kondenzacijske spirale) i prikladne sapnice za ubrizgavanje pare.

Emulgiranje inverzijom faza zanimljivo je za priređivanje nekih emulzija tipa UV, jer se može izvesti uz manju potrošnju emulgatora. Općenito se izvodi tako da se uljna faza pomiješa s emulgatorom, pa se dodaje vodena faza uz lagano miješanje. Pri tome se na početku mutna smjesa uljne faze i emulgatora najprije izbistrava i zatim ponovo zamućuje uz porast viskoziteta. U nekom stanju viskozitet naglo opadne. To je znak da se tip emulzije promijenio (emulzija tipa VU postala je emulzija tipa UV).

Upotreba emulzija. Najvažnija su upotrebna svojstva emulzija u tome što omogućavaju transport tvari disperzne faze na mjesta do kojih ona sama za sebe ne bi mogla doprijeti zbog napetosti graničnih površina koje bi se tome suprotstavile, što su granične površine njihovih faza vrlo velike pa omogućavaju ili olakšavaju odvijanje različitih procesa koji bi inače bili neizvodljivi, ili bi se odvijali odviše sporo, i što je nanošenje tvari raspršivanjem njihovih emulzija često povoljnije od nanošenja izravnim raspršivanjem. Prvo je vrlo važno u velikom broju različitih područja tehnike, posebno industriji, građevinarstvu i za farmaceutske i kozmetičke svrhe, drugo posebno za prehranu (jer vrlo velike granične površine faza emulgirane hrane omogućavaju uspješnije djelovanje probavnih enzima), a treće posebno za poljoprivredu.

Upotreba je emulzija u **industriji** golema. Posebno je velika u tekstilnoj industriji, u industriji papira i u industriji kože gdje su emulzije važna sredstva za finalnu obradu. Vrlo su važni neki procesi koji se odvijaju u emulzijama, npr. emulzijska polimerizacija u proizvodnji nekih umjetnih smola (v. *Plastične mase i umjetne smole*). Također su emulzije važna pomagala u metaloprerađivačkoj industriji, posebno kao istovremeno maziva i sredstva za hlađenje izradaka i alata.

Za **građevinarstvo** najvažnije emulzije jesu emulzije asfalta. One omogućavaju asfaltiranje i u uvjetima pod kojima to nije moguće asfaltom. To njihovo upotrebno svojstvo posljedica je njihove moći kvašenja koju asfalt nema.

Iz sličnih razloga često se u tehnici ličenja i oblaganja danas upotrebljavaju emulzije lakova, ulja, voskova i umjetnih smola (npr. tzv. emulzijski naliči).

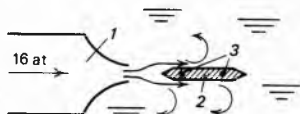
Emulzije su važne i u suvremenoj tehnici **vatrozaštite**, **kemijskog čišćenja**, **njege i održavanja** različitih materijala i u mnogim drugim sličnim primjenama koje je teško sve nabrojiti.

I upotreba **farmaceutskih i kozmetičkih** emulzija vrlo je velika. To su bezbrojna unguenta, pomade, kreme, losioni, a i neki lijekovi za unutrašnju upotrebu.

Prehrana je nesumnjivo po količini najveći potrošač emulzija. Mnogi prehrambeni proizvodi u stvari su emulzije. Među njima su neki od najvažnijih prirodnih prehrambenih artikala, npr. mlijeko i jaja koji se konzumiraju kao takvi ili se prerađuju u druge prehrambene proizvode. Najvažnije emulzije koje industrija proizvodi za hranu jesu homogenizirano mlijeko, maslac, margarin, mnoštvo začina (kao što su majoneza, senf, različiti umaci), mnoga pića, slastičarski proizvodi (v. članak *Meso, mlijeko, ribe, jaja — prerada* i članak *Masti i ulja*).

U **poljoprivredi** su emulzije važne kao sredstvo za primjenu mnogih insekticida, herbicida i fungicida. To su obično emulzije koje se priređuju na samome mjestu laganim miješanjem s vodom iz koncentrata u kojima je predemulgirana otopina toksične tvari u nekom prikladnom otapalu.

LIT.: G. Sutherland, Introduction to emulsions, New York 1946. — W. Clayton, The theory of emulsions, Philadelphia 1949. — I. Corubolo, Magistralna receptura, Zagreb 1956. — P. Becher, Emulsions theory and practice,



Sl. 13. Princip emulgiranja ultrazvukom. 1 Sapnica, 2 tanki metalni list, 3 vijci za podešavanje položaja i titranja

New York 1957. — W. C. Griffin, Emulsions, u djelu Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology *1965. — H. Bennet, J. L. Bishop Jr., M. F. Wilfinghoff, Practical emulsions, New York 1968. — S. Kiesskalt, Homogenisiermaschinen i. J. Stauf, Emulsionen, u djelu Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, München-Berlin *1970.

Ž. Viličić

ENERGIJA I ENERGETIKA. Energija je sposobnost obavljanja rada. Ona se pojavljuje u prirodi u različitim oblicima. Energija se ne može proizvesti ni poništiti (potrošiti), ona može jedino u toku svoje transformacije ili za vrijeme rada promijeniti svoj oblik. Energetika je nauka koja se bavi izučavanjem energije, njenih izvora i svega što je s time u vezi.

OSNOVNI OBLICI ENERGIJE

Svi oblici energije mogu se svrstati u dvije osnovne grupe: u nagomilanu ili sakupljenu energiju u nekom prostoru ili tijelu, i u prijelaznu energiju koja se pojavljuje u slučaju kad nagomilana energija prelazi iz jednog u drugi oblik ili kad nagomilana energija prelazi s jednog na drugo tijelo. Nagomilana energija može se u određenom obliku održati po volji dugo, dok je kratkotrajnost pojave karakteristika prijelazne energije.

Nagomilani oblici energije jesu: potencijalna, kinetička i unutarnja energija.

Potencijalna energija. Za podizanje tijela mase m (u kg) s razine h_0 (u m) na razinu h_1 (u m), potrebno je obaviti rad W_p (u J)

$$W_p = mg(h_1 - h_0), \quad (1)$$

gdje je g ubrzanje Zemljine teže ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Podizanjem mase obavljeni rad nije izgubljen, jer se on iz podignute mase može ponovno dobiti, ako se dopusti da se tijelo djelovanjem Zemljine teže opet spusti na razinu h_0 . Taj je rad nagomilan u podignutom tijelu kao potencijalna energija ili energija položaja. Ta je energija zapravo posljedica međusobne privlačnosti Zemljine mase i mase podignutog tijela, a ona je ovisna o međusobnom položaju tih dviju masa. Brojčana vrijednost potencijalne energije ovisna je, prema (1), o izboru osnovne razine h_0 , koja se može po volji odabrati, pa se za istu masu mogu dobiti različite vrijednosti potencijalne energije. Ta neodređenost potencijalne energije ne smeta jer se pri rješavanju tehničkih problema uvažavaju samo razlike potencijalne energije. Stoga je potrebno da se u toku proračuna ostane kod iste osnovne razine h_0 . Tada je rezultat neovisan o izboru h_0 , jer se radi o razlici energija. Ubrzanje Zemljine teže nije konstantno, već ovisi o udaljenosti od površine Zemlje i o geografskom položaju. Međutim, pri proračunu tehničkih procesa koji se odvijaju na površini Zemlje ili blizu nje, dobiju se dovoljno točni rezultati ako se ubrzanje smatra konstantnim i ako se računa s već navedenom vrijednošću.

Kinetička energija. Za ubrzanje nekog tijela mase m od brzine v_0 na brzinu v_1 , mora se uložiti rad

$$W_k = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_0^2). \quad (2)$$

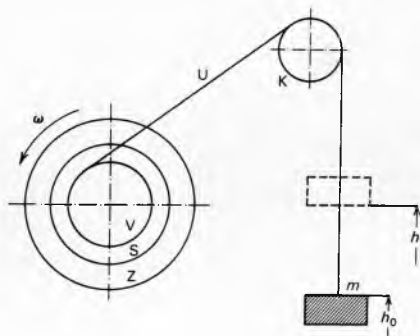
Taj se rad može opet vratiti iz mase u gibanju ako se tijelo uspori na početnu brzinu v_0 . Može se smatrati da je taj rad nagomilan u tijelu u obliku kinetičke energije. Brojčana je vrijednost i kinetičke energije relativna jer je ovisna o koordinatnom sustavu u kojem je definirana brzina tijela. Stoga treba u istom proračunu sve kinetičke energije odrediti u odnosu na isti koordinatni sustav, najčešće s obzirom na mirujuću površinu Zemlje.

Unutarnja energija. Potencijalna i kinetička energija mogu se nagomilati ne samo u tijelima kao cjelini već i u najmanjim elementarnim česticama tijela. Tako se npr. molekule plinova nalaze u stalnom gibanju. Među njima djeluju privlačne i odbojne sile koje pokazuju postojanje potencijalnih energija. Gibanjem molekula te se potencijalne energije transformiraju u kinetičke energije molekula, a nakon sudara s drugim molekulama ponovno u potencijalnu energiju. Molekule krutih tijela nižu se oko svojih srednjih položaja, pa se i u krutim tijelima stalno transformira potencijalna energija u kinetičku i obrnuto. Zbroj je tih energija, kad nema vanjskih utjecaja, konstantan. I među atomima i unutar jezgara atoma djeluju sile, pa je to također znak da postoji poseban oblik energije, koji se po iznosu mijenja kako se mijenjaju spojevi među atomima, odnosno kad dolazi do promjene sastava jezgre. Naročito velike energije nagomilane su u jezgrama atoma.

Svi ti oblici energije, bilo da se radi o energiji na razini molekula, na razini atoma ili na razini jezgara, čine unutarnju energiju tvari.

Unutarnja energija na razini molekula mijenja se dovodeњem ili odvođenjem topline, jer se na taj način povećavaju, odnosno smanjuju brzine kretanja molekula, pa se takva energija naziva unutarnja kalorička energija. Unutarnja energija na razini atoma je kemijska energija, jer se mijenja promjenom kemijskog spoja (npr. izgaranjem). Pri tome treba razlikovati kemijske promjene pri kojima se smanjuje kemijska energija, pa se ta promjena manifestira u povećanju unutarnje kaloričke energije, i kemijske promjene koje mogu nastati samo kad se tvari dovodi određena količina energije. Unutarnja energija na razini jezgara zove se nuklearna energija. Treba, međutim, razlikovati, nuklearnu energiju spajanja jezgara (energija fuzije) od nuklearne energije razbijanja jezgara (energija fisije). I sada treba razlikovati slučajeve kad se promjenama u jezgrama smanjuje unutarnja energija, pa se razlika pojavljuje najčešće u obliku topline, od slučajeva kad je potrebno dovoditi energiju da bi se ostvarila promjena u jezgrama. Za tehničko korištenje kemijskom i nuklearnom energijom interesantni su slučajevi, kad se nastalim promjenama smanjuje kemijska, odnosno nuklearna energija tvari. V. članke: Atom, TE 1, str. 456; Atomska jezgra, TE 1, str. 479; Nuklearna energija.

Prijelazni oblici energije. Mehanički rad ili mehanička energija jedan je od prijelaznih oblika energije. Taj se oblik energije pojavljuje, npr., prilikom pretvaranja kinetičke energije zamašnjaka u potencijalnu energiju utega (sl. 1). U zamašnjaku Z



Sl. 1. Primjer pretvaranja kinetičke energije u potencijalnu. m Uteg mase m , ω kutna brzina zamašnjaka, h_0 i h_1 razine

nagomilana je kinetička energija $W_k = \frac{1}{2} \mathcal{J} \omega^2$, gdje je \mathcal{J} moment tromosti, a ω kutna brzina zamašnjaka. Vitlo V, na koje je pričvršćeno uže U, može se pomoću spojke S priključiti na zamašnjak Z. Tada će se vitlo vrtjeti zajedno sa zamašnjakom, pa će preko užeta i koloturnika K podići uteg mase m od razine h_0 na razinu h_1 . Pri dizanju utega obavlja se u svakom trenutku mehanički rad koji je jednak povećanju potencijalne energije utega, izveden na račun smanjenja kinetičke energije zamašnjaka. Smanjenjem kutne brzine zamašnjaka od ω_0 na ω_1 omogućeno je podizanje utega od razine h_0 na razinu h_1 , pa se energetska transformacija može prikazati relacijom

$$\frac{1}{2} \mathcal{J} (\omega_0^2 - \omega_1^2) = mg(h_1 - h_0). \quad (3)$$

Kinetička energija transformirana je u tom slučaju u potencijalnu energiju, ali je ta transformacija izvršena posredstvom mehaničke energije (mehaničkog rada), jer je kinetička energija najprije transformirana u mehaničku energiju koja je korištena za podizanje utega, pa je na taj način postepeno pretvarana u potencijalnu energiju. Prema tome je mehanička energija prijelazna energija koja se ne može nagomilati, nego se iskorištava istovremeno s njezinom pojavom.

I električna energija je prijelazna energija. Može se, naime, zamisliti da je vitlo (v. sl. 1) spojeno s električnim motorom umjesto sa zamašnjakom, pa u tom slučaju motor preuzima električnu energiju iz mreže. U električnom motoru električna se energija transformira u mehaničku energiju koja pokreće vitlo, a ono preko užeta podiže uteg. Električna energija proizvodi se u električnoj transformaciji iz mehaničke energije u momentu korištenja.