

Pošto se u periodu do 1975 predviđa puštanje u pogon novih kapaciteta bazične industrije (aluminijum, bakar, hemijska industrija i dr.), koja je veliki potrošač električne energije, to se i elektromašingradnji stvaraju mogućnosti da poveća proizvodnju za potrebe elektroprivrede i bazične industrije. Modernizacija saobraćaja (železničkog, PTT i drumskog) zahteva modernu vuču, sigurnosne uređaje, telefonske i telegrafske centrale, kao i ostale uređaje elektronike i telekomunikacija, što stvara uslov za razvoj proizvodnje u oblasti elektronike i telekomunikacija. Predviđa se i dalji porast proizvodnje trajnih potrošnih dobara, kako za potrebe domaćeg tržišta tako i za izvoz. Povećanje izvoza omogućavaju već zaključeni ugovori o dugoročnoj kooperaciji. S obzirom na visoki tehnički nivo ovih proizvoda, predviđa se i povećanje izvoza takođe u direktnoj prodaji gotovih proizvoda i delova.

Na osnovu tih faktora i dostignutog nivoa razvoja, izgrađenih kapaciteta i raspoloživih kadrova, predviđa se da će proizvodnja elektroindustrije u periodu do 1975 rasti po godišnjoj stopi od 10·12%.

LIT.: R. Schneider, G. Schnaus, Elektrische Energiewirtschaft, Berlin 1936. — M. Wolf, H. Junge, Belastungskurven und Dauerlinien in der elektrischen Energiewirtschaft, 2. sv. djela M. Wolf (Herausg.), Enzyklopädie der Energiewirtschaft, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959. — G. Oberdorfer, D. Schaller, Elektrische Energietechnik, u djelu: E. Philippow (Herausg.), Taschenbuch Elektrotechnik, Berlin 1966. — N. Ivošević, Elektroenergetika, Beograd 1970.

Podaci o elektroprivredi Jugoslavije nalaze se u godišnjacima i drugim publikacijama zajednice jugoslovenske elektroprivrede, Koordinacionog odbora elektrodistribucije Jugoslavije, Saveznog zavoda za statistiku i Saveznog zavoda za privredno planiranje. Poglavlje o elektroindustriji u ovom članku sastavljeno je, skraćeno, prema prikazima razvoja i stanja te industrije koji su 1957, 1963 i 1972 izašli u mesečniku »Jugoslovenski pregled, Informativno-dokumentarni priručnik o Jugoslaviji«. U toj će publikaciji i ubuduće periodski izlaziti dokumentirani zbirni prikazi razvoja i stanja jugoslovenske elektroindustrije.

R

**ELEKTROSTATIČKE OPERACIJE**, tehnološke operacije koje za razdvajanje smjesa i obrazovanje nekih proizvoda iz sirovina ili polufabrikata iskorištavaju djelovanja među jakim električnim poljima i električki nabijenim sitnim čvrstim tijelima ili kapljicama tekućine i usmjereno kretanje električki nabitih čestica u električnom polju. Neke elektrostatičke operacije pri kojima se sitne čestice usmjeravaju u električnom polju blisko su srodne elektroforetskim operacijama, pri kojima se to isto čini (v. Elektroforetsko oblaganje i oblikovanje u čl. *Elektrokinetičke operacije*, TE 4, str. 400). Razlika je među jednim i drugim operacijama što se čestice pri elektrostatičkim operacijama električki nabijaju influencijom, trenjem, bombardiranjem ionima ili djelovanjem jakog polja, a pri elektroforezi one se nabijaju uslijed fizičko-kemijskog djelovanja medija na njih (v. *Elektrokinetičke operacije*, TE 4, str. 398). Uočljivo se i praktički razlikuju te dvije vrste operacija po tome što se elektroforeza provodi po pravilu u tekućem mediju, a elektrostatičke operacije u plinovitom (zraku).

Naziv »elektrostatičke operacije« opravdan je utoliko što električni naboj miruje u odnosu prema česticama na kojima je smješten i što kretanje nabijenih čestica u polju i njihovo izbijanje na elektrodi ne prate magnetske, kemijske ni toplinske pojave (v. *Elektricitet, statički*, TE 3, str. 580), ali nije uvijek u potpunosti opravdan ako se operacija promatra u cjelini: prenos naboja na česticama s jedne na drugu elektrodu predstavlja ipak (makar malu) struju, a nabijanje čestica bombardiranjem ionima nije nimalo statički proces. Stoga se npr. u SSSR, izbjegavajući naziv »elektrostatičke operacije«, govori o »elektroionskoj tehnologiji« i ova smatra dijelom tehnološke elektronike.

Elektrostatičkim se operacijama mogu podvrgnuti bilo kakvi pogodno dispergirani materijali, kako električki vodljivi tako i nevodljivi, čvrsti, tekući i paroviti. Odatle široko praktično značenje tih operacija.

Elektrostatičke se operacije redovito provode u tri stadija ili podoperacije: stvaranje električnog naboja na česticama obrađivanog materijala, kretanje nabijenih čestica u električnom polju, skupljanje produkta ili obrazovanje izratka na elektrodama ili u blizini elektroda.

Čestice obrađivanog materijala mogu se električki nabiti na više načina: kontaktom (»trenjem«: triboelektrički), influencijom ili bombardiranjem ionima. O stvaranju električnog naboja kontaktom (trenjem) i influencijom v. poglavlje Stvaranje statičkog elektriciteta u članku *Elektricitet, statički*, TE 3, str. 582. O nabijanju čestica bombardiranjem ionima (koronom) v. poglavlje Elektrostatički precipitatori (elektrofiltri) u članku *Čišćenje plinova*, TE 3, str. 120.

Nabijene čestice kreću se u električnom polju stvorenom naboja na elektrodama ili uz učešće prostornog ionskog naboja, pod djelovanjem kulonskih ili polarizacijskih sila, također u vlastitom polju čestica, ponekad uz istovremeno iskorištenje gravitacije ili aerodinamičkih sila (prosto usmjereno gibanje, gibanje uz istovremeno koaguliranje, orijentiranje ili deformiranje čestica).

Kad se kuglasta čestica s nabojem  $Q$  i polumjerom  $r$  postavi u električno polje jakosti  $E$ , na nju djeluje u pravcu električnog polja sila  $F_e$  koja je određena jakošću polja i nabojem čestice:

$$F_e = EQ. \quad (1)$$

Ubrzanju čestice pod djelovanjem sile  $F_e$  suprotstavlja se trenje  $F_d$ , koje je prema Stokesovu zakonu razmjerno viskozitetu medija  $\eta$ , brzini kretanja čestice  $v$  i njezinu polumjeru  $r$ :

$$F_d = 6\pi\eta rv. \quad (2)$$

Od trenutka kad uslijed porasta brzine sila trenja postane jednaka sili polja, čestica se dalje kreće jednoličnom brzinom  $v_1$ , na koju je do tog trenutka bila ubrzana. Iz jednadžbe  $F_d = F_e$  slijedi

$$v_1 = \frac{EQ}{6\pi\eta r}. \quad (3)$$

Ako je disperzijski medij zrak, čestica koja ulazi u proces postiže konačnu brzinu  $v_1$  gotovo trenutčno.

Iz jedn. (3) vidi se da je, uz inače jednake uvjete, brzina  $v_1$  (a time također produktivnost procesa i energija sudara s elektrodom taloženja) obrnuto razmjerna viskozitetu medija  $\eta$ . To je razlog zbog kojega su, po pravilu, samo elektrostatičke operacije u plinovitom mediju (zraku) ekonomično provedive. Uz dani viskozitet, brzina je  $v_1$  upravo razmjerna jakosti polja  $E$  i naboju  $Q$ , a obrnuto razmjerna veličini čestice ( $r$ ). Jakost se polja  $E$  može, radi povećanja brzine  $v_1$ , gotovo po volji povećavati; naboju  $Q$ , naprotiv — kako je poznato — ne može se povećati iznad određenog maksimuma, a dimenzije čestica često su određene tehnološkim postupkom, ali moraju u većini operacija biti male.

Osim sila  $F_e$  i  $F_d$ , prikazanih jednadžbama (1) i (2), na česticu u električnom polju djeluje i mehanička sila izazvana nabojem na čestici, tzv. *ponderomotorna sila*  $F_p$ , koja iznosi

$$F_p = 4\pi \frac{\epsilon - 1}{\epsilon - 2} r^3 E \frac{dE}{dx}, \quad (4)$$

gdje je  $\epsilon$  dielektričnost čestice, a  $x$  koordinata koje se smjer poklapa sa smjerom električnog polja. (Uspor. s jedn. (5).)

Iz prednje jednostavne analize može se razabrati koliko je povoljnije taložiti sitne čestice s pomoću elektrostatičkih sila nego s pomoću gravitacije ili centrifugalne sile. Tako npr. električno polje jakosti 600 V/cm u nekom dielektriku s relativnom dielektričnošću 2 djeluje na maksimalno nabijenu česticu jedinične gustoće i polumjera 200  $\mu$ m silom 15 puta većom od sile kojom na nju djeluje gravitacija, a 150, odn. 1500 puta većom ako je polumjer čestice 20, odn. 2  $\mu$ m. Da bi se jednaki učinci postigli primjenom centrifugalne sile, potrebne su neusporedivo veće energije i složenija oprema nego pri elektrostatičkim metodama.

Nabijene čestice, stignu li na elektrodu koja ima naboj suprotan naboju koji same nose, gube odmah taj svoj naboj ako su električki vodljive, a ako nisu vodljive, gube naboj sporije i prijanjaju uz elektrodu pod djelovanjem »zrcalne sile«. Ta razlika među ponašanjima čestica različite površinske vodljivosti, a isto tako i razlika među ponašanjima nevodljivih čestica koje su se uslijed različite dielektričnosti različito nabile, iskorištava se za njihovo razdvajanje.

Elektrostatičke se operacije mogu prema primjeni podijeliti na sedam grupa: a) Razdvajanje smjesa na osnovi razlika u uvjetima nabijanja čestica njihovih sastojaka, na osnovi različitog kretanja u električnom polju ili različitog prijanjanja čestica uz elektrodu: *električna separacija i oplemenjivanje ruda, polimernih materijala, sjemenki* i dr.; b) taloženje čestica materijala prostim upravljanjem njihova gibanja: *elektro-filtracija, elektrostatičko ličenje, glaziranje i emajliranje, električno dimljenje mesa i ribe, električno zaprašivanje biljki*, i dr.; c) stvaranje smjesa i formiranje izradaka u električnom polju ili na elektrodi uz djelovanje jednih nabijenih čestica na druge: *električno miješanje sipkih materijala, koagulacija u električnom polju*, i dr.; d) orijentiranje čestica u električnom polju po geometrijskim ili molekularnim osima i izrada na elektrodi proizvoda iz tih čestica: *elektrostatičko nanošenje vlakana na tkanine, papir* i dr., *prosjijavanje duguljastih čestica* (npr. *sjemenki*), *proizvodnja abrazivnih tkanina i papira, proizvodnja polarizacijskih filtara (polaroida)*, i dr.; e) deformiranje čestica u električnom polju u kombinaciji s procesima navedenim pod d): *elektrostatičko ličenje, elektrostatičko pređenje, oblikovanje elektreta*; f) druge kombinacije procesa navedenih pod a)···e); g) kombinacije tih procesa s djelovanjem topline ili kemijskih reagenata: *elektrostatičko oblaganje zaštitnim i drugim polimernim slojevima, taljenje ekstremno čistih metala suspendiranih u električnom polju* i dr. Time nisu iscrpene sve mogućnosti primjene elektrostatičkih operacija, tehnološke grane koja se još nalazi u razvoju.

Prve »elektrostatičke« operacije uvedene u tehničku praksu bile su elektrostatička separacija i elektrofiltracija. Te su se dvije operacije razvile otprilike istovremeno; u kasnijem razvoju nastao je izvjestan zastoj u primjeni elektro-

statičke separacije, dok se primjena elektrofiltracije bez prekida širila, te ona danas predstavlja najviše primijenjenu elektrostatičku operaciju. Više o tome v. u poglavlju Elektrostatički separatori (elektrofiltri) članka Čišćenje plinova, TE 3, str. 121, i u poglavlju Elektrostatička separacija ovog članka. Razvoj elektrostatičkih operacija izvan područja elektroseparatora i elektrofiltracije počeo je oko 1920, i to najprije za proizvodnju brusnih papira i tkanina i za proizvodnju vlaknastih materijala taloženjem vlaknaca na tkanine, papir i druge materijale. Elektrostatičko ličenje i oblaganje plastičnih masama i drugim materijalima počelo se razvijati kratko iza 1940, a oko 1950 postojale su već metode za nanošenje jednoličnih neprekinitih obloga na tkanine.

Elektrofiltracija je u ovoj enciklopediji obradena na već opetovano spomenutom mjestu, u članku Čišćenje plinova. U ovom članku obradena je elektrostatička separacija ruda, sjemenki itd. i druge, tehnološke elektrostatičke operacije, kojima je zajednička karakteristika da se njima električki nabijene čestice ili kapljice u električnom polju usmjeravaju i talože na čvrstu podlogu, tzv. *supstrat*.

### Elektrostatička separacija

Elektrostatička separacija (elektroseparacija) je postupak razdvajanja smjesa malih čestica ili usitnjenog materijala po sastavu ili krupnoći, uz iskorištavanje međudjelovanja električnog polja i električnih naboja, te razlike u kretanju električki nabijenih čestica u električnom polju. Elektrostatička separacija obuhvaća poglavito operacije elektrostatičke koncentracije (elektrokoncentracije) kao postupak oplemenjivanja mineralne sirovine, i postupke čišćenja i sortiranja sjemenja u poljoprivredi.

U patentnoj literaturi spomenuti su već u 70-im godinama prošlog stoljeća prvi najjednostavniji aparati za elektrostatičko separiranje sjemenki i drugih laganih materijala, koji su se statički nabijali na samoj elektrodi trenjem. U 80-im godinama istog stoljeća izumljen je i razvit elektrostatički generator elektriciteta (Holz, Töpler, Voss, Wimshurst), te su mogli biti predloženi i separatori za teže materijale, kao što su rude (Edison 1892), ali su takvi aparati bili nepouzdan i rad im je bio vrlo zavisn, npr., od atmosferskih prilika. Dalji poticaj dobio je razvoj elektrostatičkih separatora kad je 1895 pronađena pretvorba izmjenične struje u istosmjernu, ali je — među ostalim i zbog nedostatka pogodnih jeftinih materijala za gradnju aparature (npr. izolatora) i nerazvijenosti potrebnih pripremnih i popratnih operacija (klimatizacije zraka, sitnjenja i klasiranja ruda) — tek negdje od 1905 počela elektrostatička separacija u većoj mjeri ulaziti u tehničku praksu (L. Blake, D. Morsher, Huff). Do ~ 1926 ona se tako raširila u praksi da je bila ravnopravan takmac drugim metodama separacije ruda, ali od te godine počinje njezino nazadovanje, uzrokovano razvojem i usavršavanjem flotacije, te se ona upotrebljavala uglavnom samo za čišćenje flotacijskih koncentrata i izdvajanje korisnih minerala iz smjesa minerala slične specifične težine, koje se drugim načinom ne mogu razdvojiti. Ponovan uspon elektrostatičke separacije počinje u 30-im godinama, kad je poboljšani električni dio elektrostatičkog separatora i kad su konstruirani elektroseparatori s nabijanjem čestica isključivo koronom.

Kao pri svim elektrostatičkim operacijama, i pri elektroseparatorima obradene se čestice električki nabijaju i kreću u električnom polju, a mogu se i taložiti na elektrodama. Sastojci smjese različitog sastava mogu se u svim tim stadijima operacije vladati različito zbog razlika u električnim svojstvima (vodljivosti i/ili dielektričnosti), pa se na osnovi toga, a eventualno i uz iskorištenje razlika u veličini, specifičnoj težini i dr., mogu jedni od drugih razdvajati.

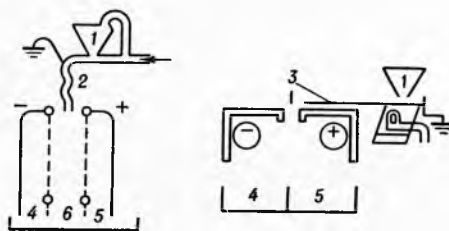
U rudarstvu se danas elektrostatička separacija primjenjuje osobito u nekim slučajevima kada su potrebni veoma čisti koncentracije kakvi se drugim oplemenjivačkim postupcima ne mogu dobiti, a naročito bi interesantna mogla biti za budućnost, možda i ne suviše daleku, s obzirom na okolnost da je to suhi postupak koji ne traži vode. Gotovo svi drugi oplemenjivački postupci, a pogotovo danas najvažniji, flotacija, ne samo što iziskuju goleme količine vode već upotrijebljenu vodu toliko onečišćuju da praktično više nije ni za kakvu upotrebu.

U principu, elektrostatička se koncentracija može primijeniti u svim slučajevima kada se komponente mineralne paragenese razlikuju po dielektričnoj konstanti, dakle po polarizacionim svojstvima, kao i po intenzitetu površinske elektrovodljivosti. Međutim, kako je u tom području primjena flotacije i drugih oplemenjivačkih postupaka daleko efikasnija, primjena električne koncentracije danas je još ograničena uglavnom na ove karakteristične slučajeve: odvajanje kvarca od glinenaca, kvarca od fosfata, dobivanje teških minerala (cirkona, rutila, monacita, ilmenita, kromita) iz aluviona, separacija kamene i kalijumskih soli, čišćenje koncentrata željeza i kositra, zatim kvarcnog pijeska, grafita, azbesta, dijamanta. Sve te sirovine moraju po pravilu biti dalekosežno osušene, praktično na manje od 1% vlage. Osim toga, električna separacija dolazi u obzir samo za sitna zrna, danas otprilike za klase  $-3 \cdot 6$  mm +  $40 \cdot 70$   $\mu$ m; krupnija se zrna ne mogu preraditi jer su preteška za sile koje djeluju u uređajima, a prašina sitnija od 40  $\mu$ m blokira elektrode usjedajući se na njima, a osim toga pranja i za čestice materijala. Stoga

je prije električnog sortiranja neophodno veoma usko klasiranje. Iskustven je podatak da odnos između najmanjeg i najvećeg zrna smije biti kao 1 : 4; ukoliko je veći, klasifikacioni efekt može prekriti separacioni, pa do separacije uopće i ne dolazi.

Prema prirodi električnog polja i načinu električnog nabijanja čestica, elektroseparatori mogu se podijeliti u elektrostatičke separatore (u pravom smislu riječi) i korona-separatore. U prvima čestice se nabijaju trenjem, indukcijom i polarizacijom i ponekad dodatno bombardiranjem ioniziranim česticama, a transportiraju u razmjerno slabijim poljima; u drugima se čestice nabijaju prvenstveno bombardiranjem ionima u koroni i transportiraju u električnom polju velike jakosti. (Ima i separatora koji predstavljaju u neku ruku kombinaciju elektrostatičkih separatora i korona-separatora.)

**Elektrostatički separatori.** Princip elektrostatičkog separatora u kojemu se čestice nabijaju trenjem (*triboelektrostatičkog separatora*) prikazuje sl. 1. Usitnjeni materijal iz lijevka 1 puše se ili pada u cijev 2, odn. vibrirajući transporter 3, gdje mu se čestice trenjem električki nabijaju, prema sastavu, pozitivno ili negativno (ili se ne nabijaju); poslije toga čestice padaju u električno polje obrazovano suprotno nabijenim elektrodama + i -, tamo se nabijene čestice otklanjaju, zavisno od naboja, prema jednoj ili drugoj elektrodi i padaju u odvojena spremišta 4, 5, 6.



Sl. 1. Shematski prikaz triboelektrostatičkih separatora

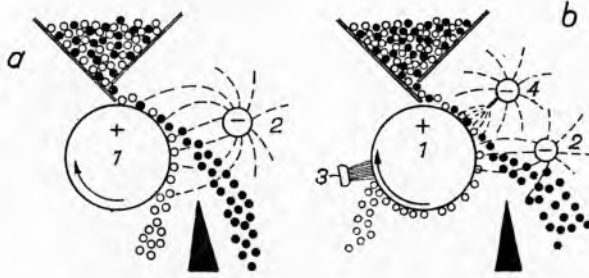
Mehanizam nabijanja trenjem (bolje reći: kontaktom, jer trenje je samo način da se stvori što tješnji kontakt među raznorodnim materijalima) nije dokraja objašnjen. Najvjerojatnije je posrijedi prijelaz elektrona s površine materijala u kojemu su elektroni prisutni u većoj koncentraciji na površinu materijala gdje im je koncentracija manja. Time se u jednom materijalu nade višak elektrona, a u drugom šupljine (v. *Elektronika, sastavni dijelovi*, TE 4, str. 472), pa po razdvajanju površni ostaju materijali suprotno nabijeni. Prema tzv. Cohenovom pravilu pri (trenjem ostvarenom) kontaktu dvaju izolatora najčešće se pozitivno nabija onaj koji ima veću dielektričnost. Stoga materijal od kojeg su napravljene cijev 2 i transporter 3 (sl. 1) mora biti po dielektričnosti između oba materijala koje treba razdvojiti.

Oblast primjene triboelektričnih separatora nije vrlo široka jer broj materijala koji se trenjem jednog o drugu suprotno nabijaju nije velik. Separatori toga tipa primijenjeni su npr. pri koncentraciji kalijumskih soli, fosforita i sumpornih rudâ.

Isto tako se rijetko primjenjuje druga vrsta separatorâ u kojima se iskorištava razlika među dielektričnostima materijala koje treba razdvojiti: *dielektrični separatori*. Oni se osnivaju na činjenici da nehomogeno električno polje potiskuje u suprotnim smjerovima (ponderomotornim silama) čestice različite dielektričnosti, ako je dielektrik polja po dielektričnosti između materijalâ tih čestica. Taj je dielektrik po pravilu tekućina.

Najčešće se od elektrostatičkih separatora (u užem smislu riječi) upotrebljavaju elektroseparatori koji se osnivaju, u stvari, na razlikama među površinskim vodljivostima materijalâ koje treba razdvojiti. U električnom polju na čvrstim česticama nastaju naboji suprotnog predznaka, u vodičima influencijom, a u izolatoru polarizacijom (v. *Elektricitet, statički*, TE 3, str. 581). Kad tako nabijene čestice padnu na elektrodu, na vodljivim česticama naboj predznakom jednak naboju elektrode odmah se neutralizira, te čestica ostaje s nabojem jednakim naboju elektrode i stoga ih elektroda odbija ili oni s nje otpadaju; s izolatora (koji ne sadrži slobodnih elektrona) naboj suprotan naboju elektrode ne može preći na elektrodu, elektroda ga samo privlači te time privlači i česticu koja ga nosi (vidi sl. 2 a). Efekt privlačenja čestica izolatora pozitivnoj elektrodi pojačava se ako se na njima povećâ negativni naboj djelovanjem oštrobride elektrode (djelovanje šiljaka i bombardiranje ionima) ili obasjavanjem elektronskim zrakama (vidi sl. 2 b); odvajanje čestica vodiča od elektrode pojačava se djelovanjem polja.

Sl. 2 prikazuje shematski djelovanje *elektrostatičkog separatora s valjkom*. Usitnjeni materijal koji treba razdvojiti pada na uzemljeni valjak 1 koji se polako okreće. Između tog valjka i negativne elektrode 2 vlada napon od 10...40 kV. Uslijed upravo opi-



Sl. 2. Shematski prikaz elektrostatičkih separatora s valjkom; a s nabijanjem čestica samo influencijom i polarizacijom, b s dodatnim nabijanjem djelovanjem šiljka i bombardiranjem ionima

sanog mehanizma vodljive čestice odbacuju se s valjka i padaju, privučene negativnom elektrodom, u jedno spremište, a slabo vodljive čestice ostaju prilijepljene na valjku dok pod djelovanjem sile teže (sl. 2 a) ili skinute četkicom 3 (sl. 2 b) ne padnu u drugo spremište. Na sl. 2 b vidi se i djelovanje druge, oštrobriđe negativne elektrode 4. U praksi se redovito smješta manji ili veći broj valjaka jedan iznad drugog, spojenih bilo paralelno (radi povećanja proizvodnosti) bilo u seriji (radi povećanja stupnja separacije, usp. sl. 5).

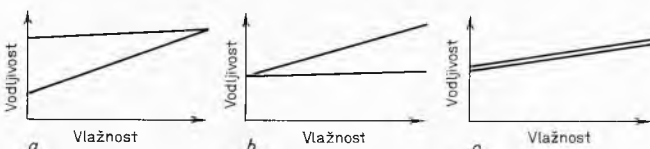
Izvedba elektrostatičkog separatora s valjkom najčešće se upotrebljava. Osim ove predložene su i druge izvedbe. Ovdje će biti spomenuta samo izvedba *komornog elektrostatičkog separatora*, u kojemu pogodno zdrobljeni materijal, prethodno električki nabijen, slobodno pada u električnom polju, koje različito nabijene čestice različito otklanja, tako da padaju u različita spremišta.

Minerali i stijene mogu se prema njihovoj električnoj vodljivosti podijeliti kako je prikazano u tabl. 1. Dobro vodljivi i poluvodljivi minerali i stijene elektrostatičkim se separatorima dobro odvajaju od loše vodljivih. Teže je razdvojiti

Tablica 1  
PODJELA MINERALA I STIJENA PREMA ELEKTRIČNOJ VODLJIVOSTI  
(po N. F. Olofinskomu)

Dobro vodljivi	Poluvodljivi	Loše vodljivi
Antracit	Antimonit	Albit
Arsenopirit	Bizmutinit	Ksenotim
Galenit	Boksit	Anortit
Grafit	Cinabarit	Apatit
Halkopirit	Cirkon (jako onečišćen željezom)	Badelejit
Halkozin	Fajalit	Barit
Hematit	Granat (onečišćen željezom)	Bastnezit
Ilmenit	Hibnerit	Beril
Kolumbit	Kovelin	Bjotit
Kovelin	Magnetit	Celestin
Magnetit	Manganit	Cijanit
Pirit	Pirit	Cirkon (malo onečišćen željezom)
Piroluzit	Piroluzit	Hromit
Pirotin	Platina	Kalonit
Platina	Rutil	Kasiterit
Rutil	Srebro	Korund
Srebro	Tantalit	Limonit
Tantalit	Tetraedrit	Sfalerit
Titanomagnetit	Zlato	Siderit
Zlato		Smitsonit
		Tungstit
		Volframit
		Dijamant
		Epidot
		Fluorit
		Granat (svijetli)
		Halit
		Hipersten
		Hornblenda
		Kalcit
		Karnalit
		Turmalin
		Volastonit

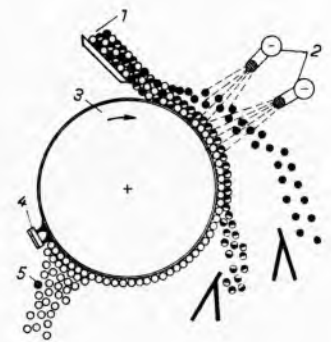
dobro vodljive minerale i stijene od poluvodljivih, a smjesa poluvodljivih i loše vodljivih minerala, ili smjesa minerala ili stijena iste grupe, ne može se razdvojiti na osnovi razlika među njihovim prirodnim vodljivostima, nego samo ako se pogodnom predobradom razlika među njihovim površinskim vodljivostima



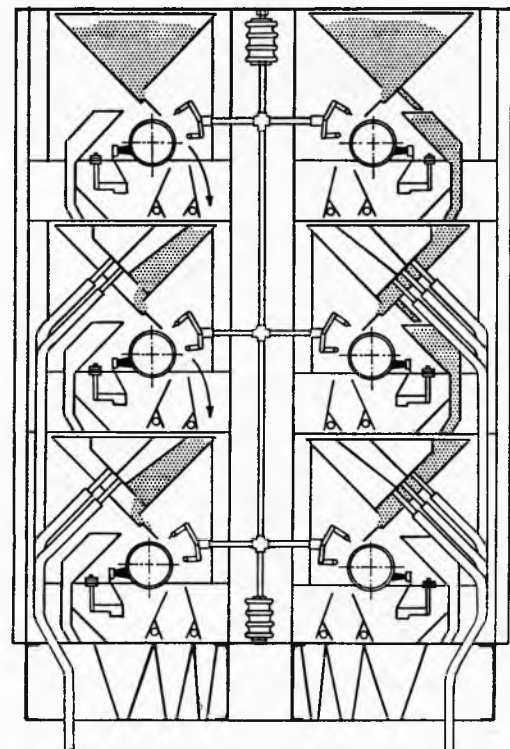
Sl. 3. Zavisnost površinske vodljivosti minerala od vlažnosti

poveća. Najčešće upotrebljavani postupak takve predobrade temelji se na promjeni površinske vlažnosti obrađenog materijala. Pri tome su moguća tri osnovna načina ponašanja sastojaka smjese dvaju minerala ili stijena, prikazana na sl. 3. Sl. 3 a prikazuje zavisnost električne vodljivosti dvaju minerala koji se po površinskoj električnoj vodljivosti jako razlikuju kad su im površine suhe, a pri porastu vlažnosti površine vodljivost im se mijenja tako da razlika među njihovim vodljivostima postaje sve manja i na kraju nestaje; sl. 3 b prikazuje ponašanje dvaju minerala koji su površinski jednako vodljivi kad su suhi, ali se po površinskoj vodljivosti razlikuju to više što im je vlažnost veća; sl. 3 c, na kraju, prikazuje slučaj kad sastojci smjese dvaju minerala imaju gotovo jednake površinske vodljivosti, koje se s porastom vlažnosti i jednako mijenjaju. U prvom slučaju treba obrađivati smjesu prethodno obraditi tako da bar kroz vrijeme prolaza kroz separator čestice materijala budu na površini suhe; u drugom slučaju treba obrađivati smjesu površinski ovlažiti, npr. provođenjem separacije u pogodno klimatiziranoj atmosferi; u trećem slučaju treba — želi li se separacija provesti elektrostatički — promijeniti hidrofnost (odn. hidrofilnost) jednog od sastojaka, najbolje obradom nekim površinski aktivnim ili kemijskim reagensom koji djeluje selektivno.

**Korona-separatori** također se izvode s valjkom ili kao komorni separatori. Sl. 4 shematski prikazuje konstrukciju i rad *korona-separatora s valjkom*. S pomoću dodavača 1 materijal koji treba razdvojiti polaže se na okretljivi uzemljeni metalni valjak 3 i na njemu se bombardira ionima iz negativne korone obrazovane oko žica smještenih paralelno s izvodnicama valjka i spojenih s izvorom visokog napona vodovima 2. Čestice koje se električki ne nabijaju odmah padaju s valjka u jedno spremište, ostale, zavisno od svoje vodljivosti, dielektričnosti i specifične težine, prijanjuju više ili manje uz valjak, te ili padaju u drugo spremište kad su sile prijanjanja manje od sile teže i centrifugalne sile, ili se skidaju s valjka četkom 4 i električkim skidačem 5, koji suprotnim nabojem neutralizira naboj čestica. Separacija se često



Sl. 4. Shematski prikaz korona-separatora s valjkom



Sl. 5. Postrojenje korona-separatora spojenih u seriji (lijevo) i paralelno (desno)

poboljšava dodavanjem negativne protuelektrode (kao u elektrostatičkim separatorima); dobivaju se time kombinirani elektrostatički korona-separatori. I korona-separatori s valjkom obično se smještaju u više nivoa jedan iznad drugog, spojeni serijski ili paralelno (sl. 5).

*Komorni korona-separatori* razvijeni su naročito u Sovjetskom savezu kao rezultat studija zbivanja u elektrostatičkim precipitatorima (elektro-filtrima), i tamo se u priličnoj mjeri upotrebljavaju u rudarstvu i poljoprivredi. Materijal u njima pada iz spremišta u prostor između dvije elektrode: jedne, koronirajuće, obrazovane od većeg broja paralelnih horizontalno razapetih žica oko kojih se obrazuje korona, i druge, kolektorske, oblikovane poput rešetke od vertikalnih metalnih štapova. Čestice materijala koje treba separirati u svom padu otklanjaju se više ili manje od vertikale, zavisno od njihove vodljivosti, veličine, dielektričnosti i specifične težine, te ili prolaze kroz kolektorsku elektrodu i padaju u jedno spremište, ili prije nego stignu do kolektorske elektrode padnu u drugo spremište.

U slučajevima kad se mogu primijeniti i elektrostatički separatori i korona-separatori, ovi potonji, tvrdi se, imaju znatno veću proizvodnost zbog toga što rade sa mnogo jačim poljem, koje uz to sadrži prostorne naboje.

R. Podhorsky

### Elektrostatičke tehnološke operacije

Pojedini procesi u kojima se primjenjuju elektrostatičke operacije razlikuju se jedni od drugih načinom pripreme i nabijanja materijala koji se taloži, te načinom pripreme disperzijske sredine i uspostavljanja električnog polja. S druge strane, ti činioci određuju u pojedinim procesima vrstu supstrata i materijala prevlake koji se mogu preradivati i karakteristike proizvoda koji se preradom dobiva. Komprimiranje zraka (ili nekog drugog plina) koji se upotrebljava kao sredstvo za dispergiranje potrebno je samo u elektrostatičkim operacijama u kojima se na supstrat nanose čestice čvrstih tvari, i to ne toliko za sam proces nanošenja koliko za transport čvrstih tvari s pomoću pneumatskih sustava. Količine komprimiranog zraka potrebne za te svrhe razmjerno su male.

Materijal kojim se liči i oblaže, ili koji se za neku drugu svrhu nanosi na površinu predmeta u elektrostatičkim operacijama, najčešće se nabavlja već u prikladno usitnjenom stanju, ili se usitnjava do prikladnih dimenzija čestica uobičajenim metodama. Dispergiranje i električno nabijanje tog materijala, kao dalja operacija njegove pripreme za proces, redovito se izvode istovremeno. Od metoda nabijanja čestica u elektrostatičkim operacijama dolaze u obzir uglavnom dvije: influencijsko nabijanje čestica i nabijanje bombardiranjem ionima.

*Influencijsko nabijanje čestica* izvodi se tako da se one izlažu djelovanju električnog polja za vrijeme dok su u dodiru s nekim vodljivim tijelom. Taj dodir potreban je da bi u sustavu mogla teći struja (prenositi se naboj na česticu, ili kapljicu, ili s nje), kao nuždan činilac procesa. Da bi se materijal mogao influencijom nabiti, on mora biti dovoljno vodljiv. Taj uvjet zadovoljavaju materijali sa specifičnim otporom manjim od  $10^{10} \Omega \text{cm}$ , jer se pri tome već mogu postizati praktički primjenjive brzine procesa. Naravno, konačni naboj čestica koji se pri influencijskom nabijanju u elektrostatičkim operacijama može postići ovisan je o relativnoj površini čestica.

*Bombardiranje ionima* može se, naprotiv, upotrijebiti za nabijanje čestica (kapljica) bilo kakvog materijala suspendiranog u struji zraka, bez obzira na njegovu vodljivost. Za to su potrebne same visoke koncentracije iona, kakve se mogu dobiti npr. koronom. Korona se za tu svrhu dobiva iz finih žica ili igala. Ioni se sudaraju s česticama koje ulaze u električno polje i nabijaju ih. Maksimalni naboj čestica koji se može postići bombardiranjem ionima funkcija je njihove dielektričnosti  $\epsilon$ , njihova polumjera  $r$  i jakosti električnog polja  $E$ :

$$Q_{\max} = 1 + 2 \frac{(\epsilon - 1)}{(\epsilon + 2)} E r^2. \quad (5)$$

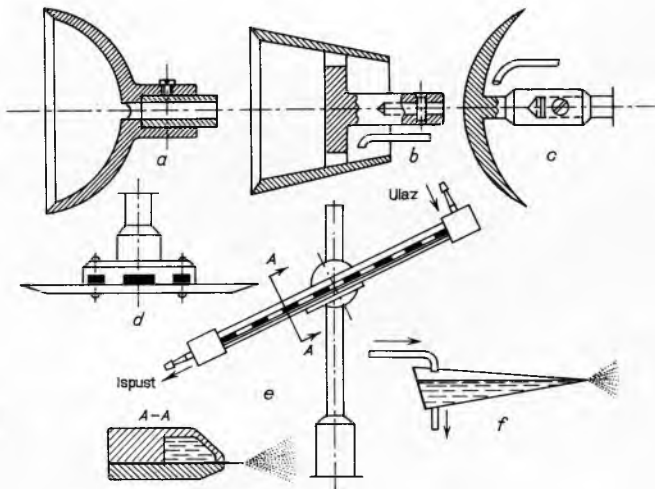
Pri dovoljnoj gustoći iona taj naboj postiže se u vrlo kratkom vremenu (djeliću sekunde). Struje koje se pojavljuju u sustavima za provođenje elektrostatičkih operacija pri nabijanju bombardiranjem ionima veće su, dakako, od struja u sustavima s influencijskim nabijanjem (zbog izbijanja slobodnih, nesudarenih iona), ali su još uvijek vrlo male.

Već prema načinu nabijanja i materijalu koji se nabija, u elektrostatičkim operacijama primjenjuju se najčešće istosmjerni, ali ponekad i izmjenični visoki naponi u području od 10 do 150 kV (rjeđe i viši). Unatoč tome, zbog malih struja koje se pri tome pojavljuju, utrošak energije uređaja za proizvodnju takvih napona

je mali. (Struje koje se pojavljuju u elektrostatičkim operacijama negdje u sredini tog područja napona kreću se uglavnom u redu veličine desetica mikroampera.) Zbog toga taj činilac nije zanimljiv kao kriterij pri izboru opreme potrebne za ove procese. Najvažnije je da uređaji za proizvodnju visokog napona za elektrostatičke operacije (naročito kad se radi o ručnim) imaju dovoljno male dimenzije, da su pouzdani, da nisu opasni i, naravno, da su jeftini. Opasnost od ovih generatora u pogonu pitanje je njihovog osiguranja protiv iskrenja u operacijama sa zapaljivim i eksplozivnim tvarima i ograničenja struja koje mogu doći u obzir pri izravnom dotiru između dijelova tijela zaposlenog osoblja i emisijskih dijelova uređaja. Sigurnost u tom pogledu postiže se održavanjem kapaciteta generatora visokog napona dovoljno malim (ne većim nego što odgovara zahtjevima u pogledu energije i napona), ograničenjem struja kratkog spoja na određenu bezopasnu malu a za proces dovoljnu maksimalnu vrijednost (npr. 100  $\mu\text{A}$ ), ugradnjom otpornika u seriju s dovodnim kabelom, izradom emisijskih elektroda od materijala s visokim otporom, itd.

**Elektrostatičko ličenje i oblaganje.** Operacije elektrostatičkog ličenja mogu se podijeliti na dvije podskupine: operacije u kojima se supstrat liči konvencionalnim naličima (lakovima) i one u kojima se to izvodi smjesom raspršenih čvrstih sastojaka naliča (vezivnih sredstava, pigmentata, punila, itd.), a vezivanje tih sastojaka u homogeni film i tog filma s površinom supstrata postiže se nakon toga grijanjem (»toplo« ličenje prahom) ili raspršavanjem razmjerno malih količina otapala na već istaloženi sloj (»hladno« ličenje prahom). Otparavanje otapala u elektrostatičkom ličenju konvencionalnim lakovima najčešće je povezano s operacijama rekuperacije otapala, dok pri »hladnom« ličenju čvrstim sastojcima naliča obično dostaje sušenje kao završna faza obrade.

Elektrostatičke operacije oblaganja supstrata (npr. plastičnim masama, keramičkim materijalima) ne razlikuju se u principu od operacija ličenja. Izvjesne se razlike pojavljuju tek u kasnijim fazama obrade. U slučaju oblaganja, npr., plastičnim masama, pri tome je za stvaranje filma i njegovo vezivanje s površinom supstrata nužna završna operacija grijanja u posebnim pećima, bez obzira na to da li se radi o termoplastima ili duroplastima. U nekim slučajevima oblaganja termoplastima postupci dorade obuhvaćaju još i operacije poboljšavanja obloge (npr. kalandriranjem). Zbog sve šire primjene naliča s umjetnim (naročito epoksidnim) smolama kao osnovnim vezivom (koji najčešće također zahtijevaju toplinsku obradu kao završnu operaciju), granica među filmovima lakova i oblogama od plastičnih masa postaje sve manje jasna.



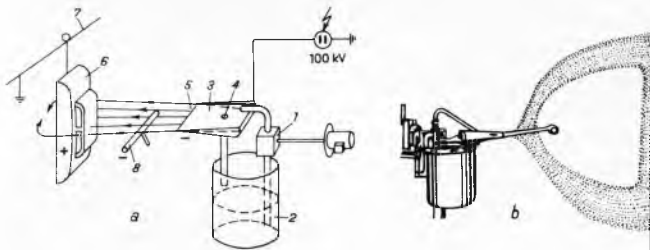
Sl. 6. Tipovi glava raspršivača za elektrostatičko ličenje. a Centrifugalni čaškasti raspršivač sa središnjim dovodom laka, b centrifugalni čaškasti raspršivač s bočnim dovodom laka, c centrifugalni raspršivač glijivastog oblika, d centrifugalni disk-raspršivač, e stacionarni raspršivač za ličenje većih površina uz nabijanje čestica laka bombardiranjem ionima, f stacionarni raspršivač za ličenje uz nabijanje čestica laka influencijom

*Mokri postupak elektrostatičkog ličenja.* Za raspršivanje tekućina u tom postupku primjenjuju se različiti raspršivači. Kako zračne struje upotrebljene pri pneumatskom raspršivanju uzrokuju veće



ili manje rasipanje tekućine, u savremenim operacijama elektrostatičkog ličenja izbjegavaju se tzv. dvofluidni (pneumatski) raspršivači sa zrakom kao sredstvom za dispergiranje. (Za to ima i drugih razloga, npr. razmjerno visoki troškovi kompresije.) Raspršivači kakvi se danas najčešće susreću u postrojenjima za elektrostatičko ličenje konvencionalnim lakovima shematski su prikazani na sl. 6. Od centrifugalnih raspršivača najrasprostranjeniji su raspršivači u obliku čaše sa centralnim dovodom tekućine (sl. 6 a), ili bočnim (sl. 6 b). Iako nisu lošiji od čaškastih, raspršivači gljivastog oblika (sl. 6 c) rjeđe se nalaze, a raspršivači s diskom (sl. 6 d), unatoč nekih prednosti, još rjeđe. U sl. 6 e i f prikazani su stacionarni raspršivači kakvi se upotrebljavaju u uređajima konstruiranim na principu nabijanja kapljica influencijom (ali i bombardiranjem ionima iz korone) i raspršavanja laka isključivo utjecajem električnog polja.

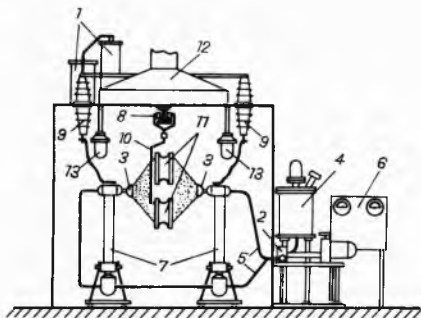
Jedan od najranijih uređaja te vrste, koji dobro objašnjava princip njihovog djelovanja, prikazan je shematski na sl. 7. Na njoj



Sl. 7. Shema uređaja za elektrostatičko raspršavanje laka. a) Princip djelovanja, b) djelovanje elektrode za regulaciju mlaza; 1 crpka, 2 posuda s lakom, 3 raspršivač, 4 preliv, 5 sapnica, 6 izradak, 7 transportni uređaj, 8 elektroda za regulaciju mlaza

(sl. 7 a, v. i sl. 6 f, koja prikazuje u ovom slučaju primijenjeni raspršivač) se vidi da crpka ne samo privodi suspenziju sapnici već i održava njezinu homogenost miješajući je cirkulacijom, tj. time što je usisava s dna rezervoara i vraća je u rezervoar kroz preliv. Crpka, međutim, ne sudjeluje izravno u procesu raspršavanja, već se raspršavanje tekućine i nabijanje kapljica influencijom vrši na samoj sapnici raspršivača utjecajem električnog polja koje uspostavlja između njega i supstrata izvor istosmjernog visokog napona (100 kV). Njegov negativni pol priključen je izravno na raspršivač, a pozitivni pol mu je spojen s masom. Jednako je s masom spojen i vodljivi uređaj za transport predmeta u obradi. Oblik mlaza kapljica regulira se pomoćnom elektrodom, kako je to prikazano na sl. 7 b.

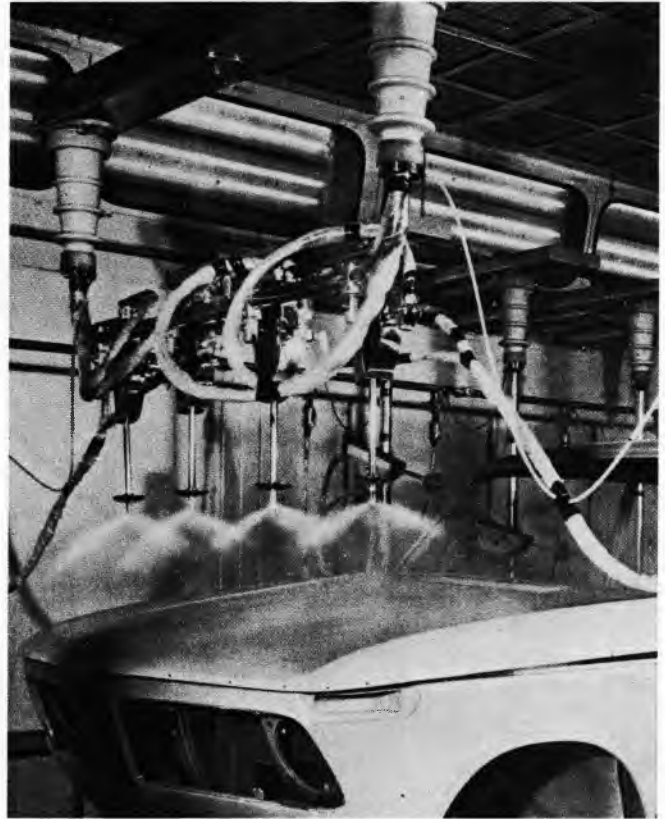
Krupni nedostatak ovakvih statičkih raspršivača jest razmjerno uski vodoravni mlaz kapljica naliča. Kad se radi o ličenju razmjerno velikih predmeta, obično se upotrebljavaju koso položeni raspršivači kakvi su prikazani na sl. 6 e.



Sl. 8. Postrojenje za elektrostatičko ličenje konvencionalnim lakovima. 1 Generator visokog napona, 2 dozator laka, 3 raspršivači, 4 posuda s lakom, 5 cijev za dovod laka, 6 komandni pult, 7 uređaj za raspršavanje, 8 transportni uređaj za izratke, 9 ulazni izolator, 10 vješalice, 11 izradak, 12 usis uređaja za ventilaciju, 13 rasvjetna mjesta

Jedno od suvremenijih postrojenja za elektrostatičko ličenje konvencionalnim lakovima prikazano je na sl. 8. To je zatvorena komora koja ima uređaje za automatsko upravljanje izvana.

Prodiranje para i kapljica u okolišni prostor, u kojem se kreće zaposleno osoblje, obično se sprečava održavanjem slabog podtlaka u komori. To se može lako postići, npr., preko uređaja za odsisavanje para. Unutrašnjost jedne takve komore u pogonu prikazana je na sl. 9. Pojedini sustavi za raspršavanje u ovim postrojenjima ugrađeni su samostalno ili skupno na stacionarnim ili pak na pneumatskim, ili hidrauličkim putem pokretnim nosačima kojima se upravlja izvana, najčešće automatski. Pri tome su također automatski regulirane i sve ostale funkcije postrojenja važne za proces.



Sl. 9. Unutrašnjost postrojenja za elektrostatičko ličenje

*Suho elektrostatičko ličenje i oblaganje.* Prednosti elektrostatičkog ličenja i oblaganja raspršenim čvrstim materijalima brojne su i odražavaju se u gotovo svakom pojedinom svojstvu karakterističnom za filmove naliča. Tako se npr. već jednokratnim ličenjem ovim postupcima mogu dobiti filmovi optimalne debljine (50 do 60  $\mu\text{m}$ ). To pruža mogućnost smanjenja broja operacija u pogonu u odnosu prema drugim postupcima (npr. pri ličenju konvencionalnim lakovima isti se efekt može postići samo bar dvokratnim izvođenjem operacije). Pri oblaganju plastičnim masama to omogućava dobivanje debelih homogenih obloga: već prema vrsti obloga mogu se na hladnim supstratima proizvesti obloge debljine 200  $\mu\text{m}$ , a na predgrijanim debljine do 500  $\mu\text{m}$ . Od nekih skupih plastičnih masa, opet, mogu se drugim postupcima dobiti samo nepotrebno debele obloge, npr. od Rilsana samo obloge debljine 500-600  $\mu\text{m}$ ; suhim elektrostatičkim oblaganjem mogu se od tog materijala dobiti obloge koji nisu deblje od 120-150  $\mu\text{m}$ . Osim toga, filmovi naliča dobivenih postupcima elektrostatičkog ličenja bolje su kakvoće nego filmovi dobiveni drugim postupcima. Tako je na njima isključena pojava kapljica koja je čest problem pri ličenju konvencionalnim lakovima. Primjenom ovih postupaka postiže se i ravnomjernije pokrivanje supstrata, posebno na mjestima na kojima to nikada nije besprijekorno pri mokrom lakiranju (npr. na rubovima limova). Dalja velika prednost »suhih« postupaka iz ove skupine je odsutnost otapala i njihovih para kako u radnim prostorijama u kojima se kreće zaposleno osoblje tako i u komorama postrojenja. Time je isključena neugodna i za zdravlje opasna atmosfera. Među prednosti ovih postupaka treba još ubrojiti okolnost da se, kako je to pokazalo iskustvo, općenito (naročito kada se radi o

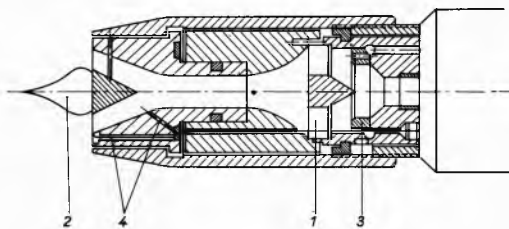
vezivima na bazi epoksidnih smola) mogu izvesti bez toliko opsežnih operacija pripreme supstrata kakve su potrebne npr. pri ličenju konvencionalnim lakovima. Međutim, zbog poznate eksplozivnosti finih suspenzija, inače bezopasnih organskih tvari u zraku, opasnost od eksplozija nije u postrojenjima za izvođenje operacije elektrostatičkog ličenja i oblaganja raspršenim tvarima toliko manja nego u postrojenjima u kojima se manipulira konvencionalnim naličima koliko se to ranije očekivalo.

Jedini krupniji nedostatak postupaka suhog elektrostatičkog ličenja i oblaganja jest što se za svaku nijansu boje mora imati posebno postrojenje. Nemoguće je, naime, postrojenje potpuno očistiti od zaostalog praha, a i najmanja količina praha druge boje koja dospje na svježi nalič ili oblogu može proizvod učiniti neupotrebljivim, jer čestica praha ne razilazi se u svježem naliču, postajući prostim okom nevidljiva, kao što se razilazi sitna kapljica tekućeg premaznog sredstva.



Sl. 10. Ručni uređaj za elektrostatičko ličenje prahom

Prvi uređaji za elektrostatičko ličenje (oblaganje) prahom bili su također ručni. Njihov razvoj bio je uglavnom povezan s rješavanjem problema fluidizacije i održavanja čestica praha u lebdećem stanju. Jedan od suvremenih uređaja takve vrste prikazan je na sl. 10. Glavna je odlika takvog uređaja njegova kompaktna izvedba. U kućištu pokretnom na kotačima ugrađeni su svi njegovi glavni dijelovi osim sapnice (posuda s prahom, uređaji za proizvodnju visokog napona, uređaji za upravljanje i regulaciju, visokonaponski uljni prekidači za uzemljenje kraja visokonaponskog kabela, uređaja za raspršavanje koji osiguravaju aparat od zaostalih napona i napona uzrokovanih trenjem i kod uključivanja spajaju kraj kabela s ulazom u kaskadu visokog napona itd.). Sapnica jednog takvog uređaja prikazana je shematski na sl. 11. Njeni glavni dijelovi jesu prsten 3 s finim rupicama i sustav 1 privodnih lopatica koji omogućava obilato ubrzavanje čestica praha čak i kad je njegova količina, i zbog toga količina zraka, mala, te emisijiska



Sl. 11. Sapnica za raspršavanje pri elektrostatičkom ličenju prahom. 1 Sustav privodnih lopatica, 2 šiljak sapnice za nabi-  
janje bombardiranjem ionima iz korone, 3 prsten sapnice, 4 elektrode

igla 2 s elektrodama 4. Privodne lopaticice služe često i za to da se brzo fluidizira prah koji se mogao istaložiti u dovodima za vrijeme prekida rada. Ponekad se ta fluidizacija postiže i drukčije. Vanjski dijelovi sapnice najčešće su izrađeni od materijala na bazi politetrafluoretilena, jer je ovaj razmjerno malo sklon da se veže

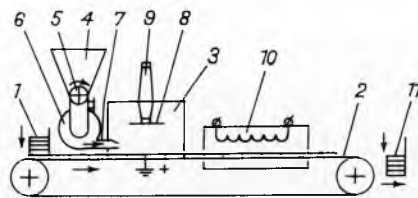
s materijalima kakvi se upotrebljavaju za elektrostatičko ličenje i oblaganje.

Veća postrojenja za elektrostatičko ličenje i oblaganje prahom danas su, izuzevši uređaje za fluidizaciju, sasvim analogna postrojenjima za elektrostatičko ličenje konvencionalnim naličima koja su već opisana.

**Elektrostatičko prevlačenje traka od papira, tkanine i dr.** nanošenjem praha u principu je slično elektrostatičkim postupcima ličenja i oblaganja prahom. Nanošenje jednoličnih prevlaka na takve trake zanimljivo je za tekstilnu industriju i industriju papira (npr. radi pripreme supstrata u operacijama elektrostatičkog nanošenja vlakana ili abraziva) ili za nanošenje glazura na keramičke materijale koji ulaze u proces u neprekidnoj struji. Ovi procesi obuhvaćaju pripremu materijala kojim se supstrat prevlači, suspendiranje tog materijala u zraku, električno nabijanje i taloženje na supstrat s pomoću jakih električnih polja.

Sve te operacije izvode se na sličan način kao i u već opisanim postupcima. Najčešće za to služi neka komora koja ima otvore samo za ulaz supstrata i za izlaz gotovog proizvoda. Za fluidizaciju praha, obično nekog ljepljiva, služe duhaljke koje istovremeno i razbijaju eventualno nastale krupnije agregate. Čestice praha, bombardirane ionima, električki se nabijaju. Traka od papira ili tkanine obično prolazi iznad uzemljene elektrode. To je po pravilu bubanj koji je istovremeno i dio transportnog uređaja za supstrat. Ako se radi o nanošenju ljepljivog u vodi, koji odmah nakon toga treba da posluži za učvršćivanje nekog drugog materijala na supstrat, kao što je to npr. u proizvodnji abrazivnih papira ili sličnih proizvoda, nanese se prah odmah nakon toga vlaži dok ne postane ljepljiv. Inače se pretvaranje nanesenog sloja praha u homogeni film čvrsto vezan uz supstrat može postići na neki drugi način, npr. nekom prikladnom toplinskom obradom (najčešće kalandriranjem) ili izlaganjem djelovanju para nekog otapala. Izlaženje praha iz komore kroz otvore za ulaz i izlaz supstrata može se lako spriječiti održavanjem unutrašnjosti komore pod slabim podtlakom.

**Elektroglaziranje i elektroemajliranje.** Jedan proces glaziranja keramičkih pločica sličan upravo opisanoj procesu prikazan je shemom na sl. 12. Isprešane se pločice iz spremnika 1 s pomoću uzemljenog transportera 2 uvode u komoru za elektrostatičko glaziranje 3, u koju se istovremeno ubrizgava raspršeni materijal



Sl. 12. Shema procesa elektrostatičkog emajliranja. 1 Spremište isprešanih pločica, 2 transporter za pločice, 3 komora za elektrostatičko emajliranje, 4 prihvatni lijevak za prah emajla, 5 dodavač, 6 ventilator, 7 sapnica ventilatora, 8 elektroda za bombardiranje ionima iz korone, 9 izolator za ulaz elektrode, 10 peć za fiksiranje emajla 11 uređaj za odvođenje proizvoda

glazure. Za to služi uređaj koji se sastoji od prihvatnog lijevka 4, dodavača 5, ventilatora 6 i sapnice 7. Čestice praha u zoni električnog polja između transportera i elektrode 8 obješene na izolatoru 9 poprimaju naboj polariteta suprotnog polaritetu naboja pločica, uslijed čega se talože na pločicama. Glazura se na pločice fiksira prikladnim termičkim postupkom u peći 10. Gotove pločice odvođe se transportnim uređajem 11.

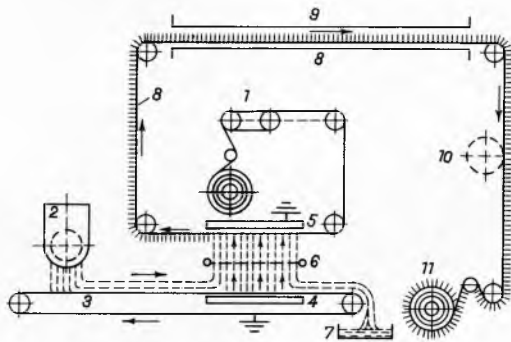
Osim već opisanih postupaka, za specifične slučajeve patentiran je velik broj drugih elektrostatičkih postupaka prevlačenja. Takvi procesi su npr. nanošenje prevlaka u unutrašnjosti kalupa ili cijevi, nanošenje ulja na limove itd. U svim tim postupcima primjenjuju se temeljni principi i tehnika koji su iznijeti u prethodnim izlaganjima.

**Elektrostatičko prevlačenje vlaknima i abrazivima.** Elektrostatičke operacije nanošenja vlakana na supstrate mnogo se

primjenjuju u tekstilnoj industriji za proizvodnju nadomjestaka za skupe dekorativne i tehničke materijale (imitacije krzna, dlakave tkanine itd.), a u industriji papira za proizvodnju imitacija baršuna namijenjenih dekorativnom pakovanju i uvezu knjiga. Osim toga elektrostatičko nanošenje vlakana na supstrate upotrebljava se i u proizvodnji materijala za zvučnu izolaciju, gumenih, drvenih i kartonskih igračka, itd.

Za elektrostatičke operacije nanošenja vlakna na prvom mjestu je važna priroda i kakvoća vlakna. Od prirodnih vlakana upotrebljava se prvenstveno vuna, i to najviše za proizvodnju materijala za zvučnu izolaciju. Pamuk se upotrebljava malo, jer daje neugledne dlakave površine. Najviše se upotrebljavaju umjetna vlakna na bazi viskose. Osim vlakana na supstrate se nanosi također prah od kože, pluta, drva, metala, tinjca itd. S vlaknima dužine 0,2...0,5 mm dobiva se površina slična semiš-koži, s vlaknima dužine 0,5...1,0 mm imitacije velura, a s vlaknima dužine 1,2...2,0 mm imitacije pliša ili baršuna. Kakvoća vlakna koje se nanosi s pomoću elektrostatičkih operacija ocjenjuje se na osnovi ujednačenosti njegove dužine, te na osnovi njegove vlažnosti i oblika. Tolerancije razlika dužine vlakna pri tome su razmjerno male ( $\pm 5\%$ ). Vlažnost vlakna mora biti normalna, tj. kretati se u granicama od 10 do 12%. Vlakno mora biti ravno. Povećana vlažnost i izvijenost vlakna izazivaju klupčanje i neravnomjernu raspodjelu po površini na koju se nanosi.

Tehnološki proces u sklopu kojeg se izvodi neka elektrostatička operacija nanošenja vlakna, osim samog nanošenja, obuhvaća pripremu supstrata i završnu obradu materijala na koji je već nanoseno vlakno. Shema takvog procesa prikazana je na sl. 13.



Sl. 13. Shema procesa nanošenja vlakana na trake od tekstila ili papira. 1 Uređaj za pripremu supstrata, 2 aparat za doziranje vlakana, 3 transporter s beskonačnom trakom, 4 i 5 uzemljene elektrode, 6 elektroda pod visokim naponom, 7 uređaj za povrat prelička vlakna, 8 transportni sustav za dovođenje i odvođenje supstrata, 9 uređaj za toplinsku obradu, 10 uređaj za čišćenje proizvoda, 11 uređaj za namatanje proizvoda

Priprema supstrata (u ovom slučaju trake od papira ili tkanine), odvija se pri tome u uređaju 1 (obično obuhvaća kotao s tekućim ljepljivom, uređaj s raklom za njegovo ravnomjerno nanošenje na površinu, transporter s beskonačnom trakom za nošenje i transport supstrata, te ostale transportne uređaje). Sastav ljepljiva ovisi o prirodi supstrata. Ljepilo mora općenito imati prikladnu ljepljivost, postojanost prema starenju, potrebna dielektrična svojstva i nakon sušenja ili termičke obrade stvarati dovoljno elastične filmove netopljive u vodi. Osim toga od ljepljiva se traži da njegova primjena u pogonu ne može izazvati požar ili eksploziju. Te uvjete zadovoljavaju disperzije i otopine termoplastâ i emulzije umjetnih smola u vodi (od polimera vinilnih spojeva, polivinil-alkohola, različitih sintetskih lateksa itd.).

Same operacije elektrostatičkog nanošenja vlakana provode se s pomoću uređaja čiji su glavni sastavni dijelovi aparat za doziranje vlakana (2), transporter s beskonačnom trakom (3), sustav uzemljenih elektroda (4 i 5) i elektrode pod visokim naponom (6), uređaj za rekuperaciju i povrat viška vlakana (7) i transportni sustav za dovođenje pripremljenog supstrata i njegovo odvođenje po nanošenju vlakna. Transporter 3 dovodi vlakna iz aparata 2 u zonu djelovanja sustava elektroda 4, 5 i 6, u kojoj se odvija elektrostatički proces u užem smislu. Taj počinje polarizacijom vlakana pod utjecajem električnog polja koje vlada između elektroda

4 i 6. Vlakna se ponderomotornim silama koje pri tome nastaju (v. sl. 14) uspravljaju u položaj paralelan sa silnicama električnog polja (okomit na ravninu supstrata), a zatim se počinju razmjerno sporo kretati prema elektrodi 6. Ova elektroda građena je od metalnog pletiva na sitnim oćicama, tako da vlakna prolazeći kroz nju dolaze u neposredni dodir s vodičem pod visokim naponom. Pri tome dolazi do influencijskog nabijanja vlakana, i to viškom naboja istog polariteta koji ima i elektroda 6. Pod utjecajem nove sile koja nastaje djelovanjem tog viška naboja i električnog polja između visokonaponske elektrode 6 i uzemljene elektrode 5 (v. jednadžbu 3), brzina se vlakana povećava toliko da se ona pri sudaru sa slojem ljepljiva na supstratu u nj čvrsto usade.

Nastali sustav sastavljen od supstrata, ljepljiva i vlakna podvrgava se toplinskoj obradi u uređaju 9, pri čemu ljepljivo očvršćava dajući film traženih svojstava; nakon toga slijedi čišćenje od viška vlakana uređajem 10 i namatanje gotovog proizvoda na kalem 11.

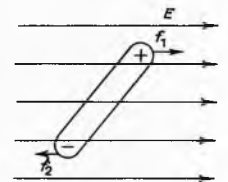
Postoje brojne varijacije ovih postupaka. Među njima u postupci u kojima se vlakna u električnom polju kreću odozgo dolje, a ima ih i prilagođenih dobivanju specijalnih proizvoda kao što su, npr., dlakave niti.

U principu nema razlike između operacija proizvodnje dlakavih materijala i proizvodnje *abrazivnih papira* elektrostatičkim putem. Iako su razlike u obliku čestica koje se talože na supstrat velike, u oba se slučaja orijentacijom polariziranih čestica u električnim poljima postiže njihovo usađivanje u slojeve ljepljiva u uspravljenom položaju. Ovaj položaj čestica abraziva presudan je činilac kakvoće gotovih proizvoda. Zbog toga se abrazivni papiri proizvedeni drugim postupcima ne mogu kvalitetom takmičiti s onima koji su proizvedeni primjenom elektrostatičkih operacija.

**Elektrostatičko pređenje.** Glavni nedostaci mehaničke obrade prirodnih vlakana, posebno pamuka — kao glomaznost opreme i velike potrebne radne površine — mogu se u velikoj mjeri eliminirati primjenom brzih i izravnih postupaka koji se zasnivaju na već spomenutoj orijentaciji i kretanju vlakana u električnom polju. Kako se vidi iz sl. 14, ponderomotorne sile  $f_1$  i  $f_2$ , koje izazivaju te učinke, bit će samo onda jednake (i zbog toga vlakno će samo onda biti položeno u liniju tehnološke obrade) ako je električno polje jednolično (u smjeru okomitom na smjer kretanja vlakna) i ako mu jakost raste samo u smjeru kretanja. Zbog toga je potrebno da električno polje za tu primjenu ima te karakteristike. Transport vlakana pod utjecajem elektrostatičkih sila moguć je također dodatnim nabijanjem s pomoću elektroda za bombardiranje ionima iz korene u radnoj zoni postrojenja ili s pomoću radioaktivnog zračenja. Da bi se sve to moglo izvesti, materijal koji se obrađuje ne smije sadržati sklupčana vlakna, nego vlakna moraju biti dovoljno odvojena jedna od drugih. Za to treba sirovinu prethodno mehanički raščesljavati.

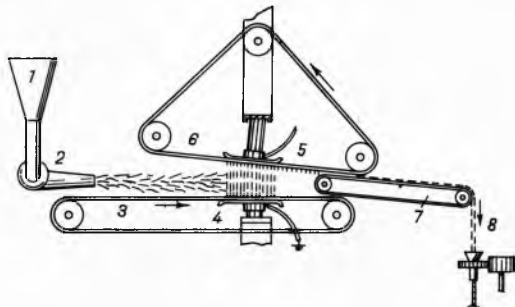
Jedan od mogućih principa izvođenja ovih postupaka, koji je već pred više od 20 godina razrađen u USA za preradu pamuka, prikazan je shemom na sl. 15. Raščesljani pamuk, čija se zaliha nalazi u prihvatnom lijevku 1, dodaje se u radnu zonu postrojenja s pomoću ventilatora 2. Ovakvom načinu davanja materijala svrha je još i potpuno odvajanje pojedinih vlakana jednih od drugih. Razdvojena vlakna padaju na traku transportera 3 izrađenu od nevodljivog materijala i zatim dospijevaju u električno polje između elektroda 4 i 5, od kojih je prva uzemljena a druga pod naponom. U toj zoni vrše se spomenuti elektrostatički procesi. Njihov konačni rezultat je oblaganje površine trake transportera 6 slojem vlakana orijentiranih okomito na ravninu te trake. Gustoća tog sloja podesiva je s pomoću varijatora odnosa brzina transportera 3 i 6. Pri tome se veće gustoće postiže kada je brzina transportera 6 manja od brzine transportera 3, i obrnuto. Orijentirana vlakna s transportera 6 slažu se zatim u paralelnom položaju na traku transportera 7 izrađenu od vodljivog materijala, pri čemu se izbijaju. Ovaj transporter odvodi ih zatim u lijevak uređaja za sukanje 8, gdje se konačno upreda nit ili vrpca.

Isključenjem mnogih operacija klasičnih postupaka mehaničkog pređenja vlakna (kao trljanja i, osim raščesljavanja mase,



Sl. 14. Shema orijentacije vlakna pamuka u električnom polju.  $E$  električno polje,  $f_1$  i  $f_2$  ponderomotorne sile

češljanja) elektrostatičke varijante ovih procesa omogućavaju smanjivanje radnih površina na 2/5 i povećavanje proizvodnosti rada na trostruko u odnosu prema klasičnim postupcima. Osim



Sl. 15. Shema procesa elektrostatičkog pređenja. 1 Prihvatni lijevak, 2 ventilator, 3 transporter za vlakno (od nevodljivog materijala), 4 i 5 elektrode, 6 transporter za orijentirano vlakno (od nevodljivog materijala), 7 transporter za odvođenje složenog vlakna (od vodljivog materijala), 8 uređaj za sukanje

toga, kako je broj mehaničkih operacija u elektrostatičkim postupcima pređenja manji, vlakno bolje sačuva svoju početnu dužinu i čvrstoću, što se odražuje u znatno višoj kakvoći proizvoda u usporedbi s proizvodima klasičnih postupaka pređenja. Zbog svega toga razvoju elektrostatičkih postupaka pređenja poklanja se danas velika pažnja.

**Elektrostatička fotografija.** Primjena poluvodiča, koji se u postupcima elektrostatičke fotografije upotrebljavaju kao fotosenzibilni slojevi, povezana je također s korišćenjem elektrostatičkih sila. Aktivne tvari u takvim fotosenzibilnim slojevima jesu amorfnii selen ili cink-oksidi. Selenski fotografski materijali potrebni za tu svrhu najčešće su metalne ploče na koje je u vakuumu naparen poluvodič. Fotografski materijali na bazi cink-oksida obično su papiri na koje je poluvodič nanesen u obliku premaza. (v. Elektrofotografski postupci u čl. *Fotografija*.)

Kad se kao elektrofotografski materijal upotrebljava selen, govori se o *Xerox-postupku*; kad se upotrebljava cink-oksidi, o *Elektrofax-postupku*.

Pojedine operacije elektrostatičkih postupaka fotografiranja jesu nabijanje fotosenzibilnog sloja i eksponiranje, razvijanje i fiksiranje slike. Nabijanje fotosenzibilnih slojeva obavlja se bombardiranjem ionima iz korone.

Pri *eksponiranju* nabijenih fotografskih materijala na bazi poluvodiča nastaje latentna (skrivena, nevidljiva) slika. Proces njenog nastajanja zasniva se na činjenici da se u poluvodičima pod utjecajem svjetla električni naboj pregrupira. Taj fotoelektrični učinak uzrokuju pojave polarizacije i depolarizacije u unutrašnjosti vodiča. Za elektrostatičko fotografiranje pri tome je važno da latentna slika razmjerno sporo nastaje a dosta se sporo i gubi. Zbog toga fotoelektrični materijali koji se upotrebljavaju u većini fotografskih postupaka su malo foto-osjetljivi i neko vrijeme »pamte« sliku.

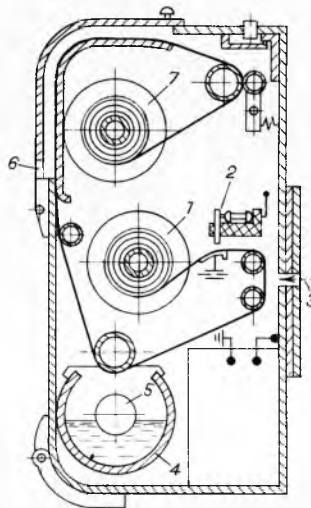
Kako su osjetljivost halogenida srebra prema svjetlu i trajnost nerazvite latentne slike u konvencionalnoj fotografiji kudikamo veće od osjetljivosti poluvodiča i trajnosti latentne slike u njima, konvencionalna fotografija u većini svojih primjena nije uopće ugrožena elektro-fotografijom. Ova je našla najveću primjenu za umnožavanje tekstova u kancelarijama, u grafičkoj industriji i drugdje (v. dalje) gdje su dovoljne i razmjerno male osjetljivosti fotomaterijala i mala trajnost latentne slike.

Osim navedenog postupka elektrostatičkog fotografiranja uz pomoć fotoelektričnog materijala niskog fotosenzibiliteta, postoje i postupci s fotoelektričnim materijalom kojemu je fotosenzibilitet velik. U tim postupcima upotrebljavaju se dvoslojni fotografski materijali u kojima je sloj fotoelektričnog poluvodiča u dodiru s dielektrikom koji ima manji »tamni« električni otpor i svojstvo postojanog (također »tamnog«) polarizabiliteta. Takav sustav nalazi se u nekom kondenzatoru čijim se pločama privodi naboj, a jedna je od njih poluprozirna. Pri eksponiranju je naboj koji na neosvijetljenim mjestima dospijeva u dielektrik blizak nuli; na osvijetljenim mjestima, međutim, njegov veći dio, nastao pregrupiranjem naboja u poluvodiču, prelazi u dielektrik, polarizira ga na tim mjestima i na taj način stvara latentnu sliku. Nakon eksponiranja odvaja se dielektrik od poluvodiča i dalje se obrađuje kao materijal s dugim pamćenjem.

Postoji više postupaka za *razvijanje latentne slike*. U tzv. kasnodnom postupku sredstvo za razvijanje skrivene slike jest prah bojila pomiješan s krupnijim česticama nosioca (npr. staklenim kuglicama) koje ga nabijaju. Pri posipanju latentne slike razvijanjem, čestice praha vežu se na dijelove fotosenzibilnog sloja koji su zadržali naboj. Kao nosilac boje upotrebljava se i željezni prah. Tada se čestice razvijaa privlače magnetnim silama koje se stvaraju magnetnim kistom trljajući njime površinu sloja. Razvijaač se može upotrijebiti i u obliku aerosola ili disperzije u nepolarnim ugljikovodicima. Pri *kopiranju razvijene slike*, papir koji je u dodiru s elektrofotografskim slojem nabije se s polaritetom suprotnim polaritetu naboja praha razvijaača; prah prelazi s fotoelektričnog sloja na papir dajući na njemu sliku koja se fiksira nataljivanjem praška ili njegovim djelomičnim otapanjem parama otapala. Ostaci praha uklanjaju se sa fotosenzibilnog sloja te se on poslije toga može ponovo upotrijebiti. Pri upotrebi slojeva s cink-oksidiom slika se izravno fiksira u sloju u kojem je nastala.

Jednostavnost, efikasnost i odsutnost »mokrih« procesa čine elektrostatičko fotografiranje prikladnim za primjenu u mnogim granama tehnike. Reprodukcijski elektrostatički fotografski uređaji za dobivanje pojedinačnih kopija upotrebljavaju se, npr., za izradu ofsetnih formi u štampi. U umnožavanju tehničke dokumentacije se upotrebljavaju se elektrostatički fotografski aparati s neprekidno rotirajućim selenovim bubnjem (v. dalje). Tim postupkom postiže se niz prednosti u usporedbi s procesima u aparatima za

kopiranje pod utjecajem svjetla (bolja kakvoća kopija i isključenje potrebe fotosenzibilnih papira). Analogni aparati upotrebljavaju se za registriranje izlaznih podataka električnih računskih strojeva, jer im je proizvodnost do 10 puta veća od proizvodnosti odgovarajućih elektromehaničkih uređaja. U oscilografima se pri tome upotrebljavaju slojevi s cink-oksidiom. Djelovanje jednog elektrostatičkog fotografskog uređaja oscilografa prikazano je shemom na sl. 16. Traka s fotografskim slojem od poluvodiča odmatava se s valjka 1 i nabija koronom iz elektrode 2. Svjetlo iz oscilografa 3 stvara skrivenu sliku koja se razvija u koritu 4 raspršavanjem razvijaača s pomoću valjka 5. Po izlasku iz uređaja za razvijanje, slika se brzo osuši i može se promatrati kroz okno 6. Traka s gotovim slikama namotava se na valjak 7. Glavna odlika ovog uređaja jest da je vrijeme potrebno za dobivanje



Sl. 16. Shema procesora elektrostatičkih fotografskih uređaja oscilatora. 1 Valjak za odmatanje fotografske trake, 2 elektroda za nabijanje bombardiranjem ionima iz korone, 3 ulaz svjetla iz oscilografa, 4 korito s razvijaačem, 5 valjak za raspršavanje razvijaača, 6 okno za promatranje podataka, 7 valjak za namatanje

podataka o toku procesa vrlo kratko. Elektrostatičko fotografiranje s fotografskim materijalima na bazi selena primjenjuje se i u rendgenografiji. U usporedbi s klasičnim rendgenskim snimkama, slike dobivene ovim putem odlikuju se boljim kontrastima i većom osjetljivošću prema radijaciji. Bolja kakvoća snimaka, veća osjetljivost i stabilnost procesa općenite su prednosti elektrostatičkih fotografskih postupaka.

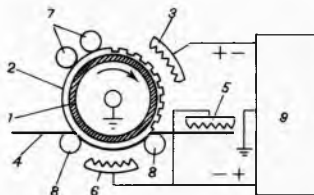
**Elektrostatičko tiskanje (štampanje).** Primjena sila električnih polja u tiskarskim postupcima jedan je od putova za uspješno rješavanje onih problema klasične štampe koje izaziva primjena pritiska neophodnog za prijelaz boje s formâ na papir. Naime, eliminacijom pritiska iz tiskarskih postupaka (mogućom, među ostalim, i na ovaj način) smanjuje se habanje formâ i time povećava tiraž, smanjuju se dimenzije tiskarskih strojeva i količinaelektrične energije što je oni troše.

Postoji niz patentiranih postupaka elektrostatičkog tiskanja i postupaka u kojima se uz elektrostatičke pojave upotrebljavaju i druge električne pojave (npr. elektroforeza). Jedan od najjedno-

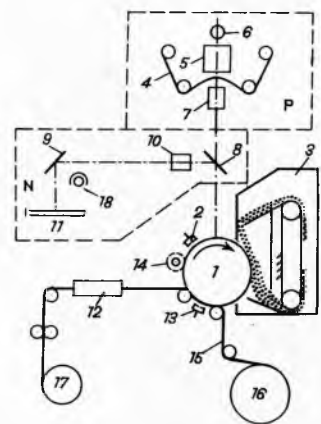


stavnijih i dosta perspektivnih postupaka manje ili više «čistog» elektrostatickog tiskanja (koji se ubraja među tzv. kontaktnepostupke) prikazan je shemom na sl. 17. Pri tome se sloj boje nanosen na tiskarsku formu 2 na uzemljenom valjku 1 nabija bombardiranjem ionima iz korone 3, a papir 4 na jednaki način suprotnim nabojem s pomoću elektrode 5. Kada forma dođe u dodir

Sl. 17. Shema procesa elektrostatickog tiskanja kontaktnim postupkom. 1 Uzemljeni valjak za tiskovnu formu, 2 tiskovna forma, 3 elektroda za nabijanje boje bombardiranjem ionima iz korone, 4 papirna traka, 5 elektroda za nabijanje papira bombardiranjem, 6 stvaranje električnog polja između forme i papira, 7 kotrlja tiskovnog valjka, 8 valjci sustava za transport papira, 9 generator visokog napona



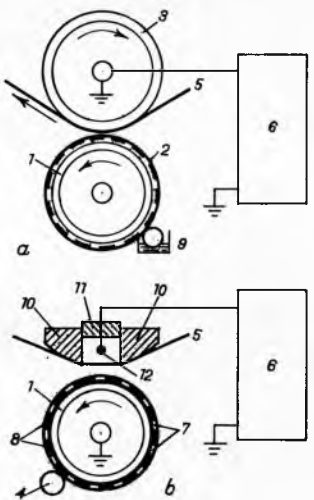
s papirom, počinje kretanje nabijenih čestica boje pod utjecajem električnog polja koje vlada između valjka 1 i elektrode 6 (djelovanje ovog električnog polja pojačava naboj papira). Valjci 7 služe kao kotrlje tiskarskog valjka, a valjci 8 su dijelovi transportnog sustava za papir. Za nabijanje čestica boje i papira i za stvaranje električnog polja u zoni tiskanja služi izvor visokog napona 9. Njegov polaritet može se birati prema relativnom smjeru kretanja čestica boje u odnosu prema smjeru električnog polja.



Sl. 18. Shema procesa elektrostatickog tiskanja kontaktnim postupkom s formom od poluvodiča. P uređaj za projekciju prozirnih originala, 1 tiskarski bubanj sa slojem selena, 2 sustav paralelnih vodiča za nabijanje bombardiranjem ionima iz korone, 3 komora za razvijanje slike kaskadnim postupkom, 4 slika s fotografske ploče, 5 kondenzor, 6 žarulja projektor, 7 i 10 objektiv, 8 i 9 zrcala, 11 stol za reprodukciju neprozirnih originala, 12 komora za fiksiranje slike, 13 elektroda za stvaranje električnog polja za prijenos slike kontaktom, 14 četka za skidanje ostataka praha razvijача s bubnja, 15 papirna traka, 16 valjak za odmatanje papirne trake, 17 valjak za namatanje gotovih otisaka, 18 žarulja za osvjetljavanje neprozirnih originala

skog postupka (v. naprijed): snimanja latentne slike i njenog razvijanja bojom (u obliku aerosola, disperzije i sl.), njenog prenošenja kontaktnim postupkom na papir nabijen suprotnim nabojem i konačno fiksiranja (sl. 18).

Jedan od principa beskontaktno elektrostaticke duboke štampe prikazan je na sl. 19. Osnovna karakteristika tih procesa jest što površina papira ne dodiruje formu pa nema uopće pritiska. Pri tome se papir nategnut na tiskarski valjak pod naponom nabija influencijski (sl. 19 a) ili bombardiranjem ionima (sl. 19 b). U oba ta postupka tiskanja boja se prenosi na papir pod utjecajem ponderomotornih sila električnog polja.



Sl. 19. Shema procesa elektrostatickog tiskanja beskontaktnim postupkom s klasičnom formom. a Postupak s influencijskim nabijanjem, b postupak s nabijanjem bombardiranjem ionima iz korone; 1 valjak za tiskovnu formu, 2 tiskovna forma, 3 tiskarski valjak, 4 valjak za nanošenje boje na tiskovnu formu, 5 papir, 6 generator visokog napona, 7 slobodne površine forme (od dielektrika), 8 tiskovne površine forme (od vodiča), 9 aparat za nanošenje boje, 10 izolatori, 11 izolator elektrode, 12 elektroda

**Perspektiva razvoja elektrostatickih operacija.** Kako je očito iz iznesenog prikaza elektrostatickih operacija, njihove prednosti u usporedbi s odgovarajućim klasičnim operacijama dosta su velike. Na prvom mjestu one omogućavaju da se kontrolira kretanje materijala prevlaka koje se nanose na supstrat. To se odražava u povećanju proizvodnosti procesa i kakvoće proizvoda; postiže se ubrzanje procesa taloženja, ostvaruje se bolja veza prevlaka sa supstratom, dobivaju se ravnomjernije prevlake, osobito kad se radi o supstratima sa složenom površinom, šteti se materijal, pojednostavnjuje oprema i u nekim slučajevima ostvaruje mogućnost automatizacije procesa.

Dalja prednost elektrostatickih operacija, koja ih čini nezamjenjivim u nekim postupcima, jest orijentacija materijala prevlaka koje se sastoje od čestica dugoljastog oblika. Osim toga međusobno odbijanje nabijenih čestica omogućava regulaciju količine materijala koji treba nanijeti na supstrat.

Eliminacija otapala iz mnogih procesa ličenja i privremenih veziva iz procesa emaljiranja također su velike prednosti primjene elektrostatickih operacija. Time se mogu postići ne samo razmjerno velike uštede već i pojednostavnjenje postupaka i povećanje sigurnosti pogona. U elektrostatickim operacijama prevlačenja ne primjenjuju se otapala; time se proširuje izbor materijala za prevlake i na tvari koje nisu dovoljno topljive da bi se mogle upotrijebiti u obliku konvencionalnih naliča, ili toplinski dovoljno postojane da bi se mogle fiksirati staljivanjem.

Još jedna odlika elektrostatickih operacija, koja ih također može učiniti nezamjenjivim u stanovitim slučajevima, jest okolnost da u njihovoj primjeni nema dodira alata s površinom supstrata. To omogućava njihovu primjenu u slučajevima gdje bi se inače (primjenom nekog klasičnog postupka prevlačenja) uništio alat (npr. pri obradi vrućih površina) ili supstrat (npr. kad se radi o ljepljivim ili inače osjetljivim površinama).

Zbog svih tih prednosti perspektiva razvoja elektrostatickih operacija prilično je široka. Pri tome ipak ne treba ispustiti iz vida i stašovitosti ograničenja. Prvi uvjet za primjenu tih operacija jest zahtjev da supstrat ima određenu vodljivost. To je posebno slučaj kad se primjenjuju postupci nabijanja materijala prevlaka ionima, jer gomilanje naboja na supstratu, do kojega tada dolazi uslijed ograničene njegove vodljivosti, ograničava količinu nanesenog materijala i na druge načine djeluje na svojstva prevlake koja se želi proizvesti. K tome, neophodno uklanjanje naboja privedenog proizvodu tokom procesa zahtijeva prikladnu obradu njegove površine, ili povremenu neutralizaciju (navodi se da se za tu svrhu sa stanovitim uspjehom primjenjuje povremeno obrtanje polariteta). Najbitnije je za uspješnu primjenu elektrostatickih operacija da odnos količina materijala koji se nanosi na supstrat prema količini upotrijebljenog naboja bude velik. Osim toga, za to je neophodno da materijali prevlaka budu meljivi, ili na neki drugi način raspoloživi u obliku prahe. U mnogim slučajevima mljevenje materijala prevlaka može biti vrlo skupa operacija; ona stoga znatno ograničava njihov izbor. Izbor materijala pogodnih za primjenu kao i pigmenti u postupku suhog elektrostatickog ličenja i oblaganja bio je donedavna razmjerno ograničen, ali se on u novije vrijeme brzo proširuje.

Ž. Viličić

LIT.: E. L. Немировский, Новые способы печати, Москва 1956. — В. Г. Деркач, П. А. Копычев, Специальные методы обогащения полезных ископаемых, Москва 1956. — А. Д. Бочков, Окрашивание деталей в электрическом поле, Москва 1958. — А. Ф. Лагов, Нанесение воска на текстильные и другие материалы в электрическом поле, Москва 1959. — В. М. Фридкин, И. С. Желудев, Фотоэлектреты и электрофотографический процесс, Москва 1960. — И. И. Жилев, Е. Л. Немировский, Электрофотография, Москва 1961. — О. С. Ralston, Electrostatic separation of mixed granular solids, Amsterdam 1961. — F. Fraas, Electrostatic separation of granular materials, Washington 1962. — О. C. Klein, Bibliography on Electrofax, E. St. Louis, Ill. 1964. — O. Helwich, Reprographie, Darmstadt 1964. — J. H. Dessauer, H. E. Clark, eds., Xerography and related processes, London 1965. — R. M. Schaffert, Electrophotography, New York 1965. — J. Weiner, L. Roth, Electrostatic printing, Appleton, Wisc. 1965. — В. П. Радовичский, Электроворсование; А. И. Бут, Электроглазувание; Н. А. Воскресенский, Электрокопчение; В. И. Поклов, Электрононная технология; В. И. Ревницев, Электрообогащение; Ю. Д. Горюнов, Электроокрашивание; И. И. Балоз, Электропечать; В. П. Радовичский, Электропрядение; Н. Ф. Олофинский, И. Н. Плехин, Электроспаарация; И. В. Андрилов, Электрофотография; все в дјелу: А. И. Берг, В. А. Трапезников (гл. ред.), Энциклопедия современной техники, Автоматизация производства и промышленная электроника, т. 4, Москва 1965. — W. R. Hawken, Copying methods manual, Chicago 1966. — H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Band II: Sortierverfahren, Leipzig 1967. — Н. Ф. Олофинский, Электрические методы обогащения, Москва 1970. — А. И. Ангелов, Ю. Н. Набулин, Электроstaticкие сепараторы свободного падения, Москва 1970. R. Podhorsky Ž. Viličić