

## PŘÍSPĚVEK KE STUDIU NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÝCH SKLOVITÝCH SMALTŮ V ELEKTRICKÉM POLI VYSOKÉHO NAPĚTÍ

MIROSLAV MOHYLA

*Vysoká škola báňská, Fakulta strojní a elektrotechnická, tř. Vítězného února 1/1770,  
708 33 Ostrava-Poruba*

Došlo 10. 11. 1983

*Nabíjení práškových smaltů je umožněno hydrofobizací jejich částic deriváty silanů, čímž se zvýší měrný elektrický odpor na hodnotu  $> 10^{11} \Omega m$  a zlepši se fluidní vlastnosti prášku. Poznání teoretických podmínek nabíjení, transportu a ukládání částic smaltu v elektrickém poli umožňuje stanovit technologické parametry pro integrované výrobní linky. Iontového nabíjení se využívá při nanášení smaltového prášku na ploché výrobky, elektrokinetické nabíjení umožňuje nanášet částice smaltu na tvarově složité předměty.*

### ÚVOD

Využití příznivých vlastností povlaků ze sklovitých smaltů nachází stále širší uplatnění v různých průmyslových odvětvích, zejména tam, kde se požaduje zvýšená odolnost proti chemikáliím, abrazi a teplotám. Formulace takových povlaků a technologické metody jejich vytváření si vyžadují nové přístupy, které byly v poslední době teoreticky i experimentálně zpracovány [1, 2, 3]. Rozšíření využití sklovitých smaltů dosud mimo jiné bránila značná technologická a energetická náročnost jejich aplikace. Řešení bylo nalezeno v aplikaci nových technologických metod spočívajících ve využití elektrických sil při nanášení, umožňujících značně snížit spotřebu energie a dokonale využít materiál.

Chci stručně poukázat na některé základní teoretické předpoklady využití metody nanášení suchých smaltových prášků v elektrickém poli vysokého napětí (metoda ESTAP), a to v souvislosti s experimentálními výsledky na výzkumné poloprovodní lince.

### NABÍJENÍ ČÁSTIC SKLOVITÝCH SMALTŮ

Práškové částice můžeme nabíjet v zásadě třením (elektrokineticky), nebo ionty v koronové oblasti nabíjecí elektrody.

Při elektrokinetickém nabíjení získají částice smaltu elektrický náboj tzv. kontaktním mechanismem (triboeffekt). Z hlediska probíhajících fyzikálních dějů na styku dvou těles se při jejich vzájemném pohybu vytváří elektrická dvojvrstva. Celý proces je podmíněn elektronovou vodivostí obou látek. Nejčastějším případem pro využití kontaktních jevů pro vznik elektrických nábojů je styk dielektrikum—dielektrikum (upravený smaltový prášek — transportní potrubí nabíjecí pistole). V pevných izolantech je málo volných elektronů. V případě, že tyto elektrony vlivem např. venkovního působení opustí energetickou hladinu, výstupní práce narůstá, vnitřní část dielektrika se nabíjí kladně, venkovní záporně. Uvedený proces bude pokračovat potud, pokud se výstupní práce nevyrovnají, tj. pokud Fermiho energetické hladiny dotýkajících se materiálů nesplynou. Porušením

symetrie se na hraničních plochách vytváří tzv. poruchové energetické hladiny (Tammovy hladiny). Vlastnosti dielektrika je pak možno charakterizovat na styku jako polovodiče [4].

Dielektrikum, které má nižší hodnotu výstupní práce, předává elektrony druhému dielektriku a nabíjí se kladně. Polarita nábojů tedy záleží na rozložení energetických hladin elektronů v dané látce. Různí autoři [5, 6, 7] sestavili elektrizační řadu látek. Každá látka uvedená v této řadě se nabíjí kladně při styku s látkou uvedenou v řadě jako následující.

Částice prášku při pohybu v nabíjecí trubici pistole dopadá na její stěnu a při jejím oddělení od povrchu trubice vzniká kondenzátor s elektrickým nábojem, jehož velikost vyplývá z rovnice:

$$(ne) = CU_k. \quad (1)$$

V rovnici (1) značí

$(ne)$  — elektrický náboj částice [C],

$C$  — kapacita [F],

$U_k$  — rozdíl potenciálů mezi místy styku částice [V].

Kontaktní nabíjení ovlivňuje řada faktorů, mezi nimi je např. tření, jímž se zvyšuje velikost elektrického náboje, která je omezena pouze elektrickou pevností vzduchu  $3 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ . Z dalších faktorů je možno uvést rychlost proudění prášku, kdy se zvětšující se rychlostí roste elektrický náboj prášku podle parabolické závislosti až do určitého maxima, který podle Belyje [8] za optimálních podmínek může dosáhnout elektrostatického potenciálu 250 kV. Byla také zjištěna přímá závislost měrného náboje prášku na Reynoldsově čísle, které charakterizuje stupeň turbulence vzduchu, a tím i počet nárazů na stěnu trubice.

Pro schopnost elektrokinetického nabíjení smaltového prášku je rozhodující jeho měrný elektrický odpor, který má být vyšší než  $10^{12} \Omega\text{m}$ . Předností elektrokinetického nabíjení je vedle vypuštění zdroje vysokého napětí umožnění nanášení tvarově komplikovaných výrobků včetně dutin. Nedostatkem je větší závislost na fyzikálních vlastnostech smaltového prášku a poněkud nižší plošný výkon nanášecí pistole.

Nabíjení smaltového prášku ionty probíhá v koronovém výboji, kde je k dispozici vysoká koncentrace volných iontů. Ionty jsou na částice smaltu přiváděny tzv. bombardováním, nebo na menší částice také difúzí. Koronový proces je např. popsán Lowem [9], Mohrem [10] a vyznačuje se relativně malou proudovou hustotou.

Velikost elektrického náboje částice lze určit z Pauthenierovy rovnice:

$$Q_m = 3\pi\epsilon_0 \frac{\epsilon_2}{\epsilon_2 + 2} E \cdot d^2, \quad (2)$$

kde značí

$Q_m$  — mezní elektrický náboj [C],

$\epsilon_0$  — permitivita vakua [ $\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ ],

$\epsilon_2$  — poměrná permitivita částice [1],

$E$  — intenzita elektrického pole [ $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ],

$d$  — průměr částice [m].

Skutečný náboj částice bude

$$Q = Q_m \frac{t}{t + \tau}, \quad (3)$$

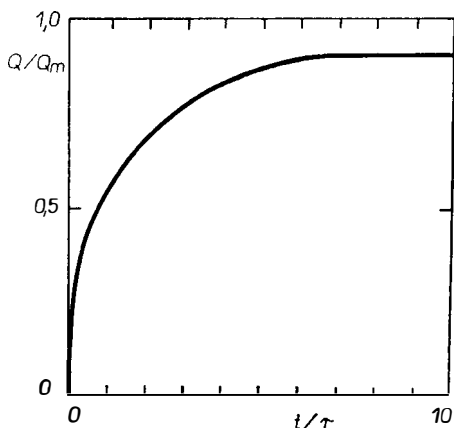
a časová konstanta nabíjení:

$$\tau = \frac{4\varepsilon_0}{b\rho_i}, \quad (4)$$

kde značí

- $t$  — doba nabíjení [s],
- $b$  — pohyblivost iontů [ $\text{m}^2 \cdot \text{Vs}^{-1}$ ],
- $\rho_i$  — hustota proudového náboje iontů [ $\text{C} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

S růstem času  $t$  roste náboj částice zpočátku rychle a pak pomaleji, konečně dosáhne hodnoty mezního náboje  $Q_m$  (obr. 1).



Obr. 1. Časový průběh nabíjení práškových částic.

Ve skutečnosti je charakteristika průběhu nabíjení částic značně složitá, neboť elektrické pole je v koronové a transportní oblasti značně nehomogenní, mezi částicemi působí vzájemné síly, částice jsou v elektrickém poli polarizovány, vzniká gradient koncentrace iontů v okolí částic, působí difúze iontů.

#### POHYB A UKLÁDÁNÍ NABITÝCH ČÁSTIC

Schematicky je znázorněno působení sil na pohybující se částici v homogenním elektrickém poli na obr. 2.

Síla  $F_e$  je reprezentována silou Coulombovou jako hlavní a rozhodující elektrickou silou působící na částici. Její velikost je určena součinem z elektrického náboje a intenzity elektrického pole:

$$F_e = QE. \quad (5)$$

Podávací síla  $F_p$  je vyvolána tlakem vzduchu při pohybu částic z podávacího zařízení do pistole.

Čelní odpor vzduchu  $F_v$  lze vypočítat s použitím Newtonovy rovnice a pro Stokesovský pohyb lze napsat rovnici

$$F_v = 3\pi d\eta \frac{dx}{dt} = K_0 \frac{dx}{dt}. \quad (6)$$

Tíhová síla  $F_s$  má svůj původ v rozdfu mezi měrnou hmotností částice a prostředí.

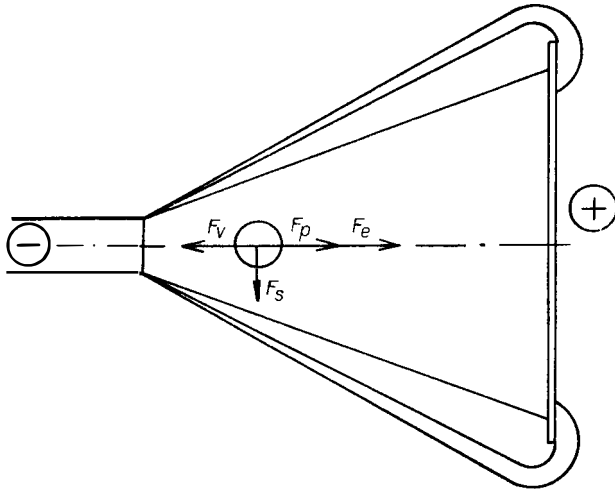
Vyřešení pohybových rovnic částic prášku je poměrně náročné, při určitém zjednodušení lze okamžitým hodnotám pohybu částice připsat rovnici

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K_0}{m} \frac{dx}{dt} - \frac{QK_e}{mx} = 0. \quad (7)$$

V rovnici (7) značí

$K_0$  — koeficient závislý na průměru částice  $d$  a na dynamické viskozitě prostředí  $\eta$ ,  
 $m$  — hmota částice,

$K_e$  — koeficient závislý na napětí a konfiguraci elektrod.

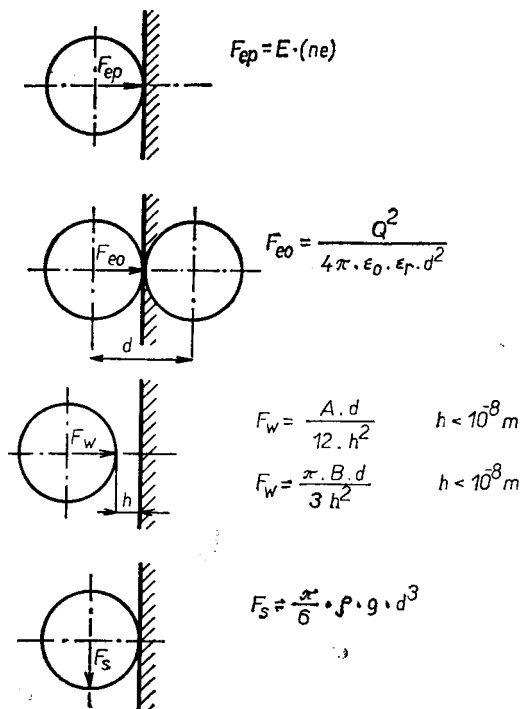


Obr. 2. Působení vnějších sil na částici pohybující se v elektrickém poli.

Řešení diferenciální rovnice (7) můžeme provést např. linearizací hyperboly, kdy její jednotlivé úseky nahradíme přímkami.

Mechanismus ukládání částic a tvorba smaltového nánosu vyplývá ze schematického znázornění na obr. 3. Na nabitou částici prášku, která je dopravena na nanášený předmět, působí síla  $F_{ep}$ , obrazné síly  $F_{eo}$ , Van der Waalsovy síly  $F_w$  a tíhová síla  $F_s$ .

Síla elektrického pole  $F_{ep}$  způsobuje transport částic k uzemněnému předmětu a působí bezprostředně na povrch předmětu až do doby, kdy nastane vlivem jiných nabitých částic v sousedství silná změna vlastního pole. Obrazná síla  $F_{eo}$  je Coulombova přitažlivá síla mezi nábojem částice a nábojem indukovaným na povrchu výrobku. Kromě elektrických sil působí také tzv. Van der Waalsovy přitažlivé síly. Tyto se uplatňují zejména při malých vzdálenostech, tj. při malých částicích.



Obr. 3. Schéma rozložení sil působících na práškovou částici při ukládání.

Nabitá částice dopravená na předmět ztratí časem elektrický náboj. Zde hraje rozhodující úlohu elektrická vodivost práškového materiálu. Rychlost odvedení náboje vyplývá ze vztahu

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \quad (8)$$

V rovnici (8) značí

- $Q_0$  — počáteční elektrický náboj částice [C],
- $Q$  — elektrický náboj částice po čase  $t$  [C],
- $R$  — elektrický odpor obvodu [ $\Omega$ ],
- $C$  — efektivní kapacita [F].

Zatím co dosavadní úvahy vycházely z působení sil a z adhezního chování jedné částice, je možné uvažovat pro výpočet adhezních sil vrstvu jako homogenní prostředí s relativní dielektrickou konstantou a hustotou prostorového náboje.

K určení hustoty prostorového náboje měřil Vala [11] intenzitu pole, resp. potenciál povrchu vrstvy prášku. Hustota prostorového náboje byla počítána podle Baucha [12]:

$$\rho_x = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 h}{x} \frac{\Delta E(x)}{\Delta x}, \quad (9)$$

- $\rho_x$  — hustota prostorového náboje [ $C \cdot m^{-3}$ ],
- $h$  — vzdálenost měřicí sondy [m],
- $x$  — tloušťka vrstvy [m].

Maximální hustoty prostorového náboje se pohybují podle Valy [11] v rozmezí  $6,5 \cdot 10^{-1} - 9 \cdot 10^{-3} \text{ C} \cdot \text{m}^{-3}$ . Vypočtené hodnoty však vycházejí několikanásobně nižší. Z toho vyplývá, že adheze prášku je způsobena ještě jinými neelektrickými silami, které při stěsnání elektrickou silou nabývají značných hodnot a vysvětlují také adhezi práškové vrstvy i po jejím vybití.

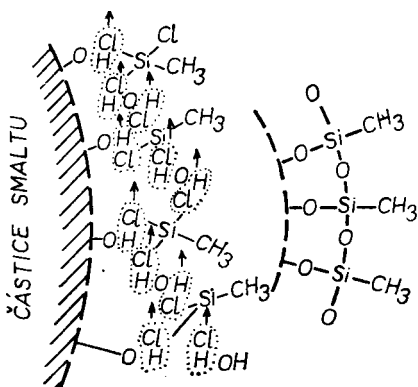
#### ÚPRAVA PRÁŠKŮ SKLOVITÝCH SMALTŮ PRO NANÁŠENÍ V ELEKTRICKÉM POLI

Využití technologické metody nanášení v elektrickém poli VN činilo u smaltů zpočátku značné problémy, protože neupravený sklovitý smalt se špatně nabíjí a rychle ztrácí svůj elektrický náboj následkem poměrně vysoké elektrické vodivosti, která je ještě nepříznivě ovlivňována absorpční schopností částic přijímat vlhkost. Rovněž fluidní vlastnosti smaltového prášku byly nevyhovující.

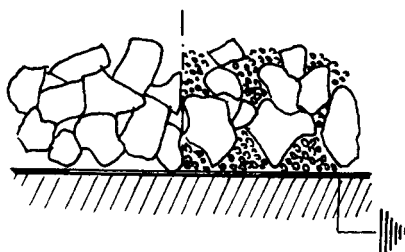
Smaltový prášek vhodný pro nanášení v elektrickém poli VN musí mít tyto vlastnosti:

- měrný elektrický odpor částic  $> 10^{11} \Omega \text{m}$ ,
- granulometrické spektrum v rozmezí  $10 - 80 \mu\text{m}$ ,
- dobré fluidní vlastnosti.

Měrný odpor částic prášku hraje při aplikaci výše uvedené technologické metody dominující úlohu. Zvýšení měrného odporu smaltového prášku se dosáhlo jeho obalováním látkou, která má vysoký měrný odpor a současně je hydrofobní. Obalovadla jsou organické sloučeniny schopné vytvářet na povrchu jednotlivých částic smaltu hydrofobní film s vysokým měrným odporem, zlepšujícím zároveň fluiditu prášku. Při obalování sklovitých prášků použil Nealon [13] chlorsilanů z toho důvodu, že tyto látky se ohřevem při vypalování smaltu přemění na silikáty daleko pod teplotou tavení frity; obalené částice po sobě klouzají a prášek již není hydrofobní. Proces vlastního obalování a vytvrzování je schematicky znázorněn na obr. 4. Trichlorová struktura reaguje s povrchem částice smaltu, v procesu vytvrzování se nakonec vytváří řetězce  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ , což má za následek vznik velmi účinné vodu nepropustné vrstvy. V procesu obalování chlorsilanů se uvolňuje plynný HCl, což je určitá nevýhoda. Vznik škodlivého HCl při impreg-



Obr. 4. Mechanismus obalování částice sklovitého smaltu trichlormetylsilanem.



Obr. 5. Přdržnost nánosu smaltového prášku při různém granulometrickém složení.

naci se vyloučí použitím jako obalovadla silaminů, siloxanů, event. acyloxisilanů typu  $R_nSi(OCOR)_{4-n}$ .

Granulometrické spektrum smaltového prášku v podstatě ovlivňuje přidržnost prášku, rychlost nanášení a dosažitelnou tloušťku nánosu; rozhoduje o tom, kolik dotykových míst bude mezi vrstvou prášku a podkladem (obr. 5). Přestože z hlediska max. dosažitelné tloušťky nánosu, zpětné ionizace a fluidity prášku působí větší podíl jemných částic negativně, musí být přítomen určitý podíl těchto částic pro zaručení dostatečné přidržnosti nánosu. Na základě experimentálních prací [1, 3] je nejvýhodnější granulometrické složení prášku v rozmezí 10—80  $\mu\text{m}$ .

#### DISKUSE VÝSLEDKŮ

Z hlediska procesu nabíjení, pohybu a ukládání částic v elektrickém poli lze konstatovat, že nabíjení částic přichází v úvahu jednak ionizací v koronovém výboji na ionizační elektrodě, kdy velikost elektrického náboje je závislá na průměru částice a intenzitě elektrického pole a jednak elektrokineticky, kdy velikost náboje závisí především na elektrických vlastnostech třecích materiálů a také na velikosti částic. Při pohybu částic smaltu v transportní části nanášecího zařízení se uplatňují hlavně elektrické síly, kdy však musíme vzít v úvahu vliv inhomogenního elektrického pole daného konfigurací elektrod, mechanické a elektrické síly částic mezi sebou, jakož i čelní odpor vzduchu. Jednodušší situace je u elektrokinetického nabíjení, kdy vystupující částice z pistole nejsou rušeny působením kladných iontů a elektronů produkovaných koronovým výbojem a putují v transportním prostoru k elektrodě nabitě opačným nábojem a nejsou ovlivňovány elektrickým polem vysokého napětí.

Při ukládání smaltových částic a při tvorbě nánosu působí jako rozhodující elektrická síla Coulombova, jejíž velikost je určena součinem z náboje částice a intenzity elektrického pole. Kromě elektrických sil působí při ukládání částic také Van der Waalsovy přitažlivé síly. Tyto se uplatňují zejména u malých částic. Z hlediska dobré přidržnosti nánosu má veliký význam vysoký měrný odpor částic ( $> 10^{11} \Omega \text{ m}$ ) z toho důvodu, aby nedocházelo k předčasnému odvedení elektrického náboje na podložku.

Ukazuje se také, že důležitý je výběr obalovadla pro úpravu smaltového prášku za účelem zaručení požadovaných elektrických i fluidních vlastností, tak aby tyto nepodléhaly změnám po dlouhou dobu skladování prášku i v průběhu jeho recirkulace a regenerace v nanášecím zařízení. V této souvislosti nejlépe vyhovují deriváty silanů.

Z hlediska dodržení požadovaného granulometrického spektra prášku v rozmezí 10—80  $\mu\text{m}$  a dosažení vysoké účinnosti rozpojování bylo dosaženo dobrých výsledků při mletí ve vibračních mlýnech.

Výhody technologické metody ESTAP nejvíce vyniknou při aplikaci smaltového povlaku na ocelový plech běžné jakosti (ČSN 11 321, 11 304, 11 301), kdy nanášíme tenkou vrstvou základního smaltu (30—50  $\mu\text{m}$ ) a pak krycí smalt (110—150  $\mu\text{m}$ ) při společném vypalování. Požadavky na konečnou kvalitu smaltového systému je nutno realizovat formulací příslušných smaltéřských frit.

Experimentální práce na výzkumné poloprovozní lince [2, 3] prokázaly, že metodu ESTAP lze aplikovat na různé druhy výrobků, nejnázna na ploché výrobky, ale také na výrobky tvarové za předpokladu použití vhodné závěsové techniky a zařízení umožňující nanášení vnitřních částí výrobků, což lze realizovat zejména při elektrokinetickém nabíjení. Výhody metody vyniknou při integraci výrobní

linky, kdy operace nanášení i vypalování probíhají na jednom dopravníku. V tomto případě se musí vyřešit odsmaltování závěsů, což je možné realizovat kombinací tepelných šoků a chemické úpravy. Určité problémy vznikají při požadavku barevného provedení výrobků. Dobře lze totiž elektricky nabíjet pouze prášky homogenně barvené v tavenině. Změnu barvy lze nejlépe provádět systémem několika nanášecích jednotek pro různé barvy, nebo v integrovaných nanášecích kabinách s výměnnými filtry.

Během experimentálních prací se prokázal nepříznivý vliv vlhkosti vzduchu na spolehlivost práce zařízení. Z těchto důvodů je nutné zabezpečit klimatizaci nanášecího prostoru, kdy relativní vlhkost vzduchu nepřekročí 45 %. V tomto směru značnou výhodu mají integrované nanášecí jednotky, které v sobě sdružují nanášení včetně recirkulace a regenerace prášku [14, 15, 16]. V tomto případě lze ekonomicky řešit i úpravu vzduchu pro takovou kabinu.

Metoda ESTAP vyžaduje rovněž úpravu vypalovací pece, kde je nutno snížit intenzitu vzduchových clon s ohledem na sfukávání prášku. Nejlépe vyhovují lehké stavebnicové pece tvaru zalomeného U, čímž se docílí i při delších délkách žárového a rekuperačního pásma podstatného zkrácení stavební délky pece.

Z ekonomické rozvahy provedené při experimentálním ověřování metody ESTAP je možno konstatovat, že oproti konvenční technologii smaltování je dosažováno asi 40% úspory materiálu, 50% úspory energie a 30% úspory živé práce.

Vytváření povlaků ze suchých sklovitých smaltů v elektrickém poli vysokého napětí představuje jeden z nejvýznamnějších vývojových trendů v technologii silikátových povrchových úprav a jistě najde své uplatnění ve smaltárenském a keramickém průmyslu.

#### Literatura

- [1] Mohyla M.: Perspektivní technologické metody povrchové ochrany strojírenských výrobků keramickými smalty. Doc. habil. práce, VŠB, Ostrava 1979.
- [2] Mohyla M.: Výzkum nanášení práškových keramických smaltů v el. poli VN. Kand. diz. práce, VŠB, Ostrava 1978.
- [3] Moravčík A., Bouše V.: Vytváření keramických povlaků práškováním v elektrostatickém poli. Výzk. zpráva, ÚRSST, Bratislava, 1981—82.
- [4] Marton K.: Příspěvek ke studiu mechanismu nanášení prášků. (red. J. Pech), str. 27—38. Dům techniky, České Budějovice 1978.
- [5] Silsbe F. B.: *Static electricity*. U. S. Department of Commerce, 1972.
- [6] Sažin B. J.: *Statičeskoje električestvo v chimičeskoj promyšlennosti*. Izd. Chimija, Leningrad 1977.
- [7] Žilka L.: Podmínky vzniku a zániku elektrostatického náboje na el. nevodivých materiálech. Výzkumná zpráva, Bratislava 1975.
- [8] Belyj A. A., Klimovič A. F.: Razrabotka i isledovanie sposobov nanesenja polimernych pokrytij s ispolzovaniem triboelektričeskoego efekta. Dom techniky, Bratislava 1973.
- [9] Lowe H. J.: *Brit. Journal of Appl. Phys.*, 4, (1953).
- [10] Moore A. D.: *Elektrostatik*. Verlag Chemie GmbH, Weinheim 1972.
- [11] Vala L., Voráček M.: Povrchové úpravy 1, 16 (1982).
- [12] Bauch H.: *Plaste und Kautschuk* 11, 853 (1974).
- [13] Nealon T. P.: *Mitteilungen des Vereins deutscher Emailfachleute* 24, 25 (1976).
- [14] Serayet M.: *Mitteilungen des Vereins deutscher Emailfachleute* 30, 92 (1982).
- [15] Höfler H.: *Metaloberfläche* 11, 429 (1981).
- [16] Hoffmann H.: *Mitteilungen des Vereins deutscher Emailfachleute* 29, 25 (1981).



## К ИССЛЕДОВАНИЮ НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ СТЕКЛОЭМАЛЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Мирослав Могила

*машиностроительный и электротехнический факультет  
Горно-металлургического института, 708 33 Острава*

Резкое понижение расхода материала и энергии предоставляет новая технология нанесения порошковых стеклоэмалей в электрическом поле высокого напряжения. Зарядку порошковых эмалей можно проводить гидрофобизацией их частиц производными силанов, когда повышается удельное электрическое сопротивление до величины  $10^{11}\Omega\text{м}$  и одновременно повышается также ее текучесть. Размер зерна порошковой эмали приходится обеспечить в пределах 10—80  $\mu\text{м}$ . Исследование теоретических условий зарядки, транспорта и размещения частиц эмали в электрическом поле обуславливает установление технологических параметров для проектирования интегрированных производственных линий. Ионная зарядка порошковой эмали используется при нанесении на плоские изделия, электрокинетическая зарядка частиц эмали предоставляет возможность проводить нанесение на предметы, сложные по форме. Собственная технология заключается в нанесении тонкого слоя основной эмали (30—50  $\mu\text{м}$ ) и слоя кроющей эмали (110—150  $\mu\text{м}$ ) при общем обжиге. Таким образом по сравнению с общепринятой технологией экономят 40 % материала, 50 % энергии и 30 % труда.

*Рис. 1. Временный ход зарядки порошковых частиц.*

*Рис. 2. Воздействие внешних сил на частицу движущуюся в электрическом поле.*

*Рис. 3. Схема разложения сил, воздействующих на порошковую частицу при отложении.*

*Рис. 4. Механизм покрытия частицы стеклоэмали трихлорметилсиланом.*

*Рис. 5. Прилипание отложившегося слоя порошковой эмали при разном гранулометрическом составе.*

## A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE APPLICATION OF POWDERED VITREOUS ENAMELS IN A HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL FIELD

Miroslav Mohyla

*Faculty of Engineering and Electrotechnics Mining and Metallurgical Technical University,  
708 33 Ostrava*

The new technology for the application of powdered enamels in a high-voltage electrical field brings about significant savings in materials and power consumption. The charging of the powdered enamels is made possible by rendering their particles hydrophobic by means of silane derivatives, which increase the specific electrical resistivity of the powder up to  $> 10^{11}\text{ Ohm m}$ , while simultaneously improving its fluidity. The powdered enamel should be ground to a grain size of 10 to 80  $\mu\text{m}$ . The study of the theoretical charging conditions, transport and deposition of the enamel particles in the electric field allows the technological parameters to be determined for the design of integrated manufacturing lines. Ionic charging of the enamel powder is used in its application to flat objects, whereas electrokinetic charging of the enamel particles allows them to be applied to objects of complex shapes. The technology proper consists of depositing a thin layer of ground enamel (30—50  $\mu\text{m}$ ) and a thicker layer of cover enamel (110—150  $\mu\text{m}$ ) for joint firing. Compared to the conventional enamelling technology, the savings amount to 40 % of material, 50 % of energy and 30 % of labour.

*Fig. 1. Time course of charging the powder particles.*

*Fig. 2. The effect of external forces on a particle moving in an electric field.*

*Fig. 3. Schematic diagram of the distribution of forces acting on a powder particle during deposition.*

*Fig. 4. The mechanism of coating a vitreous enamel particle with trichloromethylsilane.*

*Fig. 5. Adhesion of an enamel powder coat of various granulometric compositions.*

CHEMIKER-KALENDER (Kalendář chemika). Vydavatelé Claudia Synowietz a Klaus Schäfer. 3. zcela přepracované vydání, Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York—Tokyo 1984, 656 str., cena 44 DM.

Kniha příručního formátu, avšak rozsáhlá počtem stran i bohatostí informací navazuje na tradici založenou již před 100 lety. Poslední vydání připravili vysokoškolské učitelé z univerzity v Heidelbergu. Hlavní kapitoly nesou tyto názvy:

Měrné jednotky (soustava SI a přepočtové faktory starších jednotek). Vzorce jednoduchých geometrických struktur. Fyzikální vlastnosti prvků a sloučenin (nejdůležitější typy struktur, fyzikálně-chemické vlastnosti prvků, organických a anorganických látek, obchodní a triviální názvy chemikálií, farmak a pigmentů). Tabulky hustot. Tabulky rozpustností. Termodynamické tabulky. Tlaky par. Dodatky (analytické faktory, ekvivalenty v odměrné analýze aj.).

Nové vydání přináší také některé méně obvyklé údaje, např. nomenklaturu enzymů, tabulky nejdůležitějších potravin a jejich energetického obsahu, elektrochemická data, přehled laserů pro různé frekvenční oblasti aj. Předností knihy je doplnění tabelárních údajů o novější data a jejich uvádění v SI jednotkách, někdy společně se staršími (např. tlaky par v Pa a Torr).

Kniha je určena pro denní potřebu experimentálně pracujícího chemika, avšak mnoho užitečných informací v ní nalezne také fyzik, mineralog a technolog z oborů chemických, hutnických, silikátových aj.

*Hlaváč*

ZDENĚK STRNAD: SKELNĚ KRYSTALICKÉ MATERIÁLY. SNTL, Praha 1983, 230 str. 147 obr. a grafů, 66 tab., cena 40 Kčs..

Skelné krystalické hmoty (nebo jednodušeji sklokeramika) patří ke zcela novým typům materiálů se speciálními vlastnostmi. Za cca 25 let jejich existence se jejich paleta velmi rozšířila a také se prohloubily teoretické základy, z nichž výroba těchto materiálů vychází. Autor se na tomto vývoji řadu let aktivně podílel, a proto také jeho kniha věnuje značný rozsah teoretickým principům tvorby a výroby těchto materiálů.

Po charakterizaci sklokeramiky a výkladu sklotvornosti následuje kapitola o základních typech fázových přeměn ve sklotvorných soustavách, tj. o odmísení, nukleaci a růstu krystalů. Hlavním nástrojem výkladu je chemická termodynamika. Další kapitola přináší poznatky o obfemové krystalizaci v jednodušších látkových soustavách, jež jsou základem nejdůležitějších typů sklokeramiky. Následuje pojednání o praktických aspektech přípravy sklokeramiky (tavení, tvarování, tepelné zpracování, speciální postupy vč. slinování a metody sol-gel). Cenná je také kapitola o metodách studia přeměny skla na krystalický produkt. Rozsáhlá samostatná kapitola je věnována jednotlivým vlastnostem sklokeramiky, převážně fyzikálním, s konkrétními daty pro jednotlivé typy. Tyto údaje jsou pak ještě doplněny v závěrečné kapitole, jež přináší přehled ve světě vyráběných typů sklokeramiky a informuje o jejich vlastnostech a použití.

Kniha je cenná nejen tím, že přibližuje českému čtenáři oblast, o níž se mohl zatím dovídat pouze z časopisů nebo z cizojazyčných monografií, ale také již zmíněným teoretickým zpracováním procesů tvorby sklokeramiky, a konečně velkým množstvím tabelovaných údajů o vlastnostech pojednávaných soustav.

Kniha je svým obsahem i způsobem zpracování vhodná nejen pro výzkumné a inženýrské pracovníky z oboru skla, ale i pro širší okruh pracovníků aplikačních materiálůvých odvětví ve strojírenství, elektrotechnice, elektronice aj. Bude také užitečnou pomůckou pro výuku na středních odborných i vysokých školách.

*Hlaváč*