

Technológia smaltovania metódou nanášania práškov smaltov v elektrickom poli

(príspevok)

Máme za sebou štvrtstoročie prvého priemyselného nasadenia tohto procesu. Tento nový fyzikálny princíp vytvárania smaltovaných povlakov a jeho využitie sa stalo veľkou výzvou pre inováciu tohto procesu v celom sortimentnom spektre. Pri nasadzovaní tejto metódy sa postupne vyskytovali rôzne technické problémy a ich riešenie nie vždy viedlo k úspešnému výsledku. Podľa nášho názoru určitým nešťastným smerom sa stala cesta tzv. hybridnej technológie v rámci ktorej sa na klasický vytvorený povlak základného smaltu aplikovala vrstva prášku smaltu ako krycieho povlaku. Sú všeobecne známe problémy, ktoré viedli k takýmto riešeniam avšak ich výsledok nie je optimálny. Jeden z fenoménov, ktorý rozhoduje o nasadzovaní tohto procesu je veľkosť a tvar výrobku určený k povrchovej úprave smaltovaním. K takýmto extrémnym prípadom patria oceľové smaltované vane.

Nakoľko sa jedná o náš hlavný výrobný program, ktorý predstavuje kapacitu viac ako 300 tis. kusov výrobkov ročne sme sa rozhodli pre smaltovanie týchto výrobkov metódou nanášania práškov smaltov v elektrickom poli. Naša koncepcia vychádzala zo systému základ + krycí s jedným vypáľovaním. Je veľmi dôležité zdôrazniť, že tento veľmi zložitý a komplikovaný spôsob aplikácie tejto metódy na dané výrobky je schopný naplniť očakávania z hľadiska ekológie, ekonomie, plnej automatizácie a mimoriadnej kvality smaltovaných povlakov. Jedná sa o unikátnu koncepciu, ktorá však od začiatku mala potenciál splniť očakávania vo všetkých parametroch.

Úspešná aplikácia nanášania práškov smaltov v elektrickom poli na oceľové smaltované vane vyžadovala riešiť tri samostatné kategórie technických problémov, ktoré podmieňovali úspešný výsledok.

Boli to za prvé vývoj základného smaltu, ktorý v hrúbke 30 až 40 mikrónov zabezpečí dostatočnú adhéziu smaltu na povrchu. Za týmto účelom musí mať príslušná mnohozložková skelná sústava nízke eutektikum, ktoré umožňuje ukončiť interakcie na fázovom rozhraní smaltov pri teplotách 760 °C.

Za druhé realizovať povrchovú predúpravu oceľových výliskov tak, aby okrem štandardných operácií a to je odmastenie, morenie, neutralizácia, pasivácia bol povrch zbavený v maximálnej miere minerálnych solí, najmä solí alkalických prvkov. Táto požiadavka má mimoriadnu dôležitosť ak pracujeme systémom základ krycí na jedno vypálenie.

Za tretie vytvoriť extrémne hrubé nánosy práškových smaltov v systéme základ + krycí na jedno vypálenie, pričom minimálna hrúbka takto vytvorenej dvojvrstvy po vypálení je 250 mikrónov. Táto požiadavka je kľúčom k úspešnému výsledku vo forme celistvého povlaku na celej funkčnej ploche smaltovanej vane. Hľadanie tohto riešenia predpokladá dôsledné akceptovanie všetkých fyzikálnych

pojmov súvisiacich s mechanizmom tvorby vrstvy touto metódou. Pre priblíženie tohto procesu sa vrátíme k jednotlivým fyzikálnym pojmom s ním súvisiacich.

a.) Nabíjanie častíc smaltu

Častice smaltu v elektrickom poli vysokého napätia môžu byť nabíjané

- a.) Bombardovaním
- b.) Difúziou iónov

Ako bude ďalej uvedené v reálnom procese je dominantné nabíjanie bombardovaním. Pre tento mechanizmus nabíjania na dosiahnutie rovnovážneho náboja častice vychádzame z Laplankonovej rovnice.

$$rs = \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_1 \left(1 + 2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + 2\epsilon_1} \right) d^2 \cdot E$$

- rs = rovnovážny náboj častice [C]*
- ϵ_0 = permitivita vákua [F.m-1]*
- ϵ_1 = relatívna permitivita prostredia [1]*
- ϵ_2 = relatívna permitivita častice [1]*
- d = priemer častice [m]*
- E = intenzita el. poľa v mieste nabíjania [V.m-1]*

$$\left(1 + 2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + 2\epsilon_1} \right) = \chi$$

χ – súčiniteľ nabíjania [1]

keď je permitivita prostredia $\epsilon_1 = 1$ tak je $\chi = \left(1 + 2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + 2\epsilon_1} \right)$

Širokému rozsahu hodnôt $1 < \epsilon_2 < \infty$ zodpovedá len celkom úzky obor hodnôt $1 < \chi < 3$

Permitivita častice nemá na veľkosť náboja výraznejší vplyv a jej hodnota pre dielektriku je 2,5 až 3.

Nabíjanie častíc difúzií je odvodené z kinetickej teórie plynov, keď na jednu časticu v čase prechádza náboj:

$$rs = \frac{10 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_1 \cdot K \cdot H}{e} \cdot d$$

$H =$ teplota plynného prostredia [K]

$e =$ elementárny náboj [C]

$K =$ Bolzmanova konštanta [J.K⁻¹]

Pre komplexné nabíjanie častíc vychádzame obyčajne z Pautherinovej rovnice, podľa ktorej je medzný náboj Q_m :

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

Pre izolanty je $\chi = 3$ potom platí:

$$Q_m = (1,5 + 2) \cdot \frac{d^2}{4} \cdot E$$

Pre skutočný náboj častice

$$Q = Q_m \cdot \frac{t}{t + \tau}$$

Q = skutočný elektrický náboj [C]

Q_m = medzný el. náboj [C]

t = čas [S]

τ = časová konštanta [S]

b = pohyblivosť iónov

ζ_j = hustota prúdového náboja iónov

$$\tau = \frac{4 \cdot \epsilon}{b \cdot \zeta_j}$$

Z uvedených vzťahov vyplýva, že skutočný náboj časom rastie až po hodnotu Q_m .

Charakteristika nabíjania nie je lineárna a v koronovej oblasti zložitá. Elektrické pole v transportnej oblasti častíc je nehomogénne. Medzi časticami pôsobia vzájomne Coulombove sily, častice sa v elektrickom poli polarizujú a vzniká gradient koncentrácií iónov.

Z praktického hľadiska proces nanášania práškových častíc smaltov v elektrickom poli vysokého napätia má 3 etapy:

1. Nabíjanie častíc
2. Pohyb nabitých častíc v elektrickom poli
3. Tvorba vrstvy nabitých častíc

Na konečnú hodnotu náboja má vplyv hodnota relatívnej permitivity častice ϵ_2 priemer častice d respektíve jej relatívny povrch a intenzita elektrického poľa. Merný elektrický odpor má vplyv na mechanizmus nabíjania. Pri vysokom mernom el. odpore $\zeta \Rightarrow 10^{12} \Omega m$ sa uplatňuje mechanizmus nabíjania bombardovaním a kontaktné nabíjanie bude zanedbateľné nakoľko časová konštanta tohto nabíjania je dlhá (min.)

Avšak merný el. odpor nemá rozhodujúci vplyv na tvorbu vrstvy.

Rozhodujúca je relatívna permitivita častíc smaltu [ϵ_2], priemer častíc [d] a intenzita elektrického poľa [E].

Merný el. odpor [ζr] rozhoduje o mechanizme nabíjania častíc ako už bolo uvedené pri vysokých hodnotách merného el. odporu dominuje mechanizmus nabíjania bombardovaním ako vyplýva zo vzťahu:

$$E_p = \frac{h}{\delta}$$

E_p = intenzita el. poľa

h = prúdová hustota

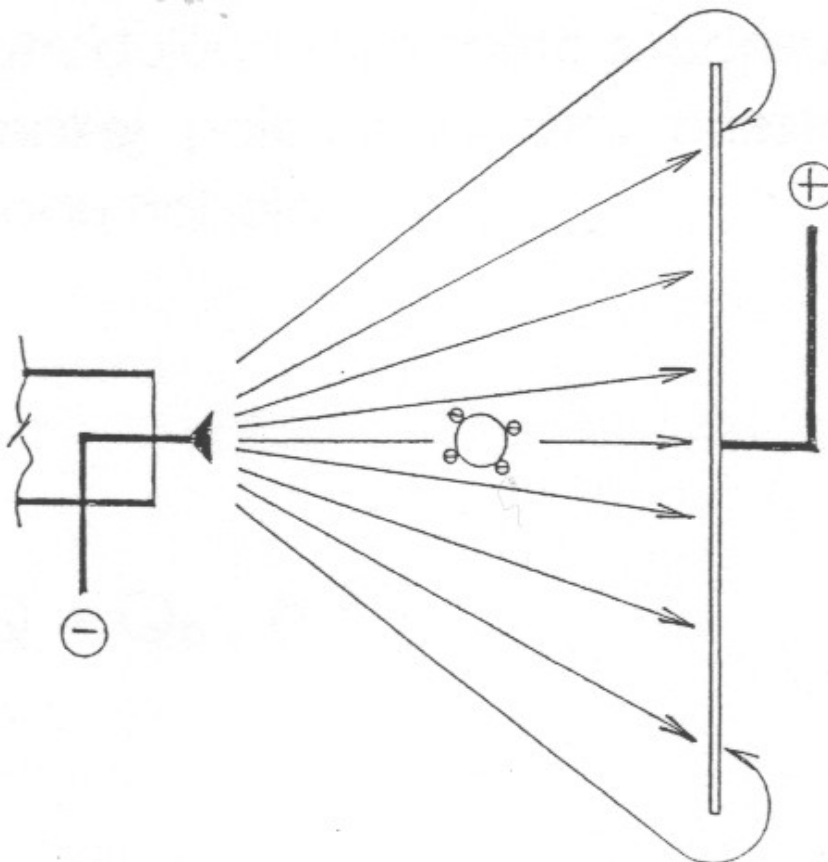
δ = merný el. odpor

Merný el. odpor má nepriamy vplyv na spätnú ionizáciu, ktorá je závislá predovšetkým na prúdovej hustote. Z praktického hľadiska je tento faktor veľmi dôležitý, lebo výskyt spätnej ionizácie znehodnocuje realizované vrstvy smaltov pred vypálením.

V druhej fáze procesu po udelení náboja častice v našom prípade pomocou bombardovania voľných iónov v korone, cez ktorú prechádzajú všetky častice smaltu sa tieto orientovane pohybujú v el. poli, ktoré sa vytvorilo medzi elektródou podávacej pištole a výrobkom.

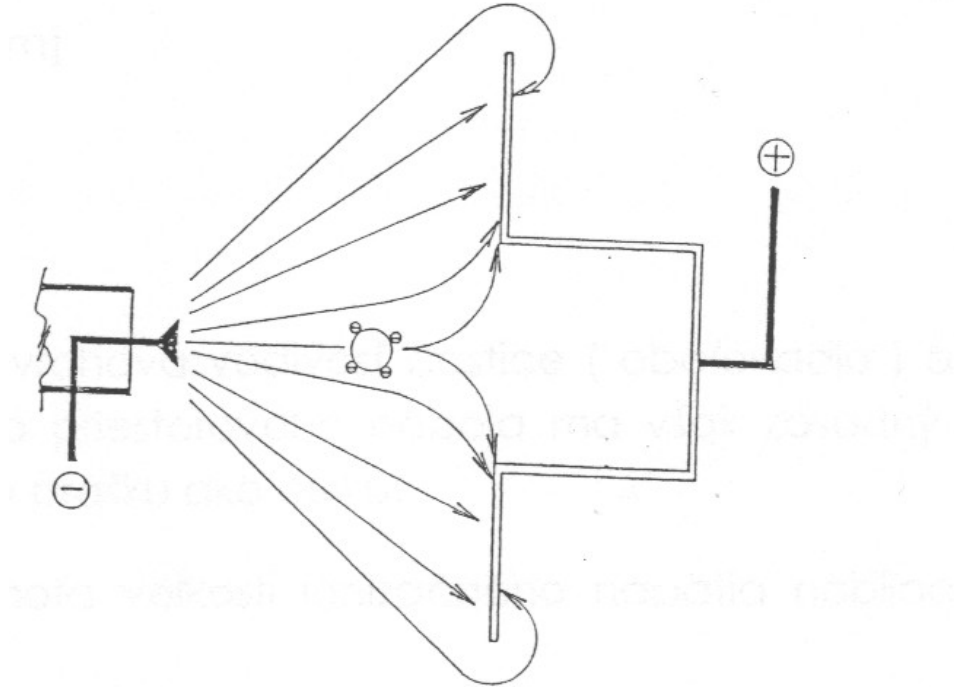
Toto el. pole je charakterizované líniami, ktoré usmerňujú pohyb častíc smerom k výrobku. Tieto línie sú tvarované medzi podávacou a prijímacou elektródou (pozri obr. č.1).

obr. č. 1



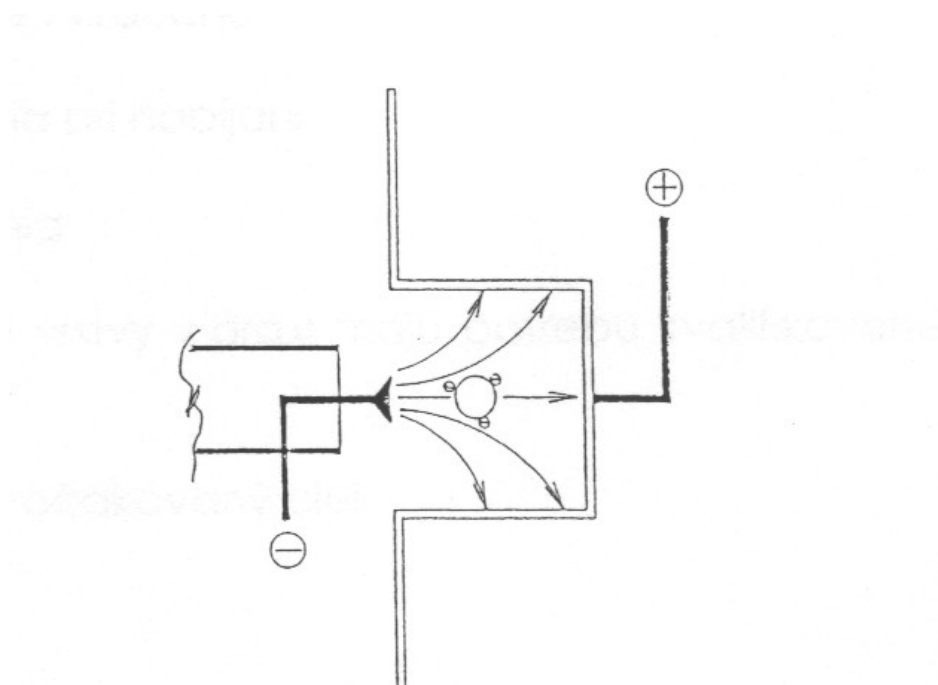
Tvarovanie línie podľa el. poľa usmerňuje dráhu častíc aj obchvatom za výrobok. Zároveň sú však tieto línie príčinou Faradayovho efektu, ktorý odvádza smer nabitých častíc z uzatvoreného priestoru.

obr. č. 2



Pri smaltovaní tvarovo zložitých výrobkov je tento efekt vážnym problémom. Jeho riešenie sa hľadá v tzv. tvarovaní el. poľa. V princípe najjednoduchšie prekonania Faradayovho efektu sa dosiahnu prienikom podávacej elektródy do nanášacieho priestoru pomocou manipulátorov.

obr. č. 3



Polohovanie podávacieho elektródu t. j. nanášacích pištolí voči ploche nanášacieho výrobku tak, aby sa dosiahol očakávaný výsledok je vec experimentu.

Tvorba vrstvy nabitých častíc je rozhodujúca fáza tohto procesu. Pri tvorbe vrstvy sa ukladaním častíc s nábojom rovnakej polarítity vytvára priestorový náboj a jeho hodnota je závislá na rýchlosti odvodu náboja.

Odvod náboja je daný vzťahom:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-t/R.C}$$

Q_0 = počiatočný náboj [C]

Q = náboj po čase t [C]

t = čas

R = merný el. odpor častice [Ω m]

C = kapacita [F]

1. Dôležitú úlohu tu hrá povrchová vodivosť častice (obalovadlo) a relatívna vlhkosť vzduchu. Hustota priestorového náboja má však zásadný vplyv na adhézne chovanie vrstvy prášku ako celku.

Reálne sa ovplyvňuje aj hodnota veľkosti ionizačného napätia nabíjacej pištole a tvorba vrstvy.

Vznik el. tlaku vo vrstve v dôsledku hustoty priestorového náboja vedie tiež ku vzniku Van der Waalsových medzimolekulárnych síl, ktoré môžu byť väčšie ako el. sila.

Adhézne sily vo vrstve prášku je možné ovplyvniť

- Zvýšením merného el. odporu prášku
- Znížením relatívnej vlhkosti vzduchu
- Zvýšením intenzity el. poľa pri nabíjaní
- Predĺžením času nabíjania

Reálne podmienky pre tvorbu vrstvy v praxi majú potrebu kvalifikovane meniť tieto faktory.

Je potrebné určiť si priority pre očakávaný cieľ.

Ak je vaším dominantným problémom adhézia vrstvy prášku na aplikovanom výrobku a dôvodom je ako napríklad manipulácia pred vypálením tak budeme pracovať s vysokou int. el. poľa a nízkou relat. vlhkosťou. V tomto prípade nás ohraničuje nebezpečie vytvárania Lichtenbergových hviezdíc.

Pre smaltovanie ocelových vaní máme pohromade potrebu programovo riadiť všetky fyzikálne vzťahy, ktoré sa procesu tvorby vrstvy zúčastňujú.

Prioritou je vytvorenie 2 vrstiev t.j. vrstvy prášku základného smaltu, na ktorú sa plynule vytvára vrstva krycieho smaltu.

Pre vytvorenie očakávanej vrstvy základného smaltu po vypálení 30 – 40 mikrónov je potrebná hrúbka vrstvy prášku 150 – 180 mikrónov.

Tvorba rovnomernej vrstvy základného prášku nie je problémová. Musím však uskutočniť jej realizáciu v parametroch s prihliadnutím na pokračovanie nárastu vrstvy nanášaním krycieho prášku.

Vrstva krycieho prášku musí byť o hrúbke min. 750 mikrónov ak očakávame po vypálení vrstvu smaltu min. 250 mikrónov.

Celková hrúbka vrstvy prášku smaltov zákl. + krycieho je 900 – 1000 mikrónov. Takéto nánosy si vyžadujú osobitné zariadenie všetkých parametrov, ktoré riadia tento proces.

Bratislava, máj 2010

Dipl. Ing. Alfonz Moravčík PhD.