

INDUSTRIKEMI A/S  
A. OEHLenschLÄGER & CO.



PRAKTISKE ERFARINGER VEDRØRENDE  
PLASTBELÆGNING (PULVERLAKERING) AF STÅL

---

Af: A. Oehlenschläger

Hovedkontor og lager:  
Jernbanegade, 5500 Middelfart  
Tlf.: (09) 411213

Salgskontor for Sjælland:  
Dalager 4, 2600 Glostrup  
Tlf.: (01) 969200

### INDLEDNING

Gennem de sidste 10 år har vor virksomhed ydet et væsentligt bidrag til udbredelsen af kendskabet til plastbelægning (pulverlakering), som korrosionsbeskyttelse af såvel store som små metalemner inden for praktisk taget alle brancher i dansk industri.

Den tekniske know-how, der nødvendigvis må danne grundlaget for et sådant nærmest pionerpræget arbejde, er hentet hjem gennem et snævert samarbejde med udenlandske, kommercielle forskningscentre som C.T.R.P. (Centre Technique Revêtement Plastique) tilhørende den petrokemiske gruppe ATO Plastique, Paris, Lurgi GmbH, Abteilung GOTEK Oberflächentechnik, Frankfurt, Lang Revestimenti, Italien samt gennem deltagelse i udenlandske konferencer og læsning af udenlandsk litteratur. Alt dette suppleret med et udmærket samarbejde med danske institutioner som Korrosionscentralen og Teknologisk Institut, hvad angår en uddybning af det udenlandske erfaringsmateriale.

Men ligegyldigt hvor store bestræbelser man gør sig for at forhindre fejlagtige anvendelser af en ny teknik, må det erkendes, at fejltagelser alligevel sker og er sket gennem disse år.

Da det som bekendt er behageligt at blive klog af andres fejltagelser, har jeg taget den opgave op, at forsøge at rubricere de fejlkilder vi på den ene eller anden måde er truffet på, for at kunne videregive dette vigtige erfaringsmateriale til danske teknikere i håb om derved at kunne bidrage til en rigtig udnyttelse af de fordele, denne endnu unge teknologi byder på.

Som indledning til en vurdering af fejlmuligheder vil det være logisk at stille sig selv spørgsmålet: "Hvad er det egentlig, man søger at opnå ved at forlade de traditionelle malingssystemer til fordel for pulversystemer"?

I det følgende skema har jeg taget nogle typiske emner fra forskellige brancher og forsøgt at analysere dette forhold.

For overskuelighedens skyld kan vi rubricere begrundelserne for anvendelsen af pulverssystemer på følgende måde:

1. Større produktivitet.
2. Mindre friktion (kun Polyamider og P.T.F.E.)
3. Mindre kavitation.
4. Bedre korrosionsbeskyttelse.
5. Bedre kemisk modstandsdygtighed.
6. Mindre brandfare/sundhedsfare under påføringen.
7. Større lagtykkelse i een operation.
8. Mindre vedligeholdelsesarbejde.

PRODUKT	TIDLIGERE BEHANDLINGSMÅDE	BELEGGES MED/VED	LAGTYKKELSE µm	ÅRSAG TIL, AT PULVER- LAKERING ANVENDES
1. Kabinetter t.vaskemaskiner	Acryllak	Epoxy-ES	60-100	7 (6)
2. Køleskabe	Acryllak	Epoxy-ES	60-100	7 (6)
3. Dybfrysere	Acryllak	Epoxy-ES	60-100	7 (6)
4. Havemøbler	Acryllak	Epoxy-ES/PA-H	80-120/ca.300	7 - 4 (6)
5. Kontor-Kantinemøbler	Alkyd/Acryl/Epoxy	Epoxy-ES/PA-ES	60-100	7 - 2 (PA) (slid) (6)
6. Hospitalsenge	Alkyd/Acryl/Epoxy	Epoxy-ES/PA-ES	100-150	7 - 2 (PA) (slid) (6)
7. Ventililer, ferskvand		PA-ES/H	300-400	1 - 3 - 4
8. Ventililer, saltvand		PA-ES/H	300-400	1 - 3 - 4
9. Rørsystemer, saltvand	Varmgalvanisering	Epoxy-ES/PA-ES	250-350	4 - 2 (PA) - 8
10. Stålkonstrukt. i byggeriet	Galvanis. + maling	PA-H/Epoxy-ES	ca.300/ca.100	7 - 4 - 8 - 1 (6)
11. Altangelændere	Galvanis. + maling	PA-H	ca.300	7 - 4 - 8 - 1 - (6)
12. Trappegelændere	Maling	Epoxy-ES/PA-H/ES	ca.100/250/100	7 - 1 - 2 (PA) (6)
13. Rendejern	Varmgalv. + maling	PA-H	ca.300	4 - 1 - 7 - (6)
14. Facadeplader	Acrylsystem 120 µm	PA-ES	100-150	7 - 1 (6)
15. Rørbøjler til skibe	maling	PA-H	ca.300	4 - 7 - 1
16. Ståldele t.skillerum t.skibe	maling	PA-H	ca.300	4 - 7 - 1 - (6)
17. Håndhjul til ventililer	Alkydlak	PA-H	ca. 200	4 - 7 - (5) - 6
18. Klemkassedæksler		PA-H/Epoxy-ES	ca.150/ca.80	4 - 7 - 1 (halvaut) (6)
19. Ventilationssystemer	Senzimirgalv. + lak	Epoxy-ES	80-100	7 - (4) (6)
20. Cykler + knallerter	3-4 x lak	Epoxy-ES+1 x lak	60-100	7 - 1 (6)
21. Laboratoriearmaturer	Forcromning	Epoxy-ES/PA-ES	80-120	5 - 7
22. Businventar	Forcrom./krympeslange	PA-H	ca.300	7 - 1 - 2 - 4

1. Større produktivitet

2. Mindre friktion (kun polyamider og P.T.F.E.)

3. Mindre kavitation

4. Bedre korrosionsbeskyttelse

5. Bedre kemisk modstandsdygtighed

(6) Mindre brandfare/sundhedsfare under påføringen

7. Større lagtykkelse i én operation

8. Mindre vedligeholdelsesarbejde

ES = elektrostatisk pulversprøjtning, H = hvirvelsintring

### Kommentarer til skemaet:

Vi ser nu det interessante, at bortset fra de 3 specielle grupper, der har med saltvand at gøre, går tallene 7 og 6, altså større lagtykkelse i een operation samt mindre brandfare under påføringen igen næsten overalt.

Man kunne måske have forventet, at 1-tallet (større produktivitet) ville have figureret noget oftere, men det er jo en kendsgerning, at det ikke er mere produktivt at sprøjte 1 x Epoxy-pulver på, end 1 x Acryl-lak.

Tallet 6 er sat i klamme undtagen de steder, hvor der tales om hvirvelsintring. Det er klart, at en hvirvelsintring med PA er totalt fri for brandfare og sundhedsfare, men i modsætning til den gængse opfattelse er dette ikke tilfældet ved EPS (elektrostatisk pulversprøjtning). Under sprøjteprocessen opstår der nemlig i sprøjtezone i kabinen en ret stor pulverkoncentration, der under givne omstændigheder kan forårsage en støvekspllosion. Ligeledes har det vist sig, at visse termohærdende pulvermaterialer kan forårsage akutte eller kroniske sygdomme i luftvejene hos de personer, der er beskæftiget med manuel sprøjtning.

I Vesttyskland har disse forhold været genstand for indgående undersøgelser, og dér gælder nu de temmelig rigoristiske krav, at pulverkoncentrationen i sprøjteområdet ikke må overstige  $15 \text{ gr./m}^3$  luft, hvilket stiller meget store krav til luftskiftet i kabinerne og dermed til genvindingsanlægene, der bliver større, mere komplicerede og dyrere.

Samtidig er det konstateret, at nogle termohærdende pulver typer afgiver eksplodingsfarlige luftarter under hærdningsprocessen i ovnen, hvorfor der også er opstillet krav om afsugning fra disse.

Disse krav er endnu ikke nået til Danmark, men det må forven-

tes, at man herhjemme i en overskuelig fremtid må tage lignende foranstaltninger, hvorved skemaets pkt. 6 jo bliver noget tvivlsom.

For Polyamid-gruppen er under pkt. 2 anført "mindre friktion". Denne karakteristiske egenskab betyder for f.eks. rørmøbler større modstandsdygtighed med samme lagtykkelse over for slid, f.eks. fra sko og støvler, for vandførende rørsystemer større gennemstrømning pr. tværsnitshenhed end ved anvendelsen af andre materialer.

Sluttelig skal vedrørende skemaet bemærkes, at der af den termohærdende gruppe bevidst kun er nævnt Epoxy, da dette i dag er langt det mest anvendte produkt. Når der f.eks. til facadeplader ikke er nævnt Acryl- eller Polyester-pulver skyldes det, at erfaringsmaterialet med disse produkter endnu ikke er så omfattende, at en anvendelse til disse formål kan tilrådes.

Vi har nu slået fast, at en væsentlig årsag til anvendelsen af plastpulver er, at man normalt kan nøjes med een påføring og derved opnå en tykkere (og forhåbentlig poretæt) belægning i een påføringsoperation.

Dette er imidlertid en stærkt betinget fordel, og om disse betingelser vil resten af mit indlæg handle.

Når man betjener sig af eengangssystemer, skærpes kravene til alle de faktorer, der betinger et godt resultat af enhver overfladebehandling, dvs.:

- 1) Konstruktionen af det produkt, der skal belægges.
- 2) Afrensningen og forbehandlingen.
- 3) Det anvendte pulvermateriale.
- 4) Den anvendte påføringsteknik.

Resten af mit indlæg vil følge denne disposition, dog med en ekstra opdeling i termohærdende og termoplastiske produkter.

FEJL:

Viser sig ved:

1. Forårsaget af emnet.1.1. Konstruktionen.1.1.1 Varierende godstykkelse.

Optræder overalt, hvor plader er punktsvejset sammen, hvor f.eks. rør og massivt profilmjern svejses sammen.

Ved termoplastiske materialer er det vanskeligt at opnå ensartet uds melting. Dette ses umiddelbart af, at pulveret evt. ikke er smeltet på det tykke gods. De termohærdende materialer "sladrer" ikke umiddelbart, idet pulveret nok smelter, men ofte ikke når at gennemhærde på de tykke steder. Resultatet vil blive afskalning.

1.1.2. Skarpe kanter er den almindeligst forekommende fejl ved produkter, der skal belægges. Forekommer også, hvor man anvender opløsningsholdige malervarer, men der kan man bedre give kanten "en extra gang".

I sinterøjeblikket, hvor pulveret er flydende, trækker det sig væk fra kanterne, der derfor kun får 25% af fladens lagtykkelse. Der opstår kantrust med evt. senere afskalning til følge. En enkelt type nylonpulver er stabiliseret derimod og giver 75% dækning på kanter.

1.1.3. Svejsninger.

Alt for ofte er svejsninger porøse og fyldt med skarpe kanter og svejseklatter.

I modsætning til traditionelle malingssystemer trænger pulvermaterialer ikke ind i porerne. Tværtimod vil luften fra en sådan pore trænge ud gennem den sammensintrende plast og efterlade et "pinhole", hvorigennem omgivelsernes fugtighed

## FEJL:

## Viser sig ved:

1.1.3. fortsat:

vil trænge ind til metaloverfladen og starte en rustdannelse. På skarpe kanter og svejseklatter vil lagtykkelsen være for ringe.

1.2. Legeringer.

Her tænkes især på de ædlere metaller, f.eks. rødgods, der indeholder små mængder Zn.

Under opvarmningen til sintrings- hhv. hærde-temperaturen trænger små mængder Zn ud til overfladen og ødelægger vedhæftningen. Fejlen viser sig ofte først efter ½-1 års forløb, især ved kraftige temperatursvingninger.

2. Dårlig afrensning og forbehandling.2.1. Afrensningen.2.1.1. Fedtrester.

Pulvermaterialer er mere følsomme over for fedt end traditionelle malervarer. Selv svage spor af fedt vil medføre afskalninger.

2.1.2. Rust.

Selv svage spor af rust vil, især for de termohærdende materials vedkommende medføre opkogning og afskalning.

2.1.3. Glødeskal.

Det samme gælder for glødeskalsrester. Det må derfor frarådes at anvende anden sandblæsningsgrad end SA3 med kvartssand el. korund.

FEJL:

Viser sig ved:

2.1.4. Flus.

Vil altid medføre afskalning. Fjernes ved sandblæsning, dypning i eller blæsning med varmt vand.

2.2. Forbehandlingen.

2.2.1. Grovkrystallinsk fosfatering (Zn-fosfatering) indeholder krystalvand. Dette vil uddrives ved temperaturer over 200° C.

Zn-fosfatlaget brister og belægningen skaller af. Afskalninger vil ofte være grå på bagsiden.

2.2.2. Jernfosfatering.

pH-værdien i sidste skyllebade falder.

Dette er især farligt for aminohærdende termohærdende materialer. Vil forårsage afskalninger.

2.2.3. Varmforzinkning, også i form af senzimirforsinkning.

Temperatursvingninger og fugtighed medfører afskalning af termohærdende pulvere og termoplastiske pulvere, påført ved hvirvelsintring. Polyamid 11 (Rilsan) påført ved elektrostatisk sprøjtning er ok, da der findes specialprimer.

En fosforsyrebehandling kan muligvis hjælpe, men man har endnu for ringe praktisk erfaring.

Chromatisering af varmforzinkning, f.eks. som den forefindes på senzimirforzinket plade fra værkerne.

Ved temperaturer over 180° C vil zinkchromaterne løsne sig fra underlaget og medføre afskalning.

FEJL:

Viser sig ved:

3. Fejl, hidrørende fra det anvendte pulver.

3.1. Termoplastiske materialer ved hvirvelsintring.

3.1.1. Pulveret "flyder" dårligt i karret, som regel forårsaget af forkert lufttilførsel eller (ved PVC og PE) som følge af fugtighed.

3.1.2. Nogle pulvertyper (især af PVC-typen) "støver" meget grundet evakuering af de mindste partikler.

3.1.3. Pulveret fraspalter klorgas under sintringen (kun PVC).

3.1.4. Pulveret har for lav smelteviscositet.

3.2. Termoplastiske materialer til elektrostatisk påføring.

3.2.1. Der anvendes forkert poling på generatoren. Som regel skal der anvendes + poling.

Forårsager ujævn belægning, i værste fald med kraterdannelser eller "pinholes" til følge.

Vil med tiden forårsage kraftig orange-effekt og kraterdannelser.

Ved hurtig afkøling og størkning af belægningen kan inde-sluttet klorgas medføre begyndende rustdannelser.

Plane flader vil få et smukt glat udseende, men selv runde kanter vil blive for tyndt belagt (er mørke allerede umiddelbart efter belægningen).

Der opnås for ringe og uensartet lagtykkelse. Ingen indtrængningsevne i hjørner.

## FEJL:

## Viser sig ved:

3.2.2. Det genvundne pulver fra cyklonen regenereres og aflades ikke.

Overfladen bliver uensartet, fyldt med knopper og i værste fald kraterdannelser.

3.2.3. Pulveret klumper sammen i anlægget og forlader pistolen i klatter, enten som følge af uhensigtsmæssigt rørsystem eller (ved PVC) forårsaget af fugt.

Overfladen bliver uensartet med store forskelle i lagtykkelsen, hvilket også medfører uensartethed i farvenuancen.

3.2.4. Siliconesmitte kan optræde, hvis f.eks. en ventil i det elektrostatiske sprøjteanlæg er smurt med siliconefedt.

Resultatet vil blive en meget voldsom dannelse af kratere over hele overfladen.

3.2.5. Olie og fugtighed hidrørende fra trykluftsystemet.

Vil medføre kraftige kraterdannelser. I grove tilfælde vil hvert krater være omgivet af en let brunfarvet ring.

3.3. Termohærdende materialer, elektrostatiske påføring

3.3.1. Det genvundne pulver bliver kun sigtet, men aflades ikke og opblandes ikke med nyt pulver, hvorfor der sker en forskydning i pulverspektret (for mange store pulverkorn).

Overfladen får en mere eller mindre udpræget orange-effekt grundet dårlig sammenflydning. Der er stor fare for usynlige luftlommer i det hærdede lag. I værste fald opstræder kraterdannelser og pinholes.

3.3.2. Sammenklumpning kan forekomme af samme årsag som ved termoplastiske materialer. Kan her meget vel skyldes fugtighed.

Medfører samme udseende som under 3.2.3., men vil her let medføre skjulte luftlommer.

## FEJL:

## Viser sig ved:

3.3.3. Siliconesmitte.

Som 3.2.4.

Samme resultat som ved 3.2.4.

3.3.4. Olie og fugtighed  
fra trykluftsystemet.

Som 3.2.5.

3.3.5. Pulveret indeholder fra fabriken forbrændte, men formalede partikler, der er usynlige med det blotte øje.

Overfladen bliver som sandpapir at føle på.

3.3.5. Hvor der er tale om stor forbisprøjtning og dermed gentagne gange anvendelse af det samme pulver med ringe iblanding af nyt pulver, kan der ske en forskydning i forholdet polymer/hårder.

Resultatet vil ikke umiddelbart kunne ses på overfladen, men den færdige belægning bliver enten for blød eller for sprød med reduceret vedhæftning til følge.

3.3.6. Ved de hurtighærdende pulvermaterialer er der - specielt ved store lagtykkelser - en risiko for, at fri-givne luftarter ikke når at evakuere, før laget begynder at hærde. Denne risiko for-øges, hvis ovnen ikke følger "idealkurven" (se fig. 1.).

Resultatet kan blive indesluttede luftlommer, der naturligvis reducerer belægningens korrosionsbeskyttende egenskaber (se microfotos fig. 2.). Konklusion : Ved store lagtykkelser (over 100 um) må der anvendes langsomthærdende pulvertyper, hvor der kun foregår en ren sintring.

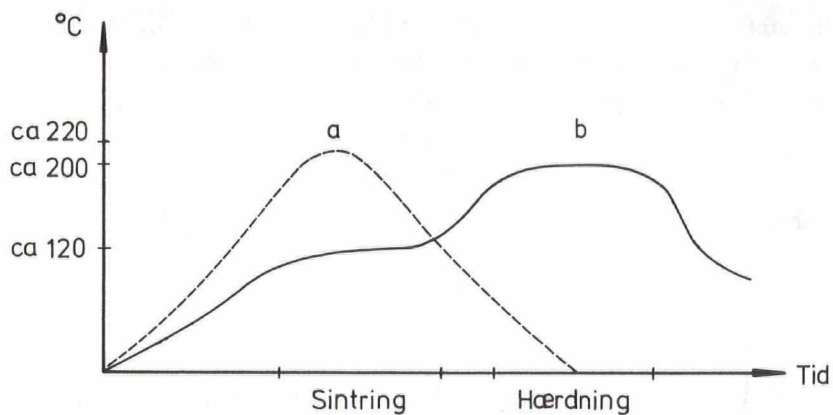


Fig. 1. Temperaturkurver for henholdsvis termohærdende (a) og termoplastiske materialer (b).

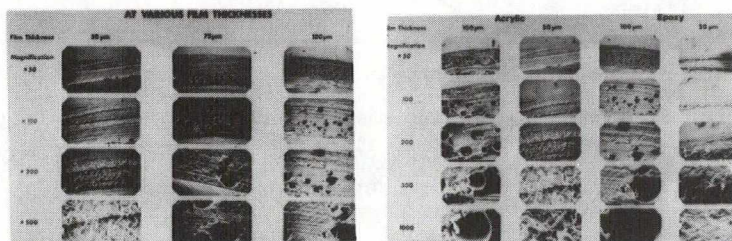


Fig. 2. Microfotos 50-1000 x forstørrelse af snit i belægnin-  
ger, hvor hærdningen har foregået for hurtigt med  
dannelsen af luftlommer til følge.

FEJL:

3.3.7. En "overbrænding" af de hurtighærdende materialer forekommer let, især ved emner med stærke variationer i godstykkelsen.

Viser sig ved:

Medfører tab af elasticitet. (Se nedenstående fig. 3). Det ses, at de hurtighærdende materialer har et tydeligt maximum.

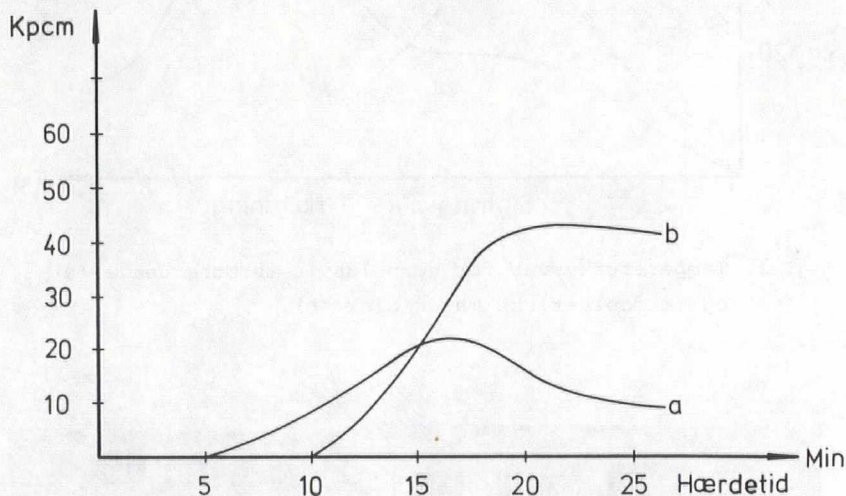


Fig. 3. Sammenhæng mellem hærdetid og faldprøveresultat ved (a) hurtighærdende og (b) langsomhærdende Epoxy. (Dr. Fil. Nils Sundén, Malmø).

#### 4. Fejl hidrørende påførings- tekniken.

##### 4.1. Ved hvirvelsintring. Termoplastiske materialer.

4.1.1. For kraftig forvarmning. Forekommer hvis ovntemperaturen er for høj eller hvis man lader emnerne blive for længe i ovnen. Viser sig ved, at primeren bliver sort.

Primeren er forkullet og har mistet sin vedhæftningsevne såvel til metal som til plast. En vedhæftningsprøve medens belægningen er ny kan vise god vedhæftning, selvom laget føles

## FEJL:

## Viser sig ved:

4.1.1. fortsat:

sprød. Ved temperatursvingninger vil belægningen imidlertid løsne sig.

4.1.2. For ringe forvarmning.

Dette er knap så farligt, da belægningen straks "sladrer" ved at være ru i overfladen. Belægningen kan reddes ved eftervarmning i ovnen.

4.1.3. For ringe bevægelse af emnet i pulverbadet.

Viser sig ved pinholes på de "døde" flader eller kanter.

4.1.4. For kort dyppetid.

Laget bliver for tyndt og fyldt med kratere.

4.1.5. Porøsiteter i støbegods kan være et problem. Store porøsiteter (over  $\frac{1}{2}$  mm  $\emptyset$ ) kan det være nødvendigt at lukke med en passende ovnkit.

Efter dypningen dannes der bobler, der brister og efterlader et hul i laget. Afhjælpning: Forvarmning til ca. 200°C før priming. Primeren suges da ned i porerne og lukker dem. Efter nogle minutters forløb opvarmes til sintertemperatur. Emnet dyppes 1 x i ca. 2 sek. under kraftig bevægelse, tages op i 15-30 sek. og dyppes derefter i 5-6 sek. Vandafkøling må aldrig anvendes.

4.2. Ved elektrostatisk påføring. Termoplastiske og termohærdende materialer.

FEJL:

Viser sig ved:

4.2.1. Dårlig jordforbindelse

er meget almindelig, fordi ophængningskroge ikke renses ofte nok (eller aldrig). Derved opbygges et flere mm tykt lag af den pågældende plast, som virker isolerende.

4.2.2. Der anvendes for lav spænding på generatoren.4.2.3. Der anvendes for høj spænding på generatoren.4.2.4. Manglende omhu ved manuel sprøjtning.

4.2.5. Uensartet ovntemperatur fra top til bund eller fra side til side. Konstateres let ved at lade termoelementer følge med gennem ovnen.

Sprøjtetiden forlænges betragteligt. Det kan endog blive umuligt at opnå tilstrækkelig lagtykkelse. "Omgrebet" bliver for ringe. Der opstår fare for dannelsen af "varme" gnister, der kan antænde pulverskyen i kabinen.

Pulveret "tiltrækkes" ikke af emnet. Belægningstiden forøges betragteligt eller der opnås for ringe lagtykkelse.

De store pulverkorn frastøder hinanden, hvorved opnås en uensartet belægning og kraterdannelser. Pistolen trækker mange "kolde" gnister, der efterlader huller i belægningen. Ingen belægning indvendigt i hjørner grundet farraday-effekten.

Belægningen bliver uensartet. Hjørner og hulrum dækkes utilstrækkeligt.

Ved termoplast: Pulveret smelter uensartet, nogle steder måske slet ikke.

Ved termohærdende materialer: Der er muligvis intet at se på belægningen, hvis pulveret er

FEJL:

Viser sig ved:

4.2.5. fortsat:

smeltet overalt. Men pas på:  
Belægningen vil ikke være fuldt  
gennemhærdet overalt med deraf  
følgende senere afskalninger.

4.2.6. Pulveret trækker under  
sintringen væk fra kanterne  
på emnet.

Indgangstemperaturen i ovnen  
er for høj.

4.2.7. For stor lagtykkelse,  
kombineret med for hurtig-  
hærdende pulver (kun termo-  
hærdende).

Stor risiko for dannelse af  
luftlommer som vist i fig.2.

I forbindelse med dette pkt. skal især peges på, at det er særdeles vanskeligt - for ikke at sige umuligt - at opbygge store lagtykkelser af hurtighærdende materialer ved flere gange sprøjtning f.eks. indvendigt i beholdere eller rør.

Ved sådanne operationer er man nødt til at anvende forvarmede emner, hvilket medfører, at det første lag - der påføres - omgående smelter og begynder at hærde (ikke mindst på grund af strålevarmen). Det næste og følgende lag vil derfor blive påsprøjtet det allerede delvist hærdede første lag, hvorved opnås en dårlig sammenflydning, meget kraftig orange-effekt, mange luftlommer og dermed manglende poretæthed.

Til rør- og beholderbelægning bør man således anvende langsomhærdende pulvermaterialer eller - endnu bedre - et passende termoplastisk materiale, hvor der kun foregår en ren sintring. Med termoplast kan opbygges lag helt op til 1 mm tykkelse uden risiko for luftlommer.

#### SLUTNING

Efter så mange advarsler kunne en og anden måske føle trang til at ræsonnere: "Plastbelægning/pulverlakering er åbenbart

forbundet med så store usikkerhedsmomenter, at man skal holde fingrene væk".

Så galt er det dog heller ikke, men jeg har med dette indlæg ønsket at bidrage til, at de teknikere, der sidder i de specificerende led, såvel som de, der har ansvar for udvikling, konstruktion og produktion, vil få øjnene op for, hvor nødvendigt det er, at specifikationerne er grundige, da det nu en gang kræver større omhu i alle facer, når man arbejder med eengangssystemer.

Man kan ikke kraftigt nok understrege nødvendigheden af at udnytte den konsulenttjeneste, der tilbydes fra institutioner og de mest seriøse leverandørfirmaer.

Vil De bruge underleverandør - vær da omhyggelig med valget. Se ikke bare på prisen, men specificer nøje Deres kvalitetskrav. Vil De etablere egen afdeling for sådanne belægninger skal slutteligt lyde følgende råd:

- 1) Vælg seriøse leverandører af anlæg.
- 2) Undersøg nøje de pulvermaterialer, der er på markedet, såvel termohærdende som termoplastiske.
- 3) Lær udviklings- og konstruktionsafdelingen, at Deres produkter må være forberedte til plastbelægning.