

**Trwałość budowli i ochrona przed korozją
Kontra '86**

Wrocław 1986



PRACE NAUKOWE POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ

Scientific Papers of the Institute of Building Engineering
No 49 of the Technical University of Wrocław No 49

Conferences

No 15

1986

Durability of buildings
and
protection against corrosion

Prace Naukowe Instytutu Budownictwa
Politechniki Wrocławskiej

49

Seria:
Konferencje

15

● **Trwałość budowli
i ochrona przed korozją
KONTRA '86**

VII konferencja naukowo-techniczna

Szklarska Poręba, 20 – 22 października 1986



Organizatorzy konferencji:

Komitet Trwałości Budowli Zarządu Głównego Polskiego Związku
Inżynierów i Techników Budownictwa

Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

Instytut Trwałości Budowli i Korozji Politechniki Świętokrzyskiej

Instytut Inżynierii Łądowej Politechniki Szczecińskiej

Centrum Usług Techniczno-Organizacyjnych Budownictwa

CUTOB – PZITB we Wrocławiu

Komitet naukowy konferencji

Jędrzej KUCZYŃSKI, Janusz WIŚNIEWSKI

Redaktor naczelny Prac Naukowych

Jerzy CIEKOT

Redaktor naukowy

Lech ŚLIWOWSKI

Artykuły przyjęte od Autorów bez poprawek merytorycznych
zakwalifikował do druku Komitet naukowy konferencji

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1986

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

ISSN 0324 – 9883

Nakład 350 + 50 egz. Ark. wyd. 19. Ark. druk. 17. Papier offset. kl. III, 70 g, B1.

Oddano do druku w sierpniu 1986 r. Druk ukończono w październiku 1986 r.

Zakład Graficzny Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 3048/86 – J-9 – Cena zł 190,-

Key words:

corrosion resistance, powder coating, surface finishes

Richard A. BAREŠ *

NEW GENERATION OF SURFACE FINISHES BY POWDER COATING

SYNOPSIS

Principles of finishing based on electrostatically applied powder. Main principles of the correct application of the powder coating technology and the criteria for the selection of powder, the possibilities of the plant and the methods of pretreatment, the fields of application, advantages and disadvantages of powder coating.

1. INTRODUCTION

As a majority of good ideas the principle of finishing based on electrostatically applied powder is actually exceptionally simple and elegant. From the very first introduction of this process at the end of the fifties the indubitable economic, technical as well as environmental advantages of powder coating have been obvious already in the course of the first decade. The subsequent development of production technology and the expansion of powder assortment then resulted in the contemporary revolutionary change of the whole finishing industry.

In contradistinction to the liquid varnishes consisting of the resin as binder, pigments and at least 50 % of the solvent as the bearer of solid particles the powder is merely a solid material, containing the resin, the pigment, the hardener and liquefiers, entirely devoid of solvents. While in the case of a liquid varnish maximally 50 %/usually 40 %/ of their weight is used for the actual coat, the powder is used totally. In the process of liquid varnish application at least 10 % of dry matter is lost as overspray. Powder overspray, on the other hand, can be recycled.

Solid particles of the dry powder of the dimensions below $100 \mu\text{m}$, which are electro-insulating, as a rule /with a volume resistivity of about $10^{12} \Omega \text{m}$ / are charged electrically by means of a high voltage generator /30 - 1000 kV/ and conveyed in a special booth to the grounded, pretreated workpiece in the current of air, e.g. by means of sprayguns or on fluidized beds /Fig. 1/.

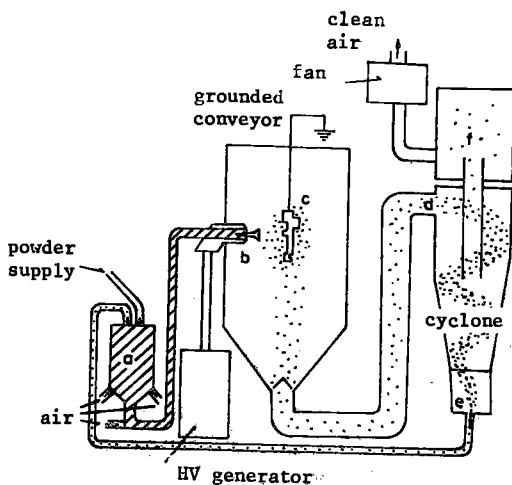


Fig.1 Diagram of a powder coating plant
 a- powder is fluidized by air in the hopper and conveyed by low pressure air to the spraygun
 b- at the outlet of the electrostatic gun every powder particle is electrically charged
 c- the charged powder is attracted to the workpiece grounded by means of its transport suspension
 d- particles which are not deposited on the workpiece are exhausted from the booth and collected in the cyclone unit
 e- from the cyclone unit the powder is returned to the hopper
 f- the air flowing through the cyclone passes through a system of filters to intercept remaining powder particles before let out into the atmosphere

* Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czechoslovak Academy of Sciences, Prague, Czechoslovakia

When the particle with an electrostatic charge reaches the immediate proximity of the grounded workpiece, the attractive forces of the charges ensure sufficient adhesion of the powder particle to the base. The particles are arranged uniformly on the front and the rear faces of the object, on its edges and corners. For the powders with the resistivity in excess of some $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ the drop of charge is sufficiently slow to maintain the adhesion forces for several days. The powder which does not adhere to the coated workpiece is exhausted and recycled. When it has been coated with powder the workpiece is exposed to a temperature of $130 - 200^\circ \text{C}$ in a drying oven for a period of 1.5 - 25 minutes /according to the type of powder and size of the workpiece/. The powder melts and forms a continuous solid film. Further heat application produces a chemical reaction in which the resin cross-links and gives rise to a fully hardened integral coating of uniform thickness within the range of $40 - 100 \mu\text{m}$ /usually $40 - 60 \mu\text{m}$ /. Thinner coats $/30 - 40 \mu\text{m}/$ can be achieved using specially formulated powders; the thickness below $25 \mu\text{m}$ cannot be achieved by this technology. The application of the powder to preheated objects makes it possible to form coats over $100 \mu\text{m}$ thick in one step; when special powders are used, the coat thickness can attain as many as $350 \mu\text{m}$. The contemporary powder market enables the provision of practically any type of finish, from highly glossy to matt, from smooth over metallized to hammered and structured surfaces for use in both interior and exterior environments.

The advantages of powder coats follow out of a comparison with conventional liquid stoving varnishes. Their economic advantages are determined by the following aspects:

- no primer application /which requires drying before the definite coat application/;
- the powder coat can be applied by unskilled labour or by a fully automatic equipment;
- no liquid paint ventilation necessary before the object is placed in the drying oven, which saves time and space;
- no heating control, necessary in case of liquid varnishes. The heating of powder coats is short and steep, which results in space economy due to the use of shorter drying ovens;
- no contamination of the shop and its equipment with sprayed paint and their frequent and complex maintenance, usual in the case of liquid varnishes. The powder coating technology requires only exhaust and brush for maintenance;
- no overspray losses and no losses of solvent evaporating in the air. Modern coating systems enable 95 % powder utilization;
- the liquid varnish spraying shops must be provided with exhaust equipment to ensure the exhaust of solvent vapours in the atmosphere, while the air movement in the powder coating shops is minimal, which results in high economy of shop heating;
- no mixing and dilution of paints and viscosity tests, which results in time economy.

The technical advantages of powder coatings are due to the following facts:

- powder coatings made of specially formulated resin systems are on top of and without competition in the field of finishes with regard to both corrosion and mechanical resistance /e.g. an epoxy coat $50 \mu\text{m}$ thick can withstand damage 250 hours of spraying with coarse salt solution with sand/;
- a single-layer powder coat usually affords the same use-value and considerably longer service life than the majority of multi-layer liquid varnish systems;
- if the surface coverage with powder before stoving has been improper, the powder can be removed and re-used and the object can be coated again;
- powder coatings can be covered with another layer of powder or liquid varnish at any time;
- there is no running, creasing, folding or tearing in the case of powder coats;
- with regard to toughness, durability and uniform thickness of powder coatings the requirements imposed on coat thickness can be reduced or the standard service life can be extended;
- mechanical resistance of powder coats enables further machining of powder-coated parts, their assembly and transport in containers without damage.

The third group of advantages of powder coatings is connected with environment:

- as no solvents are used, the danger of fire is reduced significantly and cleanliness and hygiene of working environment is ensured;
- air pollution is entirely eliminated;
- valuable raw materials required for the manufacture of resins and diluents are economized;
- there are no problems of solid waste storage /from oversprays/ and the processing /combustion/ of waste vapours;
- energy is economized by the single stoving of a single-layer system;

. no special storage requirements /with the exception of dry and cold environment/.

Although the costs of powders are usually higher than those of liquid varnishes, the introduction of powder coating technology results in considerable economy in the end, due primarily to the following factors:

- . lower investment costs of the production plant,
- . lower energy consumption of stoving ovens,
- . smaller plant area,
- . lower number of workers,
- . smaller extent of damage to products during transport and assembly,
- . reduced air pollution,
- . elimination of waste processing,
- . elimination of defective products,
- . possibility of wide application of automation.

The result is that a 50 μm thick powder coating equals in costs a 30 μm thick wet process coating.

However, since usually it is never possible to get something for nothing, there are also some disadvantages and difficulties connected with the powder coating technology which must be taken into account:

- . the technology necessitates special application plant and, possibly, a powder recycling plant,
- . the change of colour in production can be carried out more slowly than in the case of liquid paints,
- . powders of different colours cannot be blended to make a certain colour shade as in the case of liquid paints,
- . the process requires new personnel training.

The rate of increase of powder coating application exceeds several times the rate of growth of industry as a whole. New fields of powder coating application are found almost every day. Let us mention at least some of them: domestic appliances, selling machines, tubular, hospital, office, garden and camping furniture, business facilities /incl. computers, typewriters, copiers and fountain pens/, metal toys, tools, workshop and laboratory equipment, lighting fixtures, industrial machines, gas bottles, dairy equipment, air compressor housings, tractor, agricultural machinery and lorry driver's cabins, lorry frames, bicycle and motor bicycle frames, exterior and interior car accessories /bumpers, window frames, door handles, mirrors, brake parts, etc./, highway accessories, scaffolding, rebars, fences, window and door frames, radiators, air-conditioning, wall panels, pipes, transformer stations cooling plants.

From the overall powder consumption /about 50 000 t in 1983 and some 68 000 t in 1985/ in West European countries /15/ most was used, on the average, for the manufacture of metal furniture and metal sheets and wires /about 30 %/, for the building industry /some 20 %/ and automotive industry /some 20 %/. About 10 % of powder was used for domestic and business appliances, some 9 % for the protection of heavy products /pipes, industrial structures/, some 5 % for engineering industry and the remainder for miscellaneous purposes. There are considerable differences among the individual countries in the application fields, determined particularly by local industrial conditions. For instance, the Netherlands consume most /41 %/ powder in the building industry /window frames, wall panels/, Belgium uses much powder for the protection of reinforcement for R.C. structures, similarly as the U.S.A, /2, 5/. The building industry prevails also in Spain, F.R.G. and Switzerland /26 %, 26 % and 41 % respectively/. In Italy over 24 % is used in the automotive industry /e.g. the whole new FIAT 126 model/, similarly as in Japan /primer of the whole car and top coat of some parts of the Honda, for instance/ and in the F.R.G. /e.g. the primer of exterior and interior surfaces of the Volkswagen/. In Austria, similarly as in Denmark, the Netherlands and the United Kingdom, powder coating is used to a considerable extent for wheel discs, tractor cabins, wall and floor panels and other metal structures in hospitals for their excellent resistance to alcohols, aldehydes, chlorine derivatives, phenols and disinfection detergents. In the F.R.G. the protection of radiators of all types and sizes as well as decorative matt surfaces of bottles /e.g. Remy Martin/, formerly produced by etching or sand-blasting/, is widely used. The application of powder coatings to motorcycle frames in the U.K. /Triumph/ made it possible to increase the service life in combined service conditions at least ten times while reducing considerably their costs.

2. POWDERS

An effective powder application by electrostatic method depends particularly on sufficient fineness of the powder /mean particle diameter roughly below $100\ \mu\text{m}$ /, grading /which must be relatively narrow/ and elimination of very fine particles $<1\ \mu\text{m}$ / which cannot be charged. Thermoplastics are generally tough materials. It is relatively difficult to disintegrate them by mechanical methods into particles of the above mentioned size without special /and, consequently, costly/ methods /such as cryogenous grinding or precipitation from a solution/. For this reason the number of thermoplastics available for electrostatic application is very low. Most important are polyamides /polyamide 11 and 12 in Europe, in U.S.A. also polyamide 13/ and polyester based on terephthalate acid /used mostly in the U.S.A./ . Their disadvantage is the necessity of priming to achieve sufficient adhesion. Electrostatic application can be used also for other highly specialized materials, such as polyvinylidene fluoride, perfluoroethylene propylene and polyphenylsulfide, characterized by a high chemical resistance at high temperatures. The majority of electrostatically applied coating powders are of thermosetting resins which are fragile in the non-cross-linked state /state B/ and can be easily disintegrated into fine particles, but afford extremely tough material after their melting on the surface of the coated object and their hardening /cross-linking/.

At the beginning of application of the powder coating technology /at the end of the fifties/ epoxy resins were used almost exclusively, giving glossy or semi-glossy surface in the majority of cases. These powders were produced by discontinued process, and although their appearance and chemical resistance were standard, they showed considerable variability and long curing times. The possibility of introduction of speedier systems and use of other resins was afforded by the continuous production process using kneading extrusion machines. Although epoxy resin powders still prevail, the production of powders of other resins speedily increases /Fig. 2/ /15/. Together with the development of further surface alternatives /low lustre, dull, hammered, textured, metallized and colourless/ these possibilities cover the wide range of users' requirements and enable the powder coating application in still further fields /1/.

2.1 Epoxy resins

Epoxy resins afford extremely tough coatings, with a reasonably high softening point ensuring that there is no blocking of powder at usual temperatures. At temperatures above some 150°C a low viscosity melt originates which ensures good flowout and wetting of the substrate which contributes to the characteristically excellent adhesion of these materials to the most varied bases. The resins can be cross-linked either by amine curing agents /most frequently used, affording the possibility of finish with a variety of gloss levels/ or acid anhydrides. Both systems can be catalyzed to ensure short stoving times. The chemical stability of the system at room temperature remains high and the storage period /"shelf-life"/ is of the order of months and even years /the usual guarantee period being 1 year/. Acid anhydrides are less frequently used, particularly because of production difficulties. However, the top coats are excellent, of high hardness and resistance to high temperatures /and, therefore, used particularly for consumer goods/. They can be cured also in the so-called "foul ovens" in which the

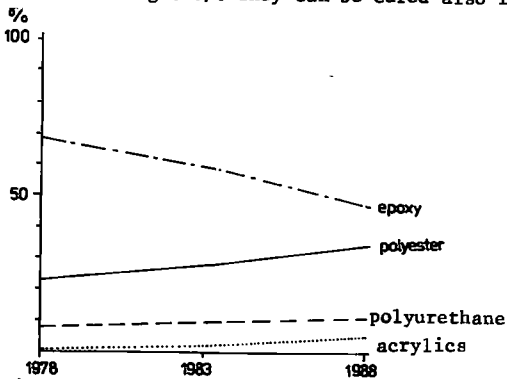


Fig.2 Relative development of thermoset powder production /15/

presence of acid vapours eliminates the use of amine curing agents.

Epoxy metallized coatings compete with conventional chromium plating. The hammer finishes and textured coatings which can be produced also as metallized coatings, afford a wide range of possibilities for structural and decorative applications /e.g. even with the appearance of antique metallic finishes/. The market offers currently also powders for thin films, ideal for the coating of large area objects. When combined with automated production methods the $30 - 40\ \mu\text{m}$ coatings enable considerable cost reduction. Also powders for very thick $350\ \mu\text{m}$ coatings with a curing period of $1.5 - 2.0\ \text{min.}$ at 190°C

- 230°C are available, which are used mainly for pipe coating requiring mechanically resistant, tough coat even at extreme temperatures /6/.

Epoxy powders have also some disadvantages, such as lower resistance to UV radiation /surface degradation/, accompanied by the loss of surface gloss due to chalking, and a lower resistance to higher temperatures accompanied by the tendency to darkening. These disadvantages resulted in the development of other materials /e.g. polyester powders/ capable of retaining their appearance even in these conditions.

Suitable fields of applications: coating of pipes, interior components of cars and agricultural machines, electrical insulation, car priming.

2.2 Polyesters

The first polyesters, introduced about 1969, suffered from the disadvantage that condensation products were released during the curing reaction which caused the porosity of these coatings, particularly if less than 75 μm thick. This problem was solved by the use of other curing agents, the curing mechanism of which is based on the addition reaction. These polyesters have excellent outdoor weathering resistance, retaining constant gloss and colour even after many years' exposure to extreme conditions. Their improved heat resistance enables their use for such items as cooker sides, with considerably better gloss than conventional enamels.

Polyester resins are available in two chemical variants, with either hydroxyl group or carboxyl group termination. The hydroxyl-terminated polyesters can react with acid anhydride to produce finishes of good appearance and excellent mechanical properties. The carboxyl-terminated polyesters can react with epoxy groups and form cross-linked copolymers. The most widely used curing agent is triglycidyl-isocyanurate which ensures finishes with excellent weather resistance and heat resistance.

Although metallic and structured coatings may be made with polyester resin, they are mostly used in the form of smooth glossy coatings only. The reason for this lies in the fact that by these finishes the greatest advantage of polyesters, viz. their resistance to external environment, is lost. On outdoor exposure the metal component in metallized coatings quickly darkens and the coating loses its gloss. In structured coatings external environment can penetrate to the base in the thin places and the structural integrity of the film may be thus lost. Where high corrosion resistance is not important /in the interior/, epoxy resins are more advantageous for structures coatings. Polyester powders are more costly than epoxy powders, some of them requiring higher curing temperatures.

Suitable fields of application: furniture and metal coatings for exterior purposes, building industry /windows, doors, facades/, agricultural machinery and tractors, exterior car components, domestic appliances, mobile kitchens, etc.

2.3 Polyurethanes

The reaction of hydroxyl-terminated polyesters with isocyanates produces a polyurethane coating: the isocyanate is blocked with caprolactam which splits at a higher temperature and allows the reaction to take place. These polyurethane coatings have excellent surface finish and high gloss for smaller coating thickness due to improved melt flow /partly due to the influence of the blocking agent acting as flux/. The disadvantage is that caprolactam is volatile at normal stoving temperature, as a result of which part of it evaporates during stoving and may condense on cooler oven surfaces and flow into the exhaust duct.

Suitable application fields: building industry /window and door frames, facade panels/, agricultural machinery and tractors, motor car components and finishes.

2.4 Epoxy-Polyesters

The carboxyl-terminated polyesters may be used in mixtures with epoxy resins, one resin curing the other and thus forming a hybrid system. These systems are becoming ever more popular as they have excellent gloss, very good mechanical properties and good resistance to high temperatures. In comparison with epoxy resins, however, they show only very little improvement of exterior weathering resistance.

Suitable fields of application: furniture and metal surfaces in interiors, car priming, lighting fixtures and ceiling panels, heating and air-conditioning, domestic appliances, engineering industry, business machines.

2.5 Acrylics

The well-known excellent performance of conventional acrylic stoving finishes initiated also the search for acrylic resins suitable for powder application. This process has not been successful for a long time and it is only recently that acrylic powders have become available which match the solvent systems in their ability to resist degradation under UV radiation. Acrylic powders produce coatings with excellent surface appearance; however, their mechanical properties, although good, do not attain the standard of epoxy coatings.

Another disadvantage is also the incompatibility of acrylics with other powders. The mixing may result in the origin of blisters /ciss marks/ and film imperfections, while the mix of two different epoxy powders, for example, may result in the loss of gloss at the most. Incompatibility is of such degree that makes it impossible to use acrylics powders in the same plant used also for other powders. Apart from that the stability of acrylic powders is markedly lower than that of other types. So far these relatively costly powders are used for special purposes only, and only further development will show whether they will spread at the cost of other powders.

Suitable fields of application: top coats for cars, domestic appliances, agricultural machines and tractors, building industry.

2.6 Epoxy-Phenolics

Solvent-based epoxy-phenolic resin systems have excellent mechanical and chemical resistance properties and are widely used as container linings. Analogous powder systems are now available showing similar properties, used to advantage e.g. for chemically resistant linings of barrels. The basic properties of these coating may be modified in accordance with the mutual ratio of both resins: high epoxy content gives better mechanical properties, while higher phenolic resin content improves solvent resistance. The production of very thin films required for tin /can/ lining still remains a problem.

2.7 Conditions of Powder Curing

Since the curing temperature and period are considerably different for the individual powders produced by different manufacturers, the mean values given in the following table are merely informative. /The values are applied to a metal sheet 1 mm thick. For parts of major thickness the curing period must be extended to make the values correspond with the temperature of the metal, not that of the environment./

Powder type	Temperature	Curing period
Standard epoxy	180 °C	10 - 12 min.
Rapid-curing epoxy	180	5 min.
Slow-curing epoxy	130	15 - 20 min.
Thin-coating epoxy	180	5 - 10 min.
Thick-coating epoxy	180 - 220 x/	1.5 - 5.0 min.
Polyester-epoxy	180	10 min.
Low temperature curing polyester-epoxy	140-160	10 min.
Standard polyester	200	8 - 10 min.
Dull black polyester	210	10 min.
Low temper. curing polyester	140 - 160	10 min.
Rapid curing polyurethane	190 - 200	10 - 15 min.
Acrylate	200	15 - 20 min.

X/ with object preheating.

The specific weight of the powders varies /according to pigment type/ between 1.3 and 1.7 g/cu.cm, the powder requirements /for the mean specific weight of 1.5 g/cu.cm/ vary between 60 and 120 g/sq.m for coating thickness of 40 - 80 μm.

2.7 Factors Influencing Powder Choice

One of the most important factors of powder selection is, naturally, the price. However, it is always necessary to consider the overall coating price, since sometimes a more costly powder can result in a lower film thickness due to a better melt flow and better coverage. Similar circumspection is required with regard to the final requirements imposed on the coating, as the powder price rises speedily with the growing requirements imposed on decorative appearance or exterior durability.

When making a decision concerning the powder selection it is necessary to define well the requested properties of cured coating and the production conditions. In this respect it is necessary to take into account particularly:

- a - physical properties:
 - flexibility - bending test
 - adhesion - tensile test
 - damage resistance - scratch and impact test
 - heat resistance - yellowing test
- b - chemical properties:
 - solvent resistance
 - salt spray and humidity resistance
 - water absorptivity
 - resistance to chemicals
 - stain resistance
- c - outdoor durability:
 - corrosion resistance
 - chalking
 - fading /loss of colour/
 - loss of gloss
- d - production /curing/ requirements/
 - temperature
 - time
 - curing method /fuel, convection, radiant, induction curing/

3. PRODUCTION METHODS

In the process of powder coating it is necessary to ensure two basic steps: to charge the powder effectively and then to convey it effectively to the surface of the object to be coated. Although it looks simple at first sight, experience has shown that it is not so simple as it looks and that a number of problems had to be overcome /8/.

If a sufficient quantity of powder is to be applied, it is reasonable to suppose that the efficiency of charging must be as high as possible. Since the powder is supplied in containers and in an ideal case it is necessary to charge every single particle, it is obviously necessary to disperse first the powder in the air and to expose its particles in this state to some source of electric current. This is achieved either by a spray gun or by means of a fluidized bed, as a rule.

The powder is conveyed to the gun head pneumatically, as a rule. The regular dispersion of the powder mist must be ensured by a careful nozzle design. The powder mist is charged near or directly in the nozzle orifice. Conventional systems relied on one strong electrode, connected to a high voltage source /80 - 100 kV/. The sign of this voltage potential is usually negative with regard to ground. The endeavour to solve the insufficiently high efficiency of particle charging by a voltage increase and thus by an increase of the charging current did not have good results and resulted in poorer coating, as a rule. In the best gun systems the coating efficiency was considered at 60 %. This figure, however, can be considered valid for the first few seconds of the process only. As soon as ionization on the workpiece takes place /9/, the efficiency of charging, and, consequently, also the efficiency of coating drops considerably below this value /14/. This complicates considerably the situation particularly in the cases when frequent colour changes are required, since a considerable portion of the powder remains on the booth walls even if the powder is recycled.

In the fluidized bed the process is almost the same, with the exception of the fact that the powder mist originates in the chamber through which the coated workpiece passes. The single-point electrodes are usually replaced with a system of thin wires. For this reason the charging currents are usually higher than those used in the gun system. Since a limited quantity of powder mist is permanently exposed to the charging

process, the charging efficiency is usually higher than in the gun systems, where the powder actually has only a single opportunity to be charged. Fluidized bed, as a rule, affords markedly greater coating thickness. Both systems are schematically illustrated in Fig. 3.

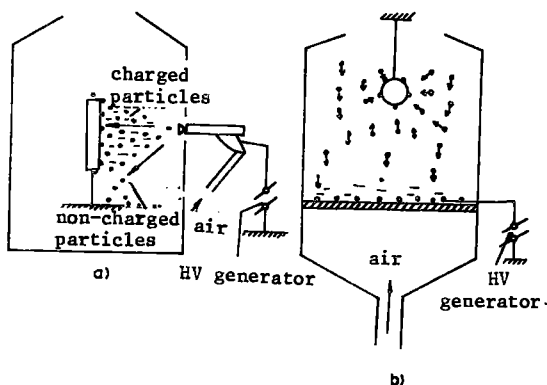


Fig. 3 System of powder charging

- a - conventional spray gun
b - conventional fluidized bed

consequently, apart from a partial potential reduction on the workpiece, also in explosion danger. In the case of spraying booth there is always the problem of maintaining their walls and floors free of overspray even if controlled air flow and powder recycling has been ensured.

The efficiency of the gun system will improve by the inclusion of additional charging electrodes in the so-called tunnel-type spraying booth designed for the coating of a certain workpiece. The conventional guns are designed for smaller powder flow; the charged powder mist passes through the tunnel in a flow of additional air against the passing workpieces. On both tunnel sides there are additional electrodes charging additionally the powder particles which have not received their charge in the gun nozzle. Along the oven floor there runs a resistive band against the air flow direction from which the powder particles rebound back to the powder mist /Fig. 4/. The workpieces are exposed to the powder mist for a relatively long period and the ratio of the overall increase the coating efficiency to over 90 %, which makes the use of recycling equipment unnecessary.

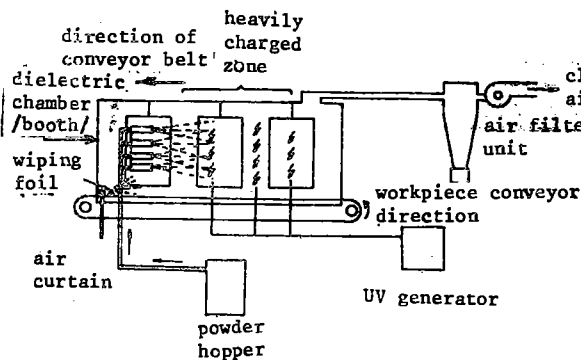


Fig. 4 Schematic drawing of a typical spraying tunnel /8/

Another great problem is the accurate and continuous conveyance of a certain quantity of powder through a pipe of any length. As the high efficiency of powder coating requires accurate material supply, it is impossible to overlook this problem, either.

Further problems connected with powder coating are connected, particularly in conventional gun systems, with the workpiece itself and the booth in which it is situated. In the first place it is necessary that the workpiece be well grounded during powder application. The grounding is usually ensured simply by means of metal suspensions of the workpiece connected with the ground via the conveyor system. After some time, however, the suspensions become covered with a layer of hardened powder which results in sparking between the workpiece and the conveyor rail and,

It is advisable to make the tunnel from a resistive material to minimize the settling of the powder due to the charge accumulation on the walls or to repulse the powder from tunnel walls. The maximum tunnel material resistivity $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, should be lower than $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, to prevent the origin of excessive charge and the danger of electrical discharge in the tunnel.

Entirely safe is the fluidized bed system in which the charging electrodes are placed below a porous slab through which the corona ionized air passes before coming into contact with fluidized powder.

Another hybrid system is so arranged that the sharp electrodes between which the powder mist is driven are placed at certain angles preventing stratification effects, frequently arising in the case of conventional fluidized bed design.

Some new guns charge the powder particles not only in the nozzle, but also inside the barrel and have a higher efficiency, too /higher ratio of the overall charge to the powder mist mass/. The latest gun system developed in Japan /Sankyo Denryo/ uses tripple charge, its barrel being designed as a mini-cyclone /Fig. 5/ into which the air and powder are fed tangentially. This ensures that a high proportion of the powder comes into

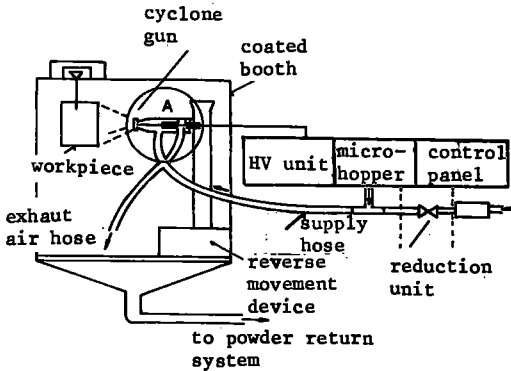
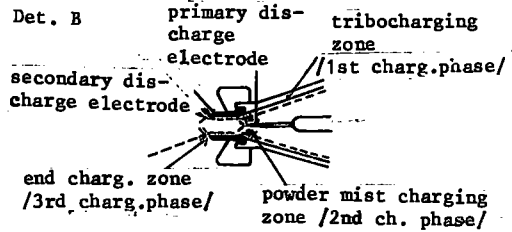
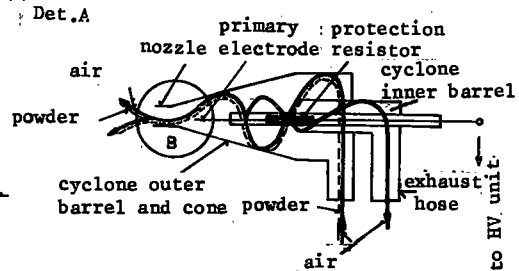


Fig. 5 Schematic drawing of a cyclone gun system /8/



contact with the inner surface of the barrel and is charged by friction. The second corona charging system is situated inside the gun nozzle, and the third is outside of the nozzle. The guns are supplied with the choicable material of barrel and powder feed hoses /which implies the difficulties generally associated with tribo-charging/ and in two sizes /to handle 250 g/min. and 500 g/min. of powder respectively/. The air exhaust can be adjusted and even completely separated from the powder flow within the gun, if necessary. This afford the possibility of either recirculating the air or completely exhausting it from the booth.

Another new system to originate in Japan /University of Tokyo/ is the principle of the so-called "electric curtain" /Fig. 6/ /11/. This is basically an electrical method of preventing the powder from coming into contact with the booth walls, achieved by special curtain panels, which can be used also for moving small quantities of powder along chutes and ducts. This method is particularly useful in the cases when rapid changes of colour are required. The method has been used to advantage

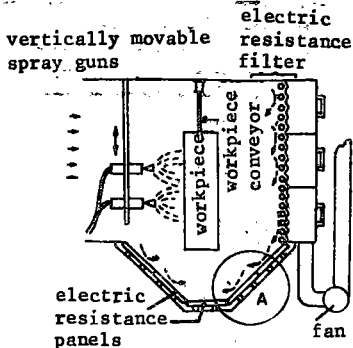
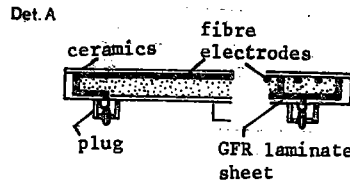


Fig. 6 Design of a spraying booth with an electric curtain /11/



for bottle coating. In this case the panels were used primarily to concentrate the powder mist in that part of the booth through which the bottles pass.

The firms GEMA-GALEN /Switzerland/ and WAGNER /GB/ developed a plant in which the high-voltage current is generated directly in the spray gun, which eliminates losses as well as dangerous and inflexible cables. With the approach to the workpiece with negative charge the voltage is automatically reduced and attains zero at the time of contact, which entirely eliminates the danger of spark discharge /16/.

The combination of a dielectric tunnel with the E.G.D. /electro-gas-dynamic/ ionizers of the fed air instead of guns affords the utilization of 95 - 98 % of powder and enables a very speedy colour changing /7/.

The most up-to-date powder coating processes combine, by means of robots, the powder application and coat curing by the powder application over an induction heating coil, which combines both operations, saves time and space /3/.

An entirely new process consists in the powder coating applied in water. The powder particles are suspended in water into which the workpiece under the influence of electric potential is submerged. This overcomes a number of difficulties of powder application and the technology is nearer that of liquid paint application. In comparison with the immersion into liquid paints a higher coat thickness together with a higher corrosion resistance is achieved and the problems of environmental protection are dispensed with. This process is used in the F.R.G. /Duerr Anlagenbau/ for motor car chassis and lorry driver's cabins coating /3/.

The problems of colour change resulted in the development of various supplementary facilities. The firm Eisenmann Verfahrenstechnik /F.R.G./, for instance, developed a couple of complete filtration elements for two colours. When a different powder is used the second filter is put into position by simple rotation and the whole recirculation plant is ready for further use without the necessity of any other changes /3/.

Also the systems in which the powder charge is obtained by means of friction electricity are beginning to be widely used /e.g. the Intec Maschinenbau system, FRG/. However, friction electricity can be used for the charging of some powders only, e.g. epoxy, acrylic, polyurethane, polyamide and partly also PVC powders. The epoxy-polyester powder cannot be charged at all by this method. The friction of the powder in the ionized channel results in a change of electrical conditions without the use of high-voltage current. The particles which are short of electrons have a positive, those with an excess of electrons a negative charge. No potential between the gun and the workpiece, no electric field and no lines of force originate and the powder mist can pass through the Faraday cage and afford a coating of uniform thickness on all workpiece sides. The triboelectrically charged powder particles react as a magnet, are flatly deposited on the surface of the workpiece and form a smooth surface, as there are no discharges between the individual particles and no disturbances on the surface of the deposited powder layer. Since no spark can originate in the whole process, it can be safely used for the coating of workpieces of even large dimensions, such as tanks, vessels, etc. /3/. Some of the systems, however, have problems connected with the control of powder quantity discharged from the gun.

Further improvements of spray guns are under current development, intended to ensure the possibility of changing the intensity of the powder mist in accordance with the workpiece and powder type used, recirculation equipment enabling perfect mixing of new and return powder and its grading composition, automatic fire extinguishing facilities mounted directly on the gun and filters, etc. The development seems to proceed towards low voltage charging units /of the order of 10 V/ which will eliminate a number of contemporary difficulties and will further significantly reduce the costs of the powder coating finishes.

4. HYGIENE AND LABOUR SAFETY

Although powder coating represents one of the safest and cleanest methods of organic finishes, it is necessary to take into account the dangers involved in fine powder handling. In the first place it is necessary to prevent any powder leakage into working environment in the whole process /danger of dust inhalation/ and eliminate by suitable design the explosion danger in the coating booth.

5. SURFACE PRETREATMENT

The dictum that the quality and durability of the finish is only as good as its weakest link is applicable to powder coating to a greater extent than to other

finishing methods. In many cases this weakest link is represented by the pretreatment of the surface to be finished. Since the process does not involve the use of any solvent, the surface is less tolerant to contamination, particularly by grease and oils. Apart from the grease it is necessary to remove, for instance, lubricants used in the drawing or pressing processes, cutting and machining oils, polishing waxes, particulate contaminants, such as shop dust, smuts, swarf, etc., as well as oxide films, rust and scale. The powder can be applied directly to the cleaned surface. However, more frequently, the cleaning only forms part of a more complex surface pretreatment /4/. Higher quality and durability of the coating can be ensured by some conversion coating process. If any process using water is applied, it is necessary to ensure complete drying of the surface immediately before the next operation /150°C, 7 minutes/. Before powder application it is advisable to degas the surface by heating it to 210°C for about 10 minutes.

Particularly in the case of metal surfaces it is necessary to apply the coating powder immediately after pretreatment to prevent the surface re-contamination with dust, corrosion products, etc. The pretreated workpieces must not be handled by hand other than clad with clean cotton or plastics gloves.

5.1 Cleaning

Cleaning may be carried out by a number of methods, the selection of which depends on the further pretreatment process, the required coating appearance and the type of workpiece. The number of cleaning methods includes mechanical cleaning - wet or dry abrasive blasting, scurfing or grinding, solvent wiping, vapour degreasing, emulsion cleaning, alkali cleaning, acid cleaning, etc.

5.2 Conversion Coating Processes

Two main groups of conversion coating processes are used, as a rule, viz. phosphating and chromating.

Phosphating

For medium weight coating zinc or other phosphates are applied at the rate of 1.5 - 7.5 kg/sq.m of treated surface.

Chromating

is used particularly for non-ferrous metals and galvanized steel and is usually applied by spray or immersion technique.

Etching

is used, if the workpieces are too small or the series to be treated is too small.

5.3 Rinsing

Rinsing is of vital importance in the whole pretreatment process. Insufficient rinsing may cause the contamination to upset the chemical balance of the coating process or to result in the workpiece contamination after its final rinsing and drying.

6. CONCLUSION

The requirements imposed on corrosion protection and the overall quality and appearance of finishes are constantly growing. It is indubitable that the electrostatically applied powder coatings represent an enormously advantageous finishing technique and a marked progress in this field. However, the powder coating technology is but one of the alternative varnishing processes and not a panacea for all finishing problems. In spite of this reservation, however, it should be always considered in the first place.

We have shown briefly the main principles of the correct application of the powder coating technology and the criteria for the selection of powder, the possibilities of the plant and the methods of pretreatment, the fields of application, advantages and disadvantages of powder coatings.

We have accentuated the fact that the result is as good as the application of the whole process which necessitates consistent control of all phases /pretreatment, oven temperature, curing, film thickness, etc./.

However, there is not universal instruction for powder coating. Before deciding about the introduction of this technology it is necessary to collect all information available from users and producers and maximally utilize the experience of experts. The design of a production line and its technology must be solved individually, for every particular case separately. One plant and one technology cannot be expected to fulfill different requirement with the same efficiency and economy.

In the case of the process, which is so different from conventional finishing techniques, it is necessary to learn first how to walk before running. For training purposes it is advisable first to install a small pilot plant using handoperated spray guns, for instance, and only afterwards to design, using an independent consulting engineering office, and build a fully automated production line to cope with the required production. A number of experiences has confirmed the justification of such procedure. A negative example was provided, for instance, by the firm Gestettner /10/ /the biggest world producer of duplicating machines/ which introduced powder coating of all parts of their machines /some 150 workpiece types made of three different metals, from screw heads to machine covers sized 65 x 65 x 10 cm, amounting to some 36 000 pcs per week/ without due preparation and consistent consideration of all factors; it took half a year of intensive labouring before the new technology had become effective. A positive example is that of the firm Triumph /12/. A well thought-out design of a production line for the powder coating of 300 motorcycle frames per week and consistent preparations enabled the plant installation during a fortnight works leave and the repayment of the plant costs by direct economy of paints labour and night-shift extras in the course of the very first year of operation.

In the future further and speedier extension of the powder coating application to all types of materials /metals, glass, plastics, wood, chipboard, etc./ can be expected. This trend has been confirmed by existing statistical data. It is a logical consequence of potential economy of energies, materials, labour and improvement of environment while improving the quality of products. The industry of the CMEA countries should not neglect this trend, especially if it has realistic prerequisites for the production of good quality powders.

REFERENCES

- /1/ Asher A.M., Current trends in powder development, Proc. Progress with Powder, Brighton, 1979
- /2/ ASTM Standard A 775-81, Epoxy coated reinforcing steel bars, ASTM, Philadelphia, 1981
- /3/ Benninghoff H., Powder coating technology, Industrial and Production Engineering, No. 3, 1984, pp. 79-85
- /4/ Bridger R.D.E.L., Pretreatments for powder coating, Proc. Conference Progress with Powder, Brighton, 1979
- /5/ Clifton J.R., Beeghly H.F., Mathey R.G., Nonmetallic Coatings for Concrete Reinforcing Bars, Nat. Bureau of Standards, Building Science Series 65, Washington, 1975
- /6/ Crodalux powder coatings, trade literature Croda Paints Ltd., Harefield, 1984
- /7/ Gourdine M.C., Electrogas dynamics for safe application of water and powder systems, Proc. S.M.E. International Tool and Manufacturing Exposition and Engineering Conference, London, 1974
- /8/ Hughes J.F., Current trends in electrostatic application equipment, Proc. Conference Progress with Powder, Brighton, 1979
- /9/ Hughes J.F., Ting Y.S., The influence of ions on back-ionisation in powder coating phenomena, Proc. 3rd International Congress on Static Electricity, Grenoble, 1977
- /10/ Hull P., Powder for business equipment, Proc. Conference Progress with Powder, Brighton, 1979
- /11/ Masuda S. et al., Electric curtain spray booth for powder coating, Proc. IEEE/IAS Annual Meeting, Los Angeles, 1977
- /12/ Nelson J.R., Powder for motorcycles, Proc. Conference Progress with Powder, Brighton, 1979
- /13/ Phillips D.S., Powder for steel window frames, Proc. Conference Progress with Powder, Brighton, 1979
- /14/ Singh S., Bright A.W., A study of electrostatic deposition of surface films, Proc. IEEE/IAS Annual Meeting, Toronto, 1978
- /15/ Venlet C., The European scene, Proc. Conference Progress with Powder, Brighton, 1979
- /16/ Wagner, The electrostatic concept with the optimal changing system, fir. lit., Everspray Ltd. Banbury, 1984.

Richard A. BAREŠ

NOWA GENERACJA ZABEZPIECZEŃ POWIERZCHNIOWYCH ZA POMOCĄ POWŁOKI PROSZKOWEJ

Tłumaczenie

W pracy przedstawiono zasady wykonywania zabezpieczeń z wykorzystaniem proszku nakładanego elektrostatycznie. Podstawowe zasady właściwego zastosowania technologii powłoki proszkowej oraz kryteria wyboru proszku, możliwości przemysłowe i metody obróbki wstępnej, dziedziny zastosowania, zalety i wady powłoki proszkowej.

1. WSTĘP

Jak większość dobrych pomysłów, zasada zabezpieczania oparta na elektrostatycznie nakładanym proszku jest w rzeczywistości wyjątkowo prosta. Od chwili wprowadzenia zabezpieczeń proszkowych pod koniec lat pięćdziesiątych, niewątpliwe zalety (ekonomiczne, techniczne, jak również w zakresie ochrony środowiska) powłoki proszkowej stały się oczywiste już w pierwszym dziesięcioleciu. Rozwój technologii produkcyjnej, który później nastąpił, oraz rozszerzenie asortymentu proszków doprowadziły do rewolucyjnej zmiany w całym przemyśle antykorozyjnym.

W przeciwieństwie do lakierów płynnych składających się z żywicy jako spoiwa pigmentów oraz co najmniej 50% rozpuszczalnika jako nośnika cząstek stałych, proszek to tylko materiał stały zawierający żywicę, pigment, utwardzacz i rozcieńczalnik, całkowicie pozbawiony rozpuszczalników. W przypadku lakierów płynnych maksymalnie 50% (zwykle 40%) ich masy tworzy powłokę, natomiast jeśli chodzi o proszek, to jego zużycie jest całkowite. W procesie nakładania płynnego lakieru co najmniej 10% suchej masy jest tracone w wyniku rozprysku. Jeśli chodzi o proszek, to może on być zawrócony do obiegu.

Stałe cząstki suchego proszku o wymiarach poniżej 100 μm (rezystywność objętościowa około $10^{15} \Omega\text{m}$) są z reguły ładowane elektrycznie za pomocą generatora wysokiego napięcia (30–1000 kV) i kierowane w specjalnej kabine za pomocą strumienia powietrza na uziemiony, poddany wstępnej obróbce przedmiot obrabiany, np. za pomocą pistoletu natryskowego lub przy zastosowaniu fluidyzacji (Rys. 1).

Rys. 1. Schemat instalacji do powlekania powłoką proszkową

a - proszek jest fluidyzowany za pomocą powietrza w leju samowyladowczym i przenoszony przez powietrze pod niskim ciśnieniem do pistoletu natryskowego; b - przy wylocie pistoletu elektrostatycznego każda cząstka proszku ma ładunek elektryczny; c - naładowany elektrycznie proszek jest przyciągany do obrabianego przedmiotu uziemionego poprzez jego zawieszenie transportowe; d - cząstki, które nie osadzą się na obrabianym przedmiocie, są wyciągane z kabiny i zbierają się w cyklonie; e - z cyklonu proszek jest zawracany do leja samowyladowczego; f - powietrze przepływające przez cyklon, zanim zostanie wypuszczone do atmosfery, przechodzi przez system filtrów w celu wychwylenia pozostałych cząstek proszku

Gdy cząstka naładowana elektrostatycznie znajdzie się w bezpośrednim sąsiedztwie uziemionego przedmiotu obrabianego, to siły przyciągające ładunków elektrycznych zapewnią wystarczające przyleganie tej cząstki proszku do powierzchni przedmiotu na jego krawędziach i narożach. Dla proszków o rezystywności powyżej $10^{11} \Omega \cdot m$, spadek ładunku jest wystarczająco mały, by siły adhezyjne utrzymywały się przez kilka dni. Proszek, który nie przylgnie do powlekanego przedmiotu jest wyciągany i wprowadzany z powrotem do obiegu.

Po pokryciu powłoką proszkową, obrabiany przedmiot jest wystawiany na działanie temperatury $130-200^{\circ}C$ w piecu suszarniczym przez 1,5-25 minut (w zależności od rodzaju proszku i wielkości obrabianego przedmiotu). Proszek topi się i tworzy ciągłą, litą warstewkę. Dalsze nagrzewanie wywołuje reakcję chemiczną, w której żywica wiąże, dając w wyniku w pełni utwardzoną, nieoddzielającą się powłokę o jednolitej grubości w zakresie $40-100 \mu m$ (zwykle $40-60 \mu m$). Cieńsze powłoki można uzyskać stosując specjalne receptury proszków; grubości poniżej $25 \mu m$ nie można uzyskać za pomocą tej technologii. Nakładając proszek na wstępnie podgrzane przedmioty, można również uzyskać powłoki o grubości powyżej $100 \mu m$; przy zastosowaniu specjalnych proszków grubość powłoki może osiągnąć aż $350 \mu m$.

Współczesny rynek proszkowy zapewnia uzyskanie praktycznie każdego rodzaju powłoki, począwszy od powłoki o dużym połysku do matowej, od gładkiej poprzez metalizowaną do powierzchni młotkowanych i strukturowanych, mających zastosowanie zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz budowli.

Zalety powłok proszkowych w porównaniu z konwencjonalnymi płynnymi lakierami piecowymi są następujące:

- niepotrzebny jest podkład, który wymaga suszenia przed ostatecznym nałożeniem powłoki;
- powłoka proszkowa może być nakładana przez niewykwalifikowanych robotników, jak też przez w pełni zautomatyzowane urządzenia;
- nie zachodzi konieczność stosowania wentylacji, jak w przypadku farby płynnej, zanim przedmiot obrabiany znajdzie się w piecu suszarniczym, przez co oszczędza się czas i przestrzeń;
- niepotrzebna jest regulacja nagrzewania, konieczna w przypadku lakie-

rów płynnych. Nagrzewanie powłok proszkowych jest krótkie i szybkie co daje oszczędności przestrzeni przez zastosowanie krótszych pieców suszarniczych;

- nie zanieczyszcza się hali i jej urządzeń rozpyloną farbą co w przypadku lakierów płynnych powoduje konieczność częstych i kompleksowych zabiegów konserwacyjnych. Pokrywanie proszkiem wymaga jedynie wylotu i szczotki do celów konserwacyjnych;

- nie ma strat rozpryskowych oraz strat spowodowanych odparowaniem rozpuszczalnika w powietrze. Współczesne systemy powlekania charakteryzują się 95% zużytkowaniem proszku;

- hale dla pokrywania lakierem płynnym muszą być wyposażone w urządzenia wentylacyjne zapewniające odprowadzanie par rozpuszczalnika do atmosfery podczas gdy ruch powietrza w halach pokrywania proszkiem jest minimalny co daje duże oszczędności w ogrzewaniu hali;

- nie zachodzi potrzeba mieszania i rozcieńczania farb oraz przeprowadzania testów lepkości co daje oszczędności czasowe.

Techniczne zalety powłok proszkowych wynikają z następujących faktów:

- powłoki proszkowe wykonane w oparciu o różne receptury żywiczne są bezkonkurencyjne jeśli chodzi o właściwości finalne i to zarówno pod względem odporności na korozję jak i odporności mechanicznej (np. powłoka epoksydowa o grubości 50 μm może wytrzymać bez uszkodzenia 250 godzin natryskiwania gruboziarnistym roztworem soli z piaskiem);

- jednowarstwowa powłoka proszkowa ma zwykle taką samą wartość użytkową i znacznie dłuższą żywotność niż większość wielowarstwowych układów płynno-lakierowych;

- jeśli pokrycie powierzchniowe proszkiem przed suszeniem w podwyższonej temperaturze było niewłaściwe, proszek można usunąć i użyć ponownie, a obrabiany przedmiot można ponownie pokryć powłoką;

- powłoki proszkowe można w każdej chwili pokryć jeszcze jedną warstwą proszku lub lakieru płynnego;

- w przypadku powłok proszkowych nie występuje marszczenie się, fałdowanie lub rozwarstwianie;

- z punktu widzenia odporności na obciążenia dynamiczne, trwałość, ze względu na jednorodność powłok proszkowych to wymagania dotyczące grubości powłoki mogą zostać obniżone lub może zostać przedłużona normalna trwałość użytkowa;

- odporność mechaniczna powłok proszkowych umożliwia dalszą obróbkę skrawaniem części pokrytych powłoką proszkową oraz ich montaż i transport w pojemnikach bez ich uszkodzenia.

Trzecia grupa zalet powłok proszkowych wiąże się ze środowiskiem, a więc:

- skoro nie używa się rozpuszczalników - niebezpieczeństwo pożaru

zmniejsza się znacznie oraz zapewniona jest czystość miejsca pracy;

- zanieczyszczenie powietrza nie stanowi problemu;
- oszczędza się wartościowe surowce potrzebne do produkcji żywic oraz rozcieńczalników;
- nie występują problemy z gromadzeniem się opadów stałych oraz z przetwarzaniem (spalaniem) odpadów;
- uzyskuje się oszczędności energii przez jednorazowe suszenie w podwyższonej temperaturze układu jednowarstwowego;
- nie ma specjalnych wymogów co do magazynowania (wyjątek stanowi suche i zimne środowisko).

Chociaż koszty bezpośrednie proszków są zwykle wyższe niż lakierów płynnych, to wprowadzenie technologii powłoki proszkowej ostatecznie daje znaczne oszczędności dzięki następującym czynnikom:

- niższe są koszty inwestycyjne zakładu produkcyjnego;
- niższe jest zużycie energii przez piece suszarnicze;
- mniejsza jest powierzchnia zakładu;
- mniejsza jest liczba pracowników;
- mniejszy jest zakres uszkodzeń wyrobów w trakcie transportu i montażu;
- następuje zmniejszone zanieczyszczenie powietrza;
- wyeliminowane zostaje przerabianie odpadów;
- wyeliminowane są wyroby wadliwe;
- istnieje możliwość zastosowania automatyzacji.

W rezultacie koszt powłoki proszkowej o grubości $50 \mu\text{m}$ równy jest kosztowi tzw. powłoki mokrej o grubości $30 \mu\text{m}$.

Jednakże ponieważ z reguły nie jest możliwe otrzymanie rozwiązania bez jakichkolwiek wad, muszą więc one istnieć. Należy więc wziąć pod uwagę następujące fakty:

- technologia ta wymaga specjalnej instalacji do nakładania powłoki oraz
- jeśli to możliwe - instalacji do zawracania proszku do obiegu;
- zmiana koloru w trakcie produkcji zajmuje więcej czasu niż w przypadku farb płynnych;
- proszki o różnych kolorach nie dadzą się zmieszać, aby można było otrzymać pożądany odcień, tak jak ma to miejsce w przypadku farb płynnych;
- proces wymaga przeprowadzenia specjalnego przeszkolenia personelu.

Tempo wzrostu zastosowania powłoki proszkowej przekracza kilka razy tempo wzrostu przemysłowego jako całości. Powlekanie proszkowe znajduje codziennie nowe dziedziny zastosowań. Należy wymienić co najmniej kilka z nich: urządzenia gospodarstwa domowego, automaty do sprzedawania, meble rurkowe, szpitalne, biurowe, ogrodowe i kempingowe, sprzęt biurowy (np. komputery, maszyny do pisania, kopiarki, wieczne pióra), zabawki metalowe, narzędzia, sprzęt warsztatowy i laboratoryjny, urządzenia oświetleniowe, maszyny przemysłowe,

butle gazowe, urządzenia mleczarskie, obudowy kompresorów powietrznych, traktory, maszyny rolnicze, kabiny samochodów ciężarowych, ramy ciężarówek, ramy rowerów i motocykli, zewnętrzne i wewnętrzne akcesoria samochodowe (zderzaki, ramy okien, klamki, lusterka, części hamulca etc.), akcesoria autostrad, rusztowania, pręty, płoty, ramy okien i drzwi, kaloryfery, urządzenia klimatyzacyjne, boazerie, rury, instalacje chłodzące stacji transformatorowych.

Z ogólnego zużycia proszku (około 50 000 t w 1983 r. i około 68 000 t w 1985 r. w krajach Europy Zachodniej [15] najwięcej zużyto go na meble metalowe oraz blachy i druty metalowe (około 30%), w budownictwie (około 20%) oraz w przemyśle samochodowym (około 20%). Około 10% proszku zastosowano do wyrobu sprzętu gospodarstwa domowego i sprzętu biurowego, 9% na zabezpieczenie wyrobów ciężkich (rury, konstrukcje przemysłowe), około 5% na przemysł budowy maszyn, a reszta na różne inne cele. W zakresie procentowego udziału poszczególnych przemysłów między poszczególnymi krajami zachodzą znaczne różnice zdeterminowane warunkami miejscowymi. Dla przykładu, Holandia zużywa najwięcej (41%) proszku w budownictwie (ramy okienne, boazerie), Belgia używa dużo proszku do ochrony zbrojenia konstrukcji żelbetowych, podobnie Stany Zjednoczone [2, 5]. Budownictwo dominuje pod tym względem również w Hiszpanii, RFN i Szwajcarii (odpowiednio 26%, 26% i 41%). We Włoszech ponad 24% proszku zużywane jest w przemyśle samochodowym (np. cały nowy model fiata 126), podobnie w Japonii (powłoka gruntowa całego samochodu oraz powłoka wierzchnia niektórych części hondy) i RFN (np. powłoka gruntowa zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni volkswagena). W Austrii, podobnie jak w Danii, Holandii i Wielkiej Brytanii, powłoka proszkowa stosowana jest w znacznym stopniu do zabezpieczania pokryć kół samochodowych, kabin traktorów, płyt ściennych i podłogowych oraz innych konstrukcji metalowych w szpitalach, m. in. z powodu doskonałej odporności na działanie alkoholi, aldehydów, pochodnych chloru, fenoli oraz detergentów dezynfekujących. W RFN powłoki proszkowe stosuje się dość szeroko do ochrony grzejników różnego typu i wielkości, jak również do uzyskiwania matowych powierzchni butelek (np. Remy Martin - poprzednio stosowano trawienie albo płaskowanie). Zastosowanie powłok proszkowych do ram motocyklowych w Wielkiej Brytanii (Triumph) pozwoliło na zwiększenie żywotności w różnych warunkach eksploatacji - co najmniej dziesięć razy - przy znacznie zmniejszonych kosztach.

2. PROSZKI

Uzyskanie dobrej powłoki proszkowej za pomocą metody elektrostatycznej zależy szczególnie od odpowiedniej młakości proszku (przeciętna średnica cząstki w przybliżeniu poniżej $100 \mu\text{m}$), sortowania (musi być stosunkowo wąskie) oraz wyeliminowania bardzo drobnych cząstek ($< 1 \mu\text{m}$), które nie dadzą

się naładować elektrycznie. Termoplasty są na ogół materiałami o dużych wytrzymałościach. Stosunkowo trudno jest rozbić je metodami mechanicznymi na cząstki o wyżej wymienionej wielkości. Trzeba stosować do tego celu specjalne (a tym samym kosztowne) metody, takie jak mielenie niskotemperaturowe oraz wytrącanie z roztworu. Z tego powodu liczba termoplastów nadających się do zastosowań elektrostatycznych jest bardzo mała. Najważniejsze to poliamidy (poliamid 11 i 12 w Europie, w USA także poliamid 13) oraz poliestery oparte na kwasie tereftalowym (używany przeważnie w USA). Ich wadą jest to, że konieczne jest nałożenie warstwy gruntowej w celu uzyskania odpowiedniej adhezji. Nakładanie elektrostatyczne może być stosowane także w przypadku innych wysoce wyspecjalizowanych materiałów, takich jak fluorek poliwinylidenu, perfluoroetylenopropylen i siarczek polifenylu charakteryzujący się wysoką odpornością chemiczną w wysokich temperaturach. Większość elektrostatycznie nakładanych proszków powłokowych zawiera żywice termoutwardzalne, które są kruche w stanie nie usieciowanym (stan B) i mogą być łatwo rozdrobnione na drobne cząstki, ale dają niezwykle mocny materiał po ich stopieniu na powierzchni powleczonego przedmiotu i ich utwardzeniu (usieciowaniu).

Gdy wprowadzano technologię powlekania proszkowego (pod koniec lat pięćdziesiątych), używano wtedy prawie wyłącznie żywic epoksydowych dających w większości przypadków powierzchnię połyskliwą lub półpołyskliwą. Proszki te produkowane były w procesach nieciągłych i chociaż ich wygląd oraz odporność chemiczna były normalne, to charakteryzowały się one znaczną niejednorodnością i długimi czasami utwardzania. Możliwość wprowadzenia szybszych układów i zastosowania innych żywic dały procesy ciągłe, do których użyto wyciączarek ugniatających. Chociaż proszki, żywice epoksydowe nadal przeważają, produkcja proszków z innych żywic szybko wzrasta (Rys. 2) [15]. Wraz z opracowywaniem nowych typów powłok (o małym połysku, matowych, młotkowanych, teksturowanych, metalizowanych i bezbarwnych) możliwości te pokrywają szeroki wachlarz życzeń użytkowników oraz rozszerzają zakres zastosowań powlekania proszkowego [1].

2.1. Żywice epoksydowe

Żywice epoksydowe dają powłoki niezwykle trwałe i charakteryzują się odpowiednio wysokim punktem zmiękczenia, co zapobiega tworzeniu się bloków proszku w zwykłych temperaturach. W temperaturze powyżej 150°C rozpoczyna się stopienie niskolepkościowe, które zapewnia dobre wypływanie i zwilżanie podłoża, co przyczynia się do doskonałej adhezji tych materiałów do wszelkiego rodzaju powierzchni. Żywice te mogą być wiązane za pomocą środków utwardzających (najczęściej stosowanych, dających wykończenia o różnych stopniach połysku) lub za pomocą bezwodników kwasowych. Oba układy mogą być katalizowane w celu zapewnienia krótkich czasów suszenia wysokotemperaturo-

wego. Stabilność chemiczna układu w temperaturze pokojowej pozostaje wysoka, a okres składowania jest rzędu miesięcy, a nawet lat (zwykle daje się roczną gwarancję). Bezwodniki kwasowe używa się rzadziej, szczególnie z powodu trudności produkcyjnych. Jednakże warstwy wierzchnie są doskonałe, charakteryzują się dużą twardością i odpornością na wysoką temperaturę (dlatego stosowane są szczególnie do towarów konsumpcyjnych). Mogą być także utwardzane w tzw. "cuchnących piecach", w których obecność oparów kwasu eliminuje użycie utwardzaczy aminowych. Metalizowane powłoki epoksydowe konkurują z klasycznym chromowaniem. Faktury młotkowane i teksturowane, które mogą być również w wersji metalizowanej, dają szerokie możliwości zastosowań konstrukcyjnych i dekoracyjnych (np. można nawet uzyskać wygląd antycznych wykończeń metalicznych). Na rynku dostępne są obecnie również proszki do otrzymywania cienkich warstwek, do pokrywania przedmiotów o dużej powierzchni. W połączeniu z metodami produkcji automatycznej, powłoki o grubości 20-30 μm dają znaczną obniżkę kosztów. Dostępne są również proszki do otrzymywania bardzo grubych powłok (350 μm) o okresie utwardzania rzędu 1,5-2,0 minut przy 190°C, które używane są głównie do powlekania rur i charakteryzują się odpornością mechaniczną nawet w krańcowych temperaturach [6].

Proszki epoksydowe mają również pewne wady, takie jak niższa odporność na promieniowanie ultrafioletowe (degradacja powierzchni), której towarzyszy utrata połysku powierzchni, spowodowana kredowaniem, oraz niższa odporność na wysokie temperatury, której z kolei towarzyszy ciemnienie. Te wady spowodowały, że opracowano inne materiały (np. proszki poliestrowe), które nie tracą nic ze swojego wyglądu nawet w tych warunkach.

Odpowiednie dziedziny zastosowań to: powlekanie rur, części wewnętrzne samochodów i maszyn rolniczych, izolacja elektryczna, gruntowanie samochodów.

2.2. Poliestry

Pierwsze poliestry, wprowadzone około 1969 r., posiadały tę wadę, że produkty kondensacji wyzwalane w trakcie reakcji utwardzania powodowały porowatość powłok, szczególnie w przypadku powłok o grubości mniejszej niż 75 μm . Problem ten został rozwiązany poprzez zastosowanie innych utwardzaczy, których mechanizm utwardzania opiera się na reakcji addycji. Poliestry te mają doskonałą odporność na zewnętrzne wpływy atmosferyczne, zachowują połysk i kolor nawet po wielu latach przebywania w warunkach ekstremalnych. Ich zwiększona odporność na ciepło sprawia, że można je stosować do takich wyrobów, jak obudowy kuchenek o połysku zdecydowanie lepszym niż tradycyjne emalie.

Żywicę poliestrowe dostępne są w dwóch wariantach chemicznych - z zakończeniem w postaci grupy wodorotlenowej lub grupy karboksylowej. Poliestry z zakończeniem wodorotlenowym mogą reagować z bezwodnikiem kwasowym, da-

jąc wykończenia o dobrym wyglądzie i doskonałych własnościach mechanicznych. Poliestry z zakończeniem karboksylowym mogą reagować z grupami epoksydowymi i tworzyć kopolimery usieciowane. Najpowszechniej stosowanym utwardzaczem jest izocyjanurat triglicydylowy, który zapewnia wykończenia o doskonałej odporności na warunki atmosferyczne oraz doskonałej wytrzymałości cieplnej.

Chociaż żywice poliestrowe mogą dawać powłoki metalizowane i strukturowane, używa się ich jednak przeważnie do otrzymywania tylko gładkich, błyszczących powłok. Powodem tego jest fakt, że tracona jest największa zaleta poliestrów, tzn. ich wytrzymałość na działanie środowiska zewnętrznego. Po wystawieniu na działanie środowiska zewnętrznego składnik metalowy w powłokach metalizowanych szybko ciemnieje, a powłoka traci swój połysk. W przypadku powłok strukturowanych środowisko zewnętrzne może przeniknąć do podłoża w miejscach, gdzie powłoka jest cienka, przez co warstewka może stracić swoją integralność. W przypadku, gdzie duża odporność na korozję nie jest potrzebna (we wnętrzach), żywice epoksydowe dają lepsze powłoki strukturowane. Proszki poliestrowe są droższe od proszków epoksydowych, niektóre z nich wymagają wyższych temperatur utwardzania.

Odpowiednie dziedziny zastosowania to: powłoki na meble i metal do celów zewnętrznych, w budownictwie (okna, drzwi, fasady), maszyny rolnicze i traktory, zewnętrzne części samochodowe, urządzenia gospodarstwa domowego, kuchnie przewoźne etc.

2.3. Poliuretany

W wyniku reakcji poliestrów z grupami hydroksylowymi z izocyjaninami powstaje powłoka poliuretanowa. Izocyjaninan blokowany jest kaprolaktamem, który rozpada się w wysokiej temperaturze, co umożliwia zajście tej reakcji. Te powłoki poliuretanowe mają doskonałą jakość oraz połysk w przypadku małych grubości, dzięki lepszemu płynięciu topnieniowemu (częściowo na skutek wpływu środka blokującego, działającego jako zmiękczacze). Wadą jest to, że kaprolaktam jest lotny w normalnej temperaturze suszenia piecowego, w rezultacie czego jego część wyparowuje w trakcie suszenia i może kondensować na chłodniejszych powierzchniach pieca, a przez to dostać się do kanału wyciągowego. Odpowiednie dziedziny zastosowań to: budownictwo (ościeżnice okienne i drzwiowe, płyty elewacyjne), maszyny rolnicze i traktory, części i wykończenia samochodów.

2.4. Poliestry epoksydowe

Poliestry z zakończeniem karboksylowym mogą być mieszane z żywicami epoksydowymi, utwardzając się nawzajem i tworząc układ hybrydowy. Układy te zyskują coraz bardziej na popularności, ponieważ dają doskonały połysk, bardzo dobre własności mechaniczne oraz dobrą odporność na temperaturę.

W porównaniu z żywicami epoksydowymi wykazują jednakże jedynie niewielką poprawę odporności na zewnętrzne wpływy atmosferyczne. Odpowiednie dziedziny zastosowań to: meble i powierzchnie metalowe we wnętrzach, gruntowanie samochodów, sprzęt oświetleniowy, płyty sufitowe, sprzęt ogrzewczy, klimatyzacja, urządzenia gospodarstwa domowego, przemysł budowy maszyn, maszyny biurowe.

2.5. Związki akrylowe

Dobrze znane doskonałe własności konwencjonalnych akrylowych powłok piecowych spowodowały, że zaczęto poszukiwać żywic akrylowych do zastosowań proszkowych. Badania te przez długi czas kończyły się niepowodzeniem i dopiero niedawno uzyskane proszki akrylowe, które dorównują układom rozpuszczalnikowym pod względem odporności na degradację spowodowaną promieniowaniem ultrafioletowym. Proszki akrylowe dają powłoki o doskonałym wyglądzie, jednakże ich własności mechaniczne, chociaż dobre, nie osiągają standardu powłok epoksydowych.

Inną wadą jest niezdolność do mieszania się proszków akrylowych z innymi proszkami. Mieszanie może dać pęcherze (odpryski) i niedoskonałości warstewki, podczas gdy zmieszanie na przykład dwóch różnych proszków epoksydowych może spowodować co najwyżej utratę połysku. Niezdolność do mieszania się jest tak duża, że nie można stosować proszków akrylowych w tej samej instalacji, w której używane są inne proszki. Oprócz tego trwałość proszków akrylowych jest znacznie mniejsza niż proszków innych typów. Jak dotąd, te stosunkowo drogie proszki są używane jedynie do celów specjalnych i tylko przyszłość pokaże, czy wygrają one konkurencję z pozostałymi.

Odpowiednie dziedziny zastosowań to: powierzchnie powłoki na samochodach, urządzenia gospodarstwa domowego, maszyny rolnicze i traktory, w budownictwie.

2.6. Fenoplasty epoksydowe

Układy żywic epoksydowo-fenolowych, bazujące na rozpuszczalniku, mają doskonałą wytrzymałość mechaniczną i odporność chemiczną, i są szeroko stosowane jako wykładziny. Obecnie dostępne są analogiczne układy proszkowe wykazujące podobne własności, których używa się z powodzeniem do wytwarzania np. chemicznie odpornych wykładzin beczek. Podstawowe własności tych powłok mogą być modyfikowane w zależności od wzajemnej proporcji obu żywic:

- wysoka zawartość żywicy epoksydowej daje lepsze własności mechaniczne, podczas gdy większa zawartość żywicy fenolowej poprawia odporność na działanie rozpuszczalników. Wytworzenie bardzo cienkich warstewek wymaganych w przypadku wykładziny puszek do konserw nadal stwarza problemy.

2.7. Warunki utwardzania proszków

Ponieważ temperatura i okres utwardzania różnią się znacznie w zależności od technologii produkcji, wartości przeciętne podane w tablicy poniżej mają jedynie charakter informacyjny. (Wartości te odnoszą się do blachy metalowej o grubości 1 mm, a w przypadku elementów o dużej grubości, okres utwardzania należy przedłużyć, tak aby wartości te odpowiadały temperaturze metalu, a nie temperaturze otoczenia.)

Typ proszku	Temperatura	Okres utwardzania
Epoksyd standartowy	180°C	10-12 min.
Epoksyd szybko twardniejący	180°C	5 min.
Epoksyd wolno twardniejący	130°C	15-20 min.
Epoksyd cienkopowłokowy	180°C	5-10 min.
Epoksyd grubopowłokowy	180-220°C*	1,5-5,0 min.
Epoksyd poliestrowy	180°C	10 min.
Epoksyd poliestrowy twardniejący w niskiej temperaturze	140-160°C	10 min.
Poliester standartowy	200°C	8-10 min.
Poliester matowo czarny	210°C	10 min.
Poliester twardniejący w niskiej temperaturze	140-160°C	10 min.
Poliuretan szybko twardniejący	200°C	10-15 min.
Akryl	200°C	15-20 min.

* w przypadku wstępnego podgrzania przedmiotu

Ciężar właściwy proszków waha się (w zależności od typu pigmentu) w granicach od 1,3 do 1,7 g/cm³. Zapotrzebowanie proszku (przy średnim ciężarze właściwym rzędu 1,5 g/cm³) waha się między 60 a 120 g/m² dla grubości powłoki rzędu 40-80 μm.

2.7. Czynniki mające wpływ na wybór proszku

Jednym z najważniejszych czynników wpływających na wybór proszku jest oczywiście cena. Zawsze bowiem należy brać pod uwagę ogólną cenę powłoki, ponieważ droższy proszek może dać cieńszą warstewkę dzięki lepszemu płynięciu przy topieniu, co zwiększa obszar pokrycia. Podobną kalkulację należy przeprowadzić w przypadku warunków stawianych powłoce - cena proszku rośnie szybko w zależności od wymogów co do wyglądu dekoracyjnego lub trwałości w warunkach zewnętrznych.

Podjęwając decyzję co do wyboru proszku, należy określić własności utwardzonej powłoki oraz warunki jej wytwarzania. Szczególnie należy tu uwzględnić:

- a) własności fizyczne:
 - giętkość - próba na zginanie,
 - adhezja - próba rozciągania,
 - odporność na uszkodzenie - próba na zarysowanie i próba udarności,
 - wytrzymałość cieplna - próba na żółknięcie,
- b) własności chemiczne:
 - odporność na rozpuszczalniki,
 - odporność na zraszanie solą oraz na wilgotność,
 - absorpcyjność wodna,
 - wytrzymałość na działanie środków chemicznych,
 - odporność na plamy,
- c) trwałość na wolnym powietrzu:
 - odporność na korozję,
 - kredowanie,
 - płowienie (utrata koloru),
 - utrata połysku,
- d) wymogi produkcyjne (związane z utwardzaniem):
 - temperatura,
 - czas,
 - metoda utwardzania (utwardzanie paliwowe, konwekcyjne, promieniste, indukcyjne),

3. METODY WYTWARZANIA POWŁOKI

W procesie powlekania proszkiem muszą wystąpić dwa podstawowe etapy: proszek musi być efektywnie naładowany pod względem elektrycznym, a następnie efektywnie przemieszczony do przedmiotu, który ma być pokryty powłoką. Chociaż na pierwszy rzut oka wydaje się to być proste, doświadczenie wykazało, że tak nie jest i że trzeba pokonać po drodze szereg kłopotów [6].

Jeśli ma być nałożona wystarczająca ilość proszku, należy oczekiwać, że sprawność naładowania elektrycznego musi być maksymalnie wysoka. Ponieważ proszek dostarczany jest w pojemnikach, a w idealnym przypadku należałoby naładować każdą poszczególną cząstkę, jest oczywiste, że proszek najpierw należy rozpylić w powietrzu, a następnie poddać jego cząstki działaniu prądu elektrycznego. Uzyskuje się to z reguły albo za pomocą pistoletu natryskowego, albo stosując fluidyzację.

Proszek dostarczany jest do pistoletu z reguły pneumatycznie. Należy zapewnić regularny rozrzut proszku przez odpowiednio precyzyjne zaprojektowane dyszy. Mgła proszkowa ładowana jest w pobliżu lub bezpośrednio w otworze dyszy. Tradycyjne systemy opierały się na rozwiązaniu z jedną silną elektrodą połączoną ze źródłem wysokiego napięcia (80-100 kV). Znak tego potencjału napięciowego jest zwykle ujemny względem ziemi. Próby rozwiązania nie-

zadowalająco wysokiej sprawności ładowania cząstek poprzez zwiększanie napięcia ładującego nie dały dobrych rezultatów i z reguły otrzymywano powłoki gorszej jakości. W przypadku najlepszych systemów pistoletowych sprawność powlekania wynosiła według oszacowań 60%. Liczbę tę można przyjąć za prawdziwą tylko dla pierwszych kilku sekund procesu. Gdy tylko zacznie się jonizacja obrabianego przedmiotu [9], sprawność ładowania, a w konsekwencji również sprawność powlekania spada znacznie poniżej tej wartości [14]. To utrudnia znacznie sytuację szczególnie w przypadkach, gdy wymagane są częste zmiany koloru, ponieważ znaczna część proszku pozostaje na ścianach kabiny nawet po ponownym wprowadzeniu proszku do obiegu.

W przypadku fluidyzacji proces przebiega prawie tak samo z wyjątkiem tego, że mgła proszkowa powstaje w komorze, przez którą przechodzi powlekany przedmiot. Elektrody jednopunktowe są zwykle zastępowane układem cienkich drutów. Z tego powodu prądy ładowania są zwykle wyższe niż te, które występują w systemie pistoletowym. Ponieważ duża ilość mgły proszkowej jest stale wystawiona na działanie procesu ładowania, sprawność ładowania jest zwykle wyższa niż w przypadku systemów pistoletowych, gdzie proszek może jedynie być jednokrotnie naładowany. Fluidyzacja daje znacznie większe grubości powłoki: oba systemy przedstawiono schematycznie na Rys. 3. Innym problemem jest dokładne i ciągłe przenoszenie pewnej ilości proszku przez rurę o pewnej długości. Ponieważ wysoka sprawność powlekania proszkiem opiera się na precyzyjnym podawaniu materiału, również tego problemu nie da się pominąć.

Dalsze problemy dotyczące powlekania proszkowego są związane, szczególnie w przypadku tradycyjnych systemów pistoletowych, z samym obrabianym przedmiotem orazabiną, w której jest on umieszczony. Po pierwsze, obrabiany przedmiot musi być dobrze uziemiony w trakcie nakładania proszku. Uziemienia dokonuje się zwykle za pomocą zawieszenia metalowego połączonego z ziemią poprzez system przenośników. Jednakże po pewnym czasie zawieszenia pokrywają się warstwą utwardzonego proszku, co prowadzi do iskrzenia między obrabianym przedmiotem a szyną przenośnika, co z kolei oprócz częściowego spadku potencjału na przedmiocie grozi wybuchem. Jeśli chodzi oabinę, to zawsze występują problemy z utrzymaniem jej ścian i podłogi w czystości - wolnych od rozprysku - nawet jeśli zapewniony jest kontrolowany przepływ powietrza oraz ponowne wprowadzanie proszku do obiegu.

Sprawność systemu pistoletowego można poprawić przez wprowadzenie dodatkowych elektrod ładujących do tzw. kabiny typu tunelowego, zaprojektowanej dla pewnego rodzaju przedmiotów. Tradycyjne pistolety natryskowe zaprojektowane są dla mniejszych przepływów proszku; naładowany przechodzi przez tunel w przepływie dodatkowego powietrza, napotykać przemieszczane, obrabiane przedmioty. Po obu stronach tunelu znajdują się dodatkowe elektrody ładujące dodatkowo cząstki proszku, które nie otrzymały ładunku w dyszy pistoletu.

Wzdłuż podłogi pieca przebiega taśma oporowa ustawiona w poprzek kierunku przepływu powietrza, od której cząstki odbijają się i wracają do mgły proszkowej (Rys. 4). Przedmioty obrabiane wystawione są na działanie mgły przez stosunkowo długi czas, a stosunek całkowitego ładunku elektrycznego do masy mgły proszkowej jest wysoki. Okoliczności te na ogół zwiększają sprawność powlekania do ponad 90%, co sprawia, że urządzenie do nawracania do obiegu staje się zbyt kosztowne. Zaleca się wykonanie tunelu z materiału rezystywnego, aby zmniejszyć osiadanie proszku spowodowane nagromadzeniem ładunku na ścianach lub aby odepchnąć proszek od ścian tunelu. Maksymalna rezystywność materiału tunelowego powinna być niższa niż $10^{10} \Omega m$, aby zapobiec w ten sposób powstawaniu nadmiernego ładunku i niebezpieczeństwu wyładowania elektrycznego w tunelu.

Całkowicie bezpieczny jest system fluidyzacyjny, w którym elektrody ładujące umieszczone są pod płytą porowatą, przez którą przechodzi zjonizowane powietrze, zanim wejdzie w kontakt z fluidyzowanym proszkiem.

Rys. 3. System ładowania elektrycznego proszku

Rys. 4. Rysunek schematyczny typowego tunelu natryskowego [8]

Inny system hybrydowy polega na tym, że ostre elektrody, między którymi przepuszczona jest mgła proszkowa, umieszczone są pod pewnymi kątami przeciwdziałającymi stratyfikacji, która często zachodzi w przypadku tradycyjnej fluidyzacji.

Niektóre pistolety nowej konstrukcji ładują cząstki proszku nie tylko w dyszy, ale również wewnątrz lufy, przez co charakteryzują się wyższą sprawnością (wyższy stosunek całkowitego ładunku do masy mgły proszkowej). Najnowszy system pistoletowy opracowany w Japonii (Sankyo Dengyo) posiada potrójne ładowanie - lufa zaprojektowana jest jako mini-cyklon (Rys. 5), a powietrze i proszek wprowadzane są do niej stycznie. Dzięki temu duża ilość proszku styka się z wewnętrzną powierzchnią lufy i ładuje się przez tarcie. Drugi system ładowania usytuowany jest wewnątrz dyszy pistoletu, a trzeci na zewnątrz dyszy. Pistolety zasilane są (do wyboru) z węża lufowego lub proszkowego (z czym wiążą się ogólne trudności występujące w tryboładowaniu) dwojako, tzn. 250 g/min i 500 g/min. Jeśli zajdzie konieczność, wylot powietrza może być dostosowany, a nawet całkowicie oddzielony od przepływu proszku wewnątrz pistoletu. Daje to możliwość nawrócenia powietrza do obiegu lub całkowitego wydalenia go z kabiny.

Inny nowy system pochodzący z Japonii (Uniwersytet Tokijski) opiera się na zasadzie tzw. "kurtyny elektrycznej" (Rys. 6) [11]. W zasadzie jest to elektryczna metoda zapobiegania wchodzeniu proszku w kontakt ze ścianami kabiny, co osiąga się za pomocą specjalnych płyt kurtynowych, których można również używać do przemieszczania małych ilości proszku przez zsypy i kanały. Meto-

da ta jest specjalnie przydatna w przypadkach, gdy wymagane są szybkie zmiany kolorów.

Rys. 5. Rysunek schematyczny systemu pistoletu cyklonowego [8]

Rys. 6. Konstrukcja kabiny natryskowej z kurtyną elektryczną [1]

Firmy GEMA-GALEN (Szwajcaria) oraz WAGNER (Wielka Brytania) opracowały instalację, w której prąd o wysokim napięciu generowany jest bezpośrednio w pistolecie natryskowym, co eliminuje straty, jak i niebezpieczne i sztywne kable. W miarę zbliżania się do obrabianego przedmiotu, naładowanego ujemnie, napięcie spada automatycznie, osiągając zero w momencie kontaktu, co całkowicie eliminuje niebezpieczeństwo wyładowania iskrowego [16].

Połączenie tunelu dielektrycznego z jonizatorami elektro-gazowo-dynamicznymi powietrza - zamiast pistoletu - daje 95-98% zużycia proszku oraz umożliwia bardzo szybką zmianę koloru [7].

Najnowocześniejsze procesy powlekania proszkiem łączą, za pomocą robotów, nakładanie proszku z utwardzaniem powłoki dzięki temu, że nakładanie proszku odbywa się nad indukcyjną cewką grzewczą, co łączy obie te operacje, daje oszczędności czasu i przestrzeni [3].

Całkowicie nowa metoda polega na powlekanii proszkiem w wodzie. Częstki proszku zawieszane są w wodzie, w której zanurzony jest obrabiany przedmiot, będący pod wpływem potencjału elektrycznego. Dzięki temu pokonuje się szereg trudności związanych z powlekanii proszkowym, a technologia ta zbliżona jest do nakładania płynnej farby. W porównaniu z zanurzeniem w płynnych farbách uzyskuje się grubsze powłoki oraz wyższą odporność na korozję, oraz eliminuje się problemy związane z ochroną środowiska. Proces ten jest stosowany w RFN (Duerr Anlagenbau) do podwozi samochodowych oraz do powlekania kabin samochodów ciężarowych [3].

Problemy związane z kolorem doprowadziły do opracowania różnych dodatkowych urządzeń. Na przykład, firma Eisenmann Verfahrenstechnik (RFN) opracowała system dwóch elementów filtrujących dla dwóch kolorów. Gdy istnieje potrzeba użycia innego proszku, drugi filtr ustawiany jest w odpowiedniej pozycji poprzez prosty obrót i cała instalacja recyrkulacyjna jest gotowa do dalszego użytku bez konieczności dokonywania innych zmian [3].

Również systemy, w których proszek ładowany jest poprzez tarcie, zaczynają być powszechnie używane (np. system Intec Maschinenbau, RFN). Jednakże elektryczność wywołana tarcieć może być używana jedynie do ładowania niektórych proszków, np. proszków epoksydowych, akrylowych, poliuretanowych, poliamidowych i częściowo proszków PCW. Metodą tą nie można ładować w żadnym wypadku proszku epoksydowo-poliestrowego. Tarcie proszku w zjonizowanym tunelu powoduje zmianę warunków elektrycznych bez stosowania prądu o wysokim napięciu. Częstki, którym brakuje elektronów, mają ładunek dodatni, na-

tomiaś te, które mają nadmiar elektronów - ładunek ujemny. Nie występuje różnica potencjałów między pistoletem a obrabianym przedmiotem, nie ma pola elektrycznego i linii sił, a mgła proszkowa może przechodzić przez osłonę elektrostatyczną i formować powłokę o jednolitej grubości na wszystkich stronach obrabianego przedmiotu. Tryboelektrycznie naładowane cząstki proszku reagują jak magnes, są płasko osadzone na powierzchni obrabianego przedmiotu i tworzą gładką powierzchnię, ponieważ nie występują ani wyładowania pomiędzy poszczególnymi cząstkami, ani zaburzenia na powierzchni nałożonej warstwy proszku. Ponieważ nie ma możliwości powstania iskry, proces ten może być bezpiecznie stosowany do powlekania przedmiotów o dużych rozmiarach, takich jak zbiorniki, naczynia etc. [3]. Jednakże w niektórych systemach tego typu występują problemy z regulowaniem ilości proszku wyrzucanego z pistoletu.

Dalsze udoskonalenia pistoletów natryskowych idą w kierunku zapewnienia możliwości zmiany intensywności mgły proszkowej, w zależności od przedmiotu obrabianego i typu użytego proszku, rodzaju urządzenia recykulacyjnego umożliwiającego idealne mieszanie się proszku nowego i powrotnego oraz jego składu klasyfikacyjnego, automatycznego urządzenia do gaszenia pożaru, umieszczonego bezpośrednio w pistolecie i w filtrach. Rozwój tych rozwiązań wydaje się zmierzać w kierunku niskowoltowych agregatów ładujących (rzędu 10 V), które wyeliminują szereg występujących obecnie trudności i doprowadzą do znacznego obniżenia kosztów zabezpieczeń za pomocą powłok proszkowych.

4. BEZPIECZEŃSTWO I HIGIENA PRACY

Chociaż powlekanie powłoką proszkową należy do najbezpieczniejszych i najczęściej stosowanych metod zabezpieczania związkami organicznymi, należy jednak brać pod uwagę niebezpieczeństwa związane z obchodzeniem się z drobnoziarnistym proszkiem. Po pierwsze, należy zapobiegać wszelkim wyciekom proszku do otoczenia w trakcie całego procesu (niebezpieczeństwo wdychania pyłu) oraz wyeliminować drogą odpowiednio zaprojektowanej konstrukcji niebezpieczeństwo wybuchu w kabine proszkowej.

5. OBRÓBKA WSTĘPNA POWIERZCHNI

Powiedzenie, że jakość i trwałość zabezpieczenia jest tak dobra, jak jego najsłabsze ogniwo, stosuje się do powlekania proszkowego bardziej niż do innych metod wykończeniowych. W wielu przypadkach tym najsłabszym ogniwem jest obróbka wstępna zabezpieczanej powierzchni. Ponieważ proces ten nie wymaga stosowania jakichkolwiek rozpuszczalników, powierzchnia jest "mniej tolerancyjna" na zanieczyszczenie, szczególnie smarem i olejami. Oprócz tego należy usunąć np. smary używane w procesach ciągnięcia i tłoczenia, oleje stosowane przy cłociu i obróbce skrawaniem, woski polerskie, zanieczyszczenia

cząsteczkowe, takie jak kurz, sadza, opiłki etc., jak również warstewki tlenku, rdza i łuska. Proszek może być nakładany bezpośrednio na czystą powierzchnię. Jednakże czyszczenie coraz częściej stanowi tylko część kompleksowej obróbki powierzchni [4]. Wyższą jakość i żywotność powłoki można zapewnić za pomocą pewnego procesu powlekania konwersyjnego. Jeśli stosowany jest jakiś proces, który wymaga użycia wody, należy całkowicie wysuszyć powierzchnię bezpośrednio przed następną operacją (150°C przez 7 minut). Przed nałożeniem proszku zaleca się odgazować powierzchnię przez podgrzewanie jej do 210°C przez około 10 minut.

Szczególnie w przypadku powierzchni metalowych powłoka proszkowa powinna być nałożona bezpośrednio po obróbce wstępnej, aby zapobiec ponownemu jej zanieczyszczeniu przez kurz, produkty korozji etc. Przedmioty obrabiane wstępnie nie mogą być dotykane rękami, chyba że osłoniętymi czystymi rękawiczkami bawełnianymi lub z tworzyw sztucznych.

5.1. Czyszczenie

Czyszczenie można przeprowadzać za pomocą szeregu metod, których wybór zależy od dalszego procesu obróbki wstępnej, pożądanego wyglądu powłoki oraz rodzaju przedmiotu. Metody czyszczenia obejmują czyszczenie mechaniczne (obróbka strumieniowo-ścierna na mokro lub na sucho), odgraitowanie lub szlifowanie, przecieranie rozpuszczalnikiem, odtłuszczanie parą, czyszczenie emulsją, czyszczenie alkaliami, czyszczenie kwasem etc.

5.2. Konwersyjne procesy powlekania

Stosuje się dwie grupy powlekania konwersyjnego, tzn. fosfatazację i chromianowanie.

Fosfatazacja

Cynk powłokowy o średnim ciężarze lub inne fosforany nakładane są w ilościach $1,5\text{--}7,5\text{ kg/m}^2$ obrabianej powierzchni.

Chromianowanie

Stosowane jest szczególnie w przypadku metali nieżelaznych i stali galwanizowanej. Zwykle nakłada się je poprzez natryskiwanie lub stosując technikę zanurzeniową.

Trawienie

Stosuje się wtedy, gdy przedmioty są zbyt małe lub gdy seria, którą trzeba poddać obróbce, jest zbyt mała.

5.3. Płukanie

Płukanie odgrywa bardzo ważną rolę w całym procesie obróbki wstępnej. Niewystarczające płukanie może spowodować, że zanieczyszczenie zakłóci równowagę chemiczną procesu powlekania lub przedmiot obrabiany zostanie ponownie zanieczyszczony po ostatnim płukaniu i wysuszeniu.

6. WNIOSKI

Wymagania stawiane zabezpieczeniom antykorozyjnym ciągle rosną. Jest rzeczą ewidentną, że elektrostatycznie nakładane powłoki proszkowe reprezentują korzystną technikę zabezpieczania i znaczny postęp w tej dziedzinie. Jednakże technologia powłoki proszkowej jest tylko jednym z alternatywnych procesów lakierowania i nie stanowi panaceum na wszystkie problemy robót zabezpieczających. Pomimo tego zastrzeżenia powinna jednak być również brana pod uwagę.

Przedstawiczo w skrócie główne zasady właściwego stosowania technologii powlekania proszkowego oraz kryteria wyboru proszku, możliwości instalacji i metody obróbki wstępnej, dziedziny zastosowań, zalety i wady powłok proszkowych.

Podkreślono fakt, że wynik zależy od sposobu, w jaki prowadzony jest cały proces, który wymaga stałej kontroli wszystkich etapów (obróbka wstępna, temperatura pieca, utwardzania, grubość warstewki etc.).

Jednakże nie ma uniwersalnych instrukcji powlekania proszkowego. Przed podjęciem decyzji o wprowadzeniu tej technologii należy zebrać wszystkie dostępne informacje od użytkowników i producentów i maksymalnie wykorzystać doświadczenie ekspertów. Projekt linii produkcyjnej i technologii musi być rozwiązany indywidualnie, oddzielnie dla każdego poszczególnego przypadku. Nie można oczekiwać, by jedna instalacja i jedna technologia spełniały różne wymagania jednakowo sprawnie i w sposób ekonomiczny.

W celu określenia szczegółów charakteryzujących metodę proszkową zaleca się najpierw zbudować małą instalację doświadczalną, gdzie będą stosowane pistolety natryskowe, i dopiero później zaprojektować (korzystając z usług niezależnego biura projektowego) i zbudować w pełni zautomatyzowaną linię produkcyjną odpowiadającą wymaganej produkcji. Szereg doświadczeń potwierdziło słuszność takiego postępowania. Można podać tu przykład negatywny firmy Gestettner [10] (największego w świecie producenta powielaczy), która wprowadziła powlekanie proszkowe wszystkich części swoich powielaczy (około 150 typów obrabianych przedmiotów wykonanych z trzech różnych metali, począwszy od główek śrub, a skończywszy na pokrywach powielaczy o wymiarach 65 x 65 x 10 cm, co razem dało 36 000 sztuk na tydzień) bez odpowiedniego przygotowania i rozważenia wszystkich czynników; pochłonęło to pół roku intensywnej pracy, zanim nowa technologia zaczęła być efektywna. Przykład pozytywny pochodzi z firmy Triumph [12]. Dobrze przemyślany projekt linii produkcyjnej powlekania proszkiem 300 ram motocykli na tydzień oraz odpowiednie przygotowania umożliwiły założenie instalacji w trakcie dwutygodniowego planowego postoju oraz zwrot kosztów instalacji w ciągu pierwszego roku funkcjonowania.

W przyszłości można się spodziewać dalszego szybkiego rozszerzania zastosowania powłoki proszkowej na wszystkie typy materiałów (metale, szkło, tworzywa sztuczne, drewno, płyty wiórowe etc.). Ten sposób postępowania został

potwierdzony przez dane statystyczne. Jest on logiczną konsekwencją potencjalnej oszczędności energii, materiałów i pracy oraz poprawy środowiska przy jednoczesnej poprawie jakości wyrobów. Przemysł krajów należących do RWPG powinien skorzystać z tych doświadczeń.

Tłumaczenie: mgr Leonard Garczyński