

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Qualitätssicherung bei der Vakuumbeschichtung
von Kunststoffen

Eigenschaften, Anwendungen und Verfahren

Vacuum coating quality assurance
Characteristics, applications and procedures

VDI 3823

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

No guarantee can be given with respect to the English translation. The German version of this guideline shall be taken as authoritative.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung.....	2	Preliminary note	2
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
1 Geltungsbereich.....	4	1 Scope.....	4
2 Anwendungsbereiche der Vakuum- beschichtung von Kunststoffen	4	2 Applications for Vacuum Coating Plastics.....	4
2.1 Dekorative Anwendungen.....	5	2.1 Decorative applications.....	5
2.2 Reibungs- und verschleißmindernde Anwendungen	8	2.2 Friction and wear resistant coatings.....	8
2.3 Elektrotechnische Anwendungen	8	2.3 Electrotechnical applications.....	8
2.4 Optische Anwendungen	11	2.4 Optical applications	11
2.5 Anwendungen als Barrierschichten.....	14	2.5 Applications as barrier coatings.....	14
2.6 Biologische und medizinische Anwendungen	17	2.6 Biological and medical applications	17
2.7 Weitere Anwendungen.....	19	2.7 Further applications	19
3 Verfahren für die Vakuumbeschichtungen von Kunststoffen	21	3 Processes for Vacuum Coating Plastics.....	21
3.1 Thermisches Verdampfen im Vakuum	22	3.1 Thermal evaporation in a vacuum	22
3.2 Bogenverdampfung im Vakuum.....	22	3.2 Arc beam vacuum systems.....	22
3.3 Zerstäuben im Vakuum.....	24	3.3 Sputtering.....	24
3.4 Plasmapolymersation	26	3.4 Plasma polymerization.....	26
3.5 Plasmaunterstützte chemische Dampfabscheidung (PECVD)	27	3.5 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD).....	27
3.6 Vor- und Nachbehandlung	27	3.6 Pretreatment and after-treatment	27
Schrifttum	28	Bibliography.....	28

VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik

Fachausschuss Qualitätssicherung bei der Vakuumbeschichtung von Kunststoffen

VDI-Handbuch Werkstofftechnik
VDI-Handbuch Konstruktion
VDI-Handbuch Kunststofftechnik
VDI-Handbuch Medizintechnik

Vorbemerkung

Der Fachausschuss „Vakuumbeschichtung von Kunststoffen“ der VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik hat diese Richtlinie erarbeitet, um zur Qualitätssicherung bei der Vakuumbeschichtung von Kunststoffen beizutragen. Sie behandelt produktspezifische Aspekte des Qualitätsmanagements (QM) und dient als Leitfaden für die Verständigung zwischen den Herstellern von Kunststoffgranulat, den Herstellern der zu beschichtenden Kunststoffteile, den Beschichtern und den Anwendern der beschichteten Teile. Notwendige Voraussetzungen für eine anforderungsgerechte Vakuumbeschichtung von Kunststoffen werden verdeutlicht. Auf Grund ihrer wesentlichen Bedeutung für die Kunststoffbeschichtung werden Vor- und Nachbehandlungsschritte ebenfalls behandelt. Die Richtlinie trägt so zur Qualitätssicherung im Sinne der aktuellen Begriffsnormung bei, nämlich zur Darlegung von QM-Elementen dem Anwender gegenüber mit dem Ziel, Vertrauen in die Erfüllung seiner Qualitätsanforderungen zu schaffen.

Die Richtlinie umfasst folgende Teile:

- Blatt 1:** Eigenschaften, Anwendungen und Verfahren
- Blatt 2: Anforderungen an die zu beschichtenden Kunststoffe
- Blatt 3: Fertigungsabläufe und -tätigkeiten
- Blatt 4: Prüfungen an vakuumbeschichteten Kunststoffteilen

Die Aufgabe der Richtlinie VDI 3823 Blatt 1 ist es, die in der heutigen industriellen Praxis wichtigsten durch Vakuumbeschichtung auf Kunststoffen abgeschiedenen Schichten ihren wesentlichen Anwendungsfeldern zuzuordnen und ihre unterschiedlichen Eigenschaften darzulegen. Hierbei sind Verallgemeinerungen angestrebt, die im konkreten Anwendungsfall überprüft werden müssen.

Den Anwendern sollen Anregungen und Unterstützung bei der Auswahl der für den gegebenen Anwendungsfall am besten geeigneten Beschichtung und des entsprechenden Vakuumbeschichtungsverfahrens gegeben werden. Die Beschichter werden bei ihrer Darstellung der Anwendungsmöglichkeiten der Vakuumbeschichtung von Kunststoffteilen unterstützt. Den Herstellern der Ausgangsstoffe (Kunststoffgranulat, Additive, Pigmente und Füllstoffe) und den Kunststoffverarbeitern (z. B. Hersteller von Formteilen) werden Hinweise zur beschichtungsgerechten Herstellung und Fertigung gegeben.

Preliminary note

The Technical Committee “Vacuum Coated Plastics” in the VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik (VDI Society for Materials Engineering) has prepared this guideline, in order to contribute to quality assurance in the vacuum coating of plastics. It addresses product specific aspects of quality management (QM) and serves as a platform for promoting understanding between manufacturers of plastic granules, manufacturers of plastic parts, coaters and those who use these coated parts. It describes the requirements that need to be fulfilled in order for plastics to be coated in a manner that will satisfy the demands placed upon them. Pretreatment and after-treatment are dealt with as separate steps because of their essential importance in coating plastics. This guideline therefore contributes to quality assurance in the sense of establishing norms for current terminology, particularly with regard to describing aspects of QM to those who use the coated parts, in order to create greater confidence in the fulfillment quality requirements.

This guideline comprises the following parts:

- Part 1:** Characteristics, applications and processes
- Part 2: Demands on plastics to be coated
- Part 3: Production sequence and job steps
- Part 4: Testing of Vacuum Coated Plastics

The purpose of guideline VDI 3823 Part 1 is to categorize the most important coatings deposited through industrial processes for Vacuum Coating Plastics according to their areas of application and to describe their various characteristics. In this context generalizations will be made, which will need to be assessed in actual applications.

Users should be given information and support in choosing the coating, and the corresponding vacuum coating process best suited to their applications. Coaters will find support in describing the uses in which vacuum coatings can be applied to plastic parts. Manufacturers of raw materials (plastic granules, additives, pigments and fillers) and those working with plastics (such as manufacturers of molded and formed parts) will find information on the production and finishing methods best suited to coated plastics.

Einleitung

Seit mehr als 60 Jahren wird die Beschichtung im Vakuum zur Lösung verschiedenster Aufgaben industriell eingesetzt.

Bereits 1936 wurden Kathodenzerstäubungsanlagen zur Beschichtung von Papier- und Textilbändern eingesetzt. Außerdem wurden mit dieser Methode Wachsmatrizen von Schallplatten mit Silber beschichtet.

Einen weiteren Schwerpunkt bildeten die optischen Schichten: in den Jahren 1940 bis 1944 fertigte man in Großanlagen (Durchmesser 1,80 m und 2,20 m) und in klimatisierten Räumen Rhodium-Spiegel auf Glas. Ab 1942 wurde das Rhodium zunehmend durch Aluminiumschichten mit SiO_2 -Schutzschicht abgelöst. Die optische Reflexminderung mit Doppelschichten ging in Deutschland ab 1949 in Fertigung.

Die industrielle Bedampfungstechnik zur dekorativen Metallisierung von Kunststoffteilen ist Gegenstand von Veröffentlichungen in produktionstechnisch ausgerichteten Zeitschriften – hauptsächlich in den USA – in den Jahren 1947 bis 1951. Die heute noch gebräuchlichen Anlagen mit horizontalem Kessel (Durchmesser 1,80 m und größer) für dreidimensionale Teile werden seit Ende der 50er-Jahre gebaut.

Durch Beschichten im Vakuum können heute Schichten aus reinen Metallen, Legierungen, Oxiden, Nitriden, Karbiden, Karbonitriden, Oxinitriden und aus Polymeren auf Kunststoffe aufgebracht werden. Diese Schichten werden als Einzelschichten und Mehrschichtsysteme, deren Dicken im Bereich von einigen nm bis zu einigen μm liegen, abgeschieden. (Zum Vergleich: Die Dicke galvanisch auf Kunststoffen abgeschiedener Schichten liegt vorzugsweise oberhalb 10 μm .)

Zur Beschichtung und zur Veränderung von Kunststoffoberflächen im Vakuum werden heute das thermische Verdampfen (Widerstandsverdampfen, Elektronenstrahlverdampfen) und verschiedene plasma-gestützte Beschichtungsverfahren (z. B. Kathodenzerstäuben (Sputtern), Lichtbogen-Verdampfen (ARC-Verdampfen), Plasmapolymersation, plasma-unterstützte chemische Gasabscheidung (PE-Chemical Vapour Deposition, PE-CVD) sowie deren Kombinationen eingesetzt. Als Vor- und Nachbehandlungsschritte kommen, wenn erforderlich, beschichtende Verfahren zum Aufbringen von Grund- und Deckschichten (z. B. Lackieren, Bedrucken, galvanische Beschichtung sowie Plasmapolymersation) sowie nicht-beschichtende Verfahren zur Vorreinigung und Aktivierung der zu beschichtenden Oberflächen (z. B. Strahlen, Plasmaätzen sowie Glimm-, Flamm-, und Coronabehandlung) zum Einsatz.

Introduction

For over 60 years vacuum coating has been employed to solve problems in industrial production in a broad range of applications.

As early as 1936 cathode sputterers were used to coat paper and woven bands. This method was also employed to coat the wax masters of early recordings with silver.

Coatings for optical purposes are another important application: from 1940 to 1944 rhodium mirrors on glass were produced in large devices (diameters of 1,80 m and 2,20 m) under climate-controlled conditions. As of 1942, rhodium was increasingly replaced by aluminum coatings with a protective coating of SiO_2 . The production of double-layer, anti-reflective films began in Germany in 1949.

Industrial vapor deposition technology for the decorative metallization of plastic parts was the subject of articles published in journals in the field of production technology – mainly in the United States – in the years 1947 to 1951. The type of equipment most commonly used for three-dimensional objects, a horizontal chamber (diameter 1,80 m and larger) has been built since the late 1950s.

Through the process of vacuum coating it is now possible to apply coats of pure metals, alloys, oxides, nitrides and polymers to plastics. These coatings are applied in single and multiple-layer systems deposited in thicknesses ranging from a few nm to a few μm . (In comparison: the thickness of coatings galvanically deposited on plastics tends to lie over 10 μm .)

In order to coat and to alter plastic surfaces in a vacuum, various thermal evaporation (resistive evaporation, electron beam evaporation) and various plasma enhanced coating processes (such as sputtering), ARC vaporization, plasma polymerization, plasma enhanced chemical vapor deposition (PE-CVD) as well as combinations thereof are employed. Pretreatment and after-treatment steps, when required, include coating processes for the application of base and top coats (such as lacquer, printing, galvanic coating and plasma polymerization) as well as non-coating processes for purposes of precleaning and the activation of the surfaces to be coated (such as radiation, plasma etching, glow discharge, flame and corona treatment).

Das Verhalten des im Vakuum beschichteten Kunststoffes unter produktspezifischen Einsatzbedingungen wird durch das Verhalten des durch die Beschichtung geschaffenen Verbunds aus Schichtwerkstoff (einschließlich Grund- und Deckschichten sowie technologisch bedingten Zwischenschichten) und beschichtetem Kunststoff bestimmt und erklärt sich aus dem Zusammenspiel der Eigenschaftsprofile der einzelnen Bestandteile des Verbunds.

Das Eigenschaftsprofil der im Vakuum abgeschiedenen Schicht wird sowohl durch das abgeschiedene Material als auch durch die Übergangszonen zwischen Schicht und Grundschicht bzw. Substrat bestimmt. Sowohl die Eigenschaften des abgeschiedenen Materials als auch die Eigenschaften der verschiedenen Übergangszonen können durch Variation der Bedingungen der Vakuumbeschichtung zielgerichtet verändert werden. Um ein gefordertes, bestimmtes Verhalten des vakuumbeschichteten Kunststoffteils zu erreichen, ist deshalb eine sorgfältige Abstimmung zwischen den Volumeneigenschaften, dem Zustand des oberflächennahen Bereichs sowie der Oberfläche des Grundwerkstoffs und den Eigenschaften des aufzubringenden Schichtsystems (einschließlich Grund-, Zwischen- und Deckschichten) vorzunehmen. Beispielsweise wirkt sich der Zustand der Oberfläche (z. B. durch Gushäute) bzw. der Zustand des oberflächennahen Bereichs des Grundwerkstoffs (z. B. durch Migration von Additiven) direkt auf die Ausbildung der Übergangszone zwischen Substrat und Schicht und damit unmittelbar auf die Haftung zwischen Schicht und Substrat als Voraussetzung für alle Anwendungen des beschichteten Teils aus.

1 Geltungsbereich

Die vorliegende Richtlinie erfasst die Hauptanwendungsbereiche der Beschichtung von Kunststoffen im Vakuum: Die Abscheidung physikalischer und chemischer Funktionsschichten sowie dekorativer Schichten. Diese Schichten werden auf Formteilen und Halbzeugen (Platten, Folien, Geweben etc.) aus sehr unterschiedlich zusammengesetzten Kunststoffen (verschiedene Ausgangspolymere und Additive sowie deren Mischungen) abgeschieden.

2 Anwendungsbereiche der Vakuumbeschichtung von Kunststoffen

Der Einsatz der Vakuumbeschichtung zur Abscheidung von physikalischen und chemischen Funktionsschichten sowie von dekorativen Schichten führte bereits in vielen Fällen zur Etablierung von oberflächenveredelten Kunststoffen in unterschiedlichen Industriebereichen sowie zur Entwicklung neuer, innovativer Produkte.

The behavior of Vacuum Coated Plastics, when used under product specific conditions, will be determined by the behavior of the bond created between the layers of coating material (including the base and top coat as well as any technologically required interim layers) and the coated plastic and is influenced by the interaction between the property profiles of the individual elements in the bond.

The property profile of the vacuum deposited coating will be determined by both the deposited material and the interface between the coating and the base coat or the substrate. Both the characteristics of the deposited material and the characteristics of various substrate-coating interfaces can be altered through variations in the conditions of the vacuum coating process. In order to achieve a certain required behavior in vacuum coated plastic parts, the relationship between the volume characteristics of the base material, the condition of the base material near its surface and the characteristics of the coating system to be applied (including the base, intermediate and top layers) must be carefully considered. The condition of the surface (its roughness) and the condition of the base material immediately below its surface (for example when additives migrate) directly affect the formation of the interface between the substrate and the coating and therefore have a direct effect on the adhesion between the coating and the substrate as a precondition for all further uses of the coated parts.

1 Scope

This guideline addresses the major applications of plastic coating in a vacuum: deposition coatings with physical and chemical functions as well as those for decorative purposes. These coatings are deposited on molded or formed parts and semi-finished goods (sheets, films, webs, etc.) made of plastics with very different components (different base polymers and additives as well as mixtures).

2 Applications for Vacuum Coating Plastics

The use of the vacuum coating processes for the deposition of physically and chemically functional coatings, as well as decorative coatings, has led to the widespread introduction of surface treated plastics in a variety of industrial contexts as well as to the development of new and innovative products.