

Nanotechnology is considered to be one of the most important future technologies. Many chemical compounds can nowadays be produced as nanoparticles. Therefore it is obvious that such nanopowders may also be used for the development of new corrosion resistant coatings for metallic components.

Die Nanotechnologie gilt als eine der bedeutendsten Zukunftstechnologien. Unter anderem können zahlreiche chemische Verbindungen heutzutage als Nanopartikel hergestellt werden. Es liegt daher nahe, solche Nanopulver auch für die Entwicklung neuartiger korrosionsschützender Beschichtungen für metallische Bauteile in Betracht zu ziehen.

Nanoenamel – New Technologies for Functional Coatings

Nanoemails – Neue Technologien für funktionelle Beschichtungen

W. FÜRBEETH, H.Q. NGUYEN, M. SCHÜTZE

For the development of new corrosion resistant coatings for metallic components especially the extraordinarily high sintering activity of nanoparticles is of great value. Nanopowders show a significantly lowered sintering temperature of about 20 to 30% of their melting point compared to about 50 to 80% for conventional powders. For this reason thermal coating procedures may be carried out with nanopowders in a temperature range, in which no changes of the bulk metal substrate should occur.

The development of such new coating procedures is the aim of a research project, which is carried out at the Karl-Winnacker-Institute of DECHEMA. First results have shown that dense, purely inorganic protective coatings could be obtained on aluminum and steel substrates. Besides their anti-corrosive function these coatings are also characterized by a high thermal stability. They are based on silicon dioxide, which is easily commercially available as a nanopowder. For further lowering the melting point by the formation of a eutectic mixture suitable sintering additives, like e.g. boron oxide, are mixed with the silicon dioxide. As one of the possible coating methods electrophoretic deposition has proven to be quite successful. However, for using this method suitable ways had to be developed to add the sintering additives, as they are not commercially available as nanopowders. One possible way to do this is the preparation of well-designed multi-component nanoparticles by the sol gel technique, with silicon dioxide and the sintering additives being adequately mixed in the whole particle. On the other hand commercially available silicon dioxide nanopowders may also be coated with a hull of the eutectic mixture by sol-gel technology. In order to improve the particle deposition as well as the sintering behavior the nanoparticle surface may also be modified by suitable organic adhesion promoters. In this way especially the cracking resistance of the resulting coatings could significantly be improved. Furthermore extremely hydrophobic coatings could be obtained by the use of fluor-containing compounds in conjunction with the sol-gel procedure, however, only such compounds have been used, which finally would not lead to partly organic groups in the coating. The inorganic nanoenamel-like coatings are now fur-

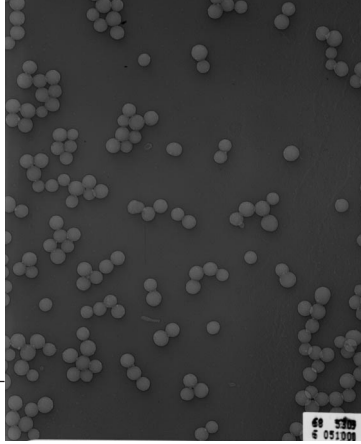
W. Fürbeth, H.Q. Nguyen, M. Schütze, Karl-Winnacker-Institut der DECHEMA e.V., Frankfurt am Main/Germany

Für die Entwicklung neuartiger korrosionsschützender Beschichtungen für metallische Bauteile kann insbesondere die außerordentlich hohe Sinteraktivität der Nanopartikel von großem Nutzen sein. So weisen Nanopulver eine deutlich erniedrigte Sintertemperatur von ca. 20 bis 30% der Schmelztemperatur im Vergleich zu 50 bis 80% bei konventionellen Pulvern auf. Aus diesem Grund sind mit Nanopulvern thermische Beschichtungsverfahren in einem Temperaturbereich möglich, in welchem keine Veränderungen am zu beschichtenden Metall stattfinden sollten.

Die Entwicklung derartiger Beschichtungsverfahren steht im Vordergrund eines Projektes, welches am Karl-Winnacker-Institut der DECHEMA durchgeführt wird. Hierbei konnten bereits dichte, rein anorganische Schutzschichten auf Aluminium und Stahl gewonnen werden, die neben ihrer korrosionsschützenden Wirkung auch eine gute thermische Stabilität aufweisen. Die Schichten basieren auf Siliziumdioxid, welches kommerziell als Nanopulver verfügbar ist. Zur Schmelzpunkterniedrigung durch Eutektikumsbildung werden geeignete Sinteradditive, wie Boroxid, zugesetzt. Als Methode zur Aufbringung der Schichten hat sich unter anderem die elektrophoretische Abscheidung als besonders erfolgreich erwiesen. Dafür mussten allerdings geeignete Wege gefunden werden, um die nicht als Nanopulver kommerziell verfügbaren Sinteradditive in die Schicht einzubauen. Dies kann zum einen über die gezielte Herstellung von Mehrkomponenten-Nanopartikeln im Sol-Gel-Verfahren erfolgen, wobei SiO_2 und die Sinteradditive im gesamten Partikel in geeigneter Mischung vorliegen. Zum anderen können aber auch kommerzielle SiO_2 -Nanopulver mittels Sol-Gel-Prozess mit einer Hülle umgeben werden, in der das eutektische Gemisch vorliegt.

Zur Verbesserung des Abscheide- wie auch des Sinterverhaltens kann weiterhin die Oberfläche der Nanopartikel gezielt mit organischen Haftvermittlern modifiziert werden. Hierdurch konnte insbesondere eine deutliche Verringerung der Rissempfindlichkeit der Schichten erzielt werden. Des Weiteren konnten durch die Verwendung fluorhaltiger Ausgangsstoffe in Verbindung mit dem Sol-Gel-Verfahren auch extrem hydrophobe Beschichtungen hergestellt werden, wobei darauf geachtet wurde, dass solche Verbindungen verwendet werden, die nicht zum Verbleib organischer Anteile in der Schicht führen. Die nanoemail-artigen Schichten werden

Multi-oxide nanoparticles of about 50 nm produced via sol-gel technology (observed by transmission electron microscopy)



Mischoxid-Nanopartikel einer Größe von etwa 50 nm hergestellt mittels des Sol-Gel-Verfahrens (Abbildung im Transmissionselektronenmikroskop)

ther optimized and characterized concerning their protective effect as well as other important properties.

The focus of the running research project is first of all on the corrosion protection of light metals. Here the inorganic character of the coatings should in the same time lead to a higher thermal stability. This is important for example for light metal wheels, where hot break dust may irreversibly damage the organic coatings used so far. A totally different field of application, which is being followed now also in a new research project, is the repair of enamels for chemical process equipment. The only possibility for repairing enamel defects so far is the use of tantalum plugs. The healing of enamel defects with something similar to the enamel itself was not possible so far due to the necessary heat treatment and the mechanical stresses which occur. By the use of chemical nanotechnology it should now be made possible to close defects in enamels by an enamel-like inorganic layer at a rather low temperature.

In addition to the aims followed so far numerous further application potentials for inorganic nanoenamel-like coatings may be identified, e.g. the improvement of the wear resistance of metals, the development of stain-resistant or easily cleanable surfaces, the development of new catalytic surfaces, the production of nanoporous membranes and others more. ■

derzeit weiter optimiert und hinsichtlich ihrer Schutzwirkung und anderer Eigenschaften charakterisiert.

Als Anwendungspotenzial steht zunächst der Korrosionsschutz von Leichtmetallen im Fokus des Projektes, wobei der anorganische Charakter der Schichten gleichzeitig zu einer hohen thermischen Stabilität führen kann. Dies ist z.B. beim Schutz von Leichtmetallfelgen von Bedeutung, wo organische Beschichtungen durch heißen Bremsstaub irreversibel geschädigt werden können. Ein ganz anderes Anwendungsfeld, welches nun in einem weiteren Projekt verfolgt wird, stellt die Reparatur von Apparate-Emailierungen dar. Die einzige Möglichkeit zur Ausbesserung auftretender Fehlstellen besteht bislang in dem Setzen von Tantalstopfen. Eine artgleiche Reparatur des Emails war aufgrund der notwendigen Behandlungstemperaturen und der auftretenden mechanischen Spannungen nicht möglich. Durch Anwendung chemischer Nanotechnologie soll es nun jedoch ermöglicht werden, Defektstellen bei vergleichsweise niedriger Temperatur durch eine emailähnliche anorganische Schicht auszubessern. Weitere Anwendungspotenziale für die anorganischen Nanoschichten bestehen z.B. im Verschleißschutz von Metalloberflächen, in der Entwicklung schmutzabweisender bzw. leicht zu reinigender Oberflächen, der Entwicklung neuer Katalysatoroberflächen oder der Herstellung nanoporöser Membranen. ■