1 / 2020
Januar / Februar
68. Jahrgang

email

MITTEILUNGEN DES DEUTSCHEN EMAIL VERBANDES E.V.

www.emailverband.de

info@emailverband.de

Information

Berichte aus
Industrie & Forschung

Produkte & Verfahren

Aktuelles zum
Thema Emailtechnik

Verband

Tagung, Schulung
Gremien, Verschiedenes

D-58093 Hagen, An dem Heerwege 10

PREIS DES
EINZELHEFTES 13,- EUR

DEUTSCHER EMAIL VERBAND E.V.
58093 HAGEN

ISSN 09 38 -9865

POSTVERLAGSORT HAGEN

dev
deutscher email verband

Emaillieren additiv gefertigter Bauteile – Stand der Technik und neueste Entwicklungen

von
Dr.-Ing. Jürgen Reinemuth,
THALETEC GmbH, Thale

(Vortrag auf der Email-Tagung in Würzburg 2019, die Bildrechte liegen beim Autor)

Abstract

Additive Manufacturing techniques are used nowadays to produce complex parts made of metal. For parts to be glass lined, Selective Laser Melting is the preferred concept of manufacture. Since the first steps towards glass lining additively manufactured parts in 2014, the technology today has significantly advanced. In this article, several examples show applications of glass lined and additively manufactured components for the process industries.

Einleitung

In [1, 2] wurde bereits ausführlich über die Technologie der additiven Fertigung von metallenen Bauteilen berichtet. Ebenso wunde in diesem Beitrag auf wesentliche Aspekte der Emaillierung solcher Bauteile eingegangen. Der Vollständigkeit halber hier nochmals kurz die Grundlagen der additiven Fertigung.

Additive Fertigungsverfahren gewinnen für das Herstellen komplexer Bauteile eine zunehmende Bedeutung. Im Gegensatz zu den bisher üblichen subtraktiven Fertigungsverfahren wie Drehen, Fräsen und Bohren erfolgt bei additiven Verfahren der schichtweise Aufbau eines Werkstückes. Es wird also Material hinzugefügt anstatt es durch Zerspanen abzutragen. Die Fertigung der Teile erfolgt direkt aus einem digitalen Datenmodell der Geometrie des Bauteils aus formlosen (z.B. Flüssigkeiten oder Pulver) oder formneutralen (z.B. Bänder, Stäbe, Drähte) Material mit Hilfe chemischer und/oder physikalischer Prozesse. Additive Fertigungsverfahren sind den urformenden Verfahren zuzuordnen (wie zum Beispiel auch das Gießen). Für das Herstellen eines konkreten Erzeugnisses sind gegenüber bisherigen urformenden Verfahren jedoch keine Werkzeuge erforderlich, in denen die Geometrie des Werkstückes „gespeichert“ ist. Für die additive Herstellung emaillierfähiger Bauteile hat sich das „Selective Laser Melting“-Verfahren als das am besten geeignete herauskristallisiert: Beim selektiven Laserschmelzen wird der zu verarbeitende Werkstoff als Pulver lagenweise in dünnen Schichten auf einer Grundplatte aufgebracht. Mittels Laserstrahl wird die Pulverschicht lokal vollständig umgeschmolzen und bildet nach der Erstarrung eine feste Materialschicht.

Bildquelle: CCR/DEV

Anschließend wird die Grundplatte um den Betrag der Dicke einer Schicht abgesenkt und erneut Pulver aufgetragen. Dieser Zyklus wird solange wiederholt, bis das Werkstück vollständig aufgebaut ist. Das fertige Bauteil wird von überschüssigem Pulver gereinigt, nach Bedarf nachbearbeitet oder sofort verwendet. Typische Schichtstärken für eingesetzte Materialien liegen bei 20 -100 μm.

Durch selektives Laserschmelzen gefertigte Bauteile zeichnen sich durch Bauteildichten > 99 % aus. Zusammen mit den Einstellparametern und den Betriebsparametern der SLM-Anlage kann gewährleistet werden, dass die mechanischen Eigenschaften additiv hergestellter Bauteile weitgehend denen eines konventionell erschmolzenen Grundwerkstoffs entsprechen.

Gegenüber konventionellen Urform-Verfahren (Gussverfahren) zeichnet sich das Laserschmelzen dadurch aus, dass Werkzeuge oder Formen entfallen (formlose Fertigung) und dadurch die Produkteinführungszeit reduziert werden kann. Ein weiterer Vorteil ist die große Geometriefreiheit, die Bauteilformen ermöglicht, die mit formgebundenen Verfahren nicht oder nur mit großem Aufwand herstellbar sind.

Als besonders geeignet für das Emaillieren sind Werkstoffe wie SS316L (ein nichtrostender Stahl) sowie Nickelbasislegierungen wie Inconel 625 oder Inconel 718 (2.4668).

Neueste Entwicklungen Emaillierte großformatige Reparaturelemente: EmPads

Emaillierte Apparate sind in einer Vielzahl verfahrenstechnischer Prozesse das „Herz“ der Anlage und demnach für deren Verfügbarkeit und Produktivität bestimmend. Aufgrund der hohen Beständigkeit gegen chemische Korrosion, der hohen Verschleißbeständigkeit des Emails und der glatten, gut reinigbaren, chemisch in-

erten Oberfläche sind emaillierte Apparate oft die erste Wahl. Wird ein emaillierter Apparat beschädigt, sei es infolge von Verfahrensbedingungen, wegen falscher Handhabung oder beim Durchführen von Wartungs-oder Inspektionsarbeiten, ist eine schnelle und zuverlässige Reparatur der Emaillierung erforderlich. Bisherige Reparaturverfahren beruhten auf dem Ansatz, die schadhaften Stellen an den produktberührten, emaillierten Flächen mit Hilfe von Abdeckelementen aus Tantal vor weiterem Korrosionsangriff zu schützen. Je nach Größe des Schadens kommen dabei Tantalschrauben, gewölbte Scheiben Tantalplatten und Tantalschürzen zum Einsatz. Die Abdeckelemente werden mit Hilfe von Schrauben und/oder Muttern aus Tantal mit dem beschädigten emaillierten Bauteil verschraubt.

Bezogen auf den Anwendungsbereich ist Tantal der einzige vergleichbare metallene Werkstoff zu Email, dessen Einsatz aber mit wesentlichen Nachteilen verbunden ist. Das sind insbesondere die Materialkosten des Metalls und die Kosten für die Schweißvorgänge, die immer unter kontrollierter Atmosphäre durchgeführt werden müssen. Außerdem versprödet Tantal durch Wasserstoff, d.h., die breite Palette der Hydrierungs-und Dehydrierungsreaktionen lässt sich in Behältern, die mit Tantal-Bauteilen instand gesetzt wurden, nur sehr begrenzt realisieren. Andere Metallwerkstoffe, wie zum Beispiel rostfreie Stähle oder Alloys lassen sich nur in sehr eingeschränkten

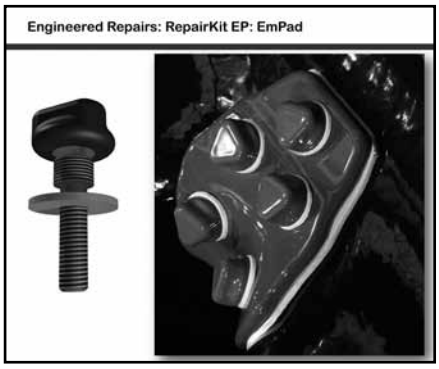

Abbildung 1: Emailliertes, additiv gefertigtes Reparaturelement

Anwendungsbereichen einsetzen, weil deren Bestandteile, vor allem Ni, Cr und Mo unerwünschte Nebenreaktionen katalysieren.

Tantal ist ein chemisch zwar hoch beständiger Werkstoff aber besitzt sehr schlechte mechanische Eigenschaften: Die Härte liegt bei nur 90-210 HV, das E-Modul bei 186 GPa (Stahl 210 GPa), die Steckgrenze bei 100-200 MPa und die Dehnung zwischen 10 und 30%.

Für Flächen an emaillierten Bauteilen, die keiner Regelgeometrie entsprechen und entsprechend komplex sind, wurde ein innovatives Reparaturkonzept entwickelt: Mittels eines 3D-Scanners erfasst ein Serviceingenieur von THALETEC die Geometrie des beschädigten Bauteils, beispielsweise die des Behälters im Bereich des Übergangs von Behälterboden zu Behälterstutzen. Der so erfasste 3D-Scan wird in ein CAD-System eingelesen. Ein darauf spezialisierter Ingenieur entwickelt auf der Basis der gescannten Geometrie ein genau passendes Gegenstück.

Dieses Teil kann dann additiv gefertigt, emailliert und in den defekten Apparat eingebaut werden. Wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist es, dass nach der Reparatur wiederum nur emaillierter Stahl in Kontakt mit dem Medium ist, die Nachteile von Tantal-Plomben somit eliminiert werden können. Schließlich ist das Verfahren sehr schnell umsetzbar, so dass die Wartezeit zwischen Scan und dem Einbau des emaillierten Reparaturelements oft nur wenige Tage beträgt und der Apparat so schnell wieder für die Produktion zur Verfügung steht. Mittlerweile hat sich die 3D-Drucktechnik so weiterentwickelt, dass Reparaturelemente bis zu einem Durchmesser von 600 mm additiv gefertigt werden können.

Statische Mischer mit emaillierten Mischelementen

Bei statischen Mischern bewirkt allein die Strömungsbewegung die Vermischung. Sie verfügen über keinerlei bewegte Bauteile, sondern besitzten mehrere strömungsbeeinflussende Elemente im Innern des Rohres. Diese teilen abwechselnd den Stoffstrom auf und führen ihn dann wieder zusammen, wodurch die Vermischung erreicht wird. Neben dem Realisieren von Mischaufgaben verbessern statische Mischer auch den Wärmeübergang.

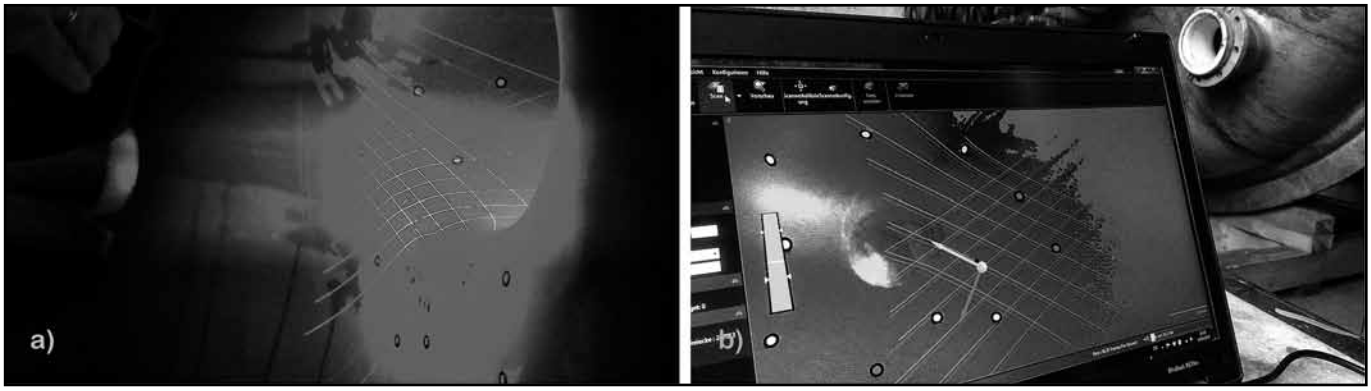

Abbildung 2: Erfassen der Bauteilegeometrie mit Hilfe eines handgeführten 3D-Scanners

© IBE 2020

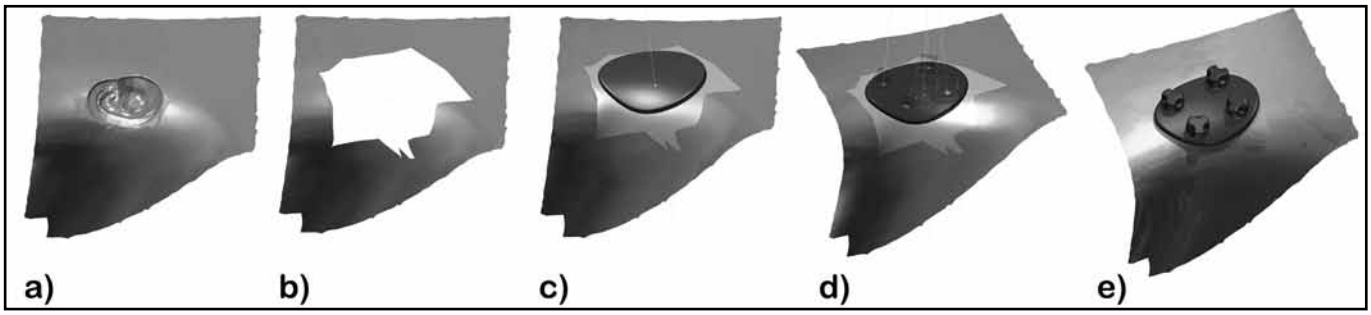

Abbildung 3: Vorgehensweise bei der Konstruktion eines Reparaturelements

Abbildung 4: Statischer Mischer mit emaillierten Mischelementen

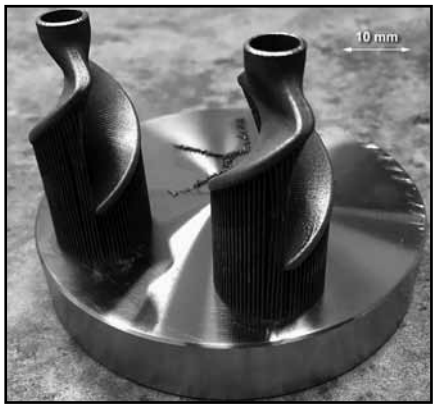

Abbildung 5: Additiv aus einer Nickelbasislegierung gefertigte Mischelemente auf der Bauplattform des 3D-Druckers

Der statische Mischer besteht aus einem Rohr (Borosilikat-Glas oder emaillierter Stahl) in den ein emailliertes statisches Mischsystem eingebaut ist. Das Mischsystem besteht aus mehreren, axial hintereinander angeordneten gegenläufigen spiralförmigen Mischelementen. Jedes Mischelement teilt die Strömung in 2 oder 3 oder 4 Teilströme auf, so dass nach etwa 3 bis 6 Mischelementen eine homogene Mischung der zugeführten Medien erfolgt ist.

Abbildung 6: Schnitt durch einen emaillierten Hochdruckreaktor

Die Mischelemente werden mit Hilfe eines 3D-Druckers additiv aus einer Nickelbasislegierung gefertigt. Die produktberührten Flächen sind emailliert. Jedes der Elemente kann jederzeit ausgetauscht werden. In einer optionalen Ausführung können die Mischelemente so ausgeführt werden, dass diese beheizt oder gekühlt werden können.

In der emaillierten Ausführung sind statische Mischer nach dem beschriebenen Prinzip für Betriebstemperaturen bis zu 230°C bei Drücken bis 16 bar ausgelegt. Die hochwertige technische Emaillierung erlaubt auch Anwendungen unter hoch korrosiven Bedingungen, vor allem bei sauren Medien.

Temperierte Hochdruck-Reaktoren

Additiv hergestellte emaillierte Hochdruckreaktoren werden in der Verfahrenstechnik für das Durchführen von Versuchen mit korrosiven Medien bei Temperaturen bis zu 230°C und Drücken bis zu 300 bar verwendet. Die Nutzung des additiven Fertigungsverfahrens ermöglicht die Integration eines Temperierkanals um den Reaktorinnenraum zu beheizen oder zu kühlen. Die Kombination aus Emaillierung und integriertem Temperierkanal bietet gegenüber den bisher üblichen Lösungen die Möglichkeit, die Wärmetönung des Prozesses besser zu beeinflussen und eine höhere Druckhaltefähigkeit trotz geringerer Wandstärken zu erzielen. Ferner wird durch die neue Konstruktion Gewicht eingespart, die der Handhabung der Reaktoren im Labor entgegenkommt.

Der in **Abbildung 6** dargestellte Hochdruckreaktor hat einen Durchmesser von ca. 90 mm und eine Länge von 280 mm und wurde auf einer SLM-Maschine in 96 Stunden additiv gefertigt.

Rührorgane für kleine Rührbehälter bis 600 mm Durchmesser

Rührer werden in emaillierten Rührbehältern zum Durchmischen des Behälterinhaltes verwendet. Je nach Rühraufgabe

und dem zu verfolgenden Ziel, werden unterschiedliche Rührorgane verwendet. Bisher wurden solche Rührorgane für alle Apparate konventionell gefertigt, also durch Ausbrennen von Blechen, mechanischer Bearbeitung der Einzelteile, Umformung, Schweißen, Emaillieren und anschließender Nachbearbeitung. Der sich bei der Herstellung kleiner Rührer ergebende Aufwand steht oftmals in keinem Verhältnis zu dem erzielbaren Preis für solche Bauteile. Es ist daher aus wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten sinnvoll, Rührer in kleinen Abmessungen, d.h., bis zu einem Durchmesser von etwa 400 mm additiv zu fertigen und anschließend zu emaillieren. Infolge dieser Vorgehensweise kann der Aufwand (und die damit verbundenen Kosten) für Materialbeschaffung, Konstruktion, Erstellung von Arbeitsplänen und das Anfertigen des zu emaillierenden Bauteils deutlich reduziert und der Produktentstehungsprozess signifikant beschleunigt werden. Weiterer Vorteil ist, dass die additiv gefertigten Bauteile sofort in der Endgeometrie hergestellt werden und Toleranzen und Abweichungen höchstens im 1/10 mm-Bereich auftreten.

SiOCoat-Emaillierung von additiv gefertigten Bauteilen aus rostfreiem Stahl (316L)

THALETEC SiOCoat ist eine Siliziumdioxid-basierte, glasartig amorphe Beschichtung für additiv gefertigte Bauteile aus rostfreien, austenitischen Stählen („Edelstahl“), wie zum Beispiel 316L (1.4404, X2CrNiMo17-12-2).

Das SiOCoat-Verfahren beruht auf einem Spritz-oder Tauchauftrag einer Suspension, die nach dem Trocknen bei ca. 850°C unter atmosphärischen Bedingungen eingebrannt wird. Während des Einbrennens entsteht eine stoffschlüssige, unlösbare Verbindung zwischen dem Grundwerkstoff und der Beschichtung. Dieser Verbundwerkstoff vereint die Eigenschaften des Grundwerkstoffes mit denen eines silikatischen amorphen Glases.

Vorteilhaft beim SiOCoat-Verfahren ist, dass die Wärmebehandlung des Bauteils zum Erreichen der gewünschten Werkstoffeigenschaften in einem Arbeitsgang mit dem Einbrennen der Beschichtung erfolgt. Damit werden Kosten reduziert und die Produkteigenschaften gleichzeitig deutlich verbessert.

SiOCoat kann sowohl ganzflächig oder aber selektiv auf Oberflächen aufgebracht werden. In letzterem Fall werden die Oberflächen, die nicht beschichtet werden sollen, entsprechend maskiert.

Emaillieren additiv gefertigter keramischer Bauteile

Keramische Bauteile werden üblicherweise in einem Lithographieverfahren gefertigt: Dabei wird ein Laser eingesetzt, der eine aus lichtempfindlichem Harz und Pulver zusammengesetzte Masse polymerisiert. Danach werden die Werkstücke einer Wärmebehandlung unterzogen (Entbinderung und Sinterung), bei der das Harz herausgelöst und die Keramik verdichtet wird. Die so hergestellten Werkstücke weisen nahezu die gleichen Eigenschaften auf, wie konventionell hergestellte Bauteile. Die Palette der angebotenen Werkstoffe reicht von Aluminiumoxid, Zirconiumoxid und Hydroxylapatit bis zu individuell angepassten Versätzen. [3]

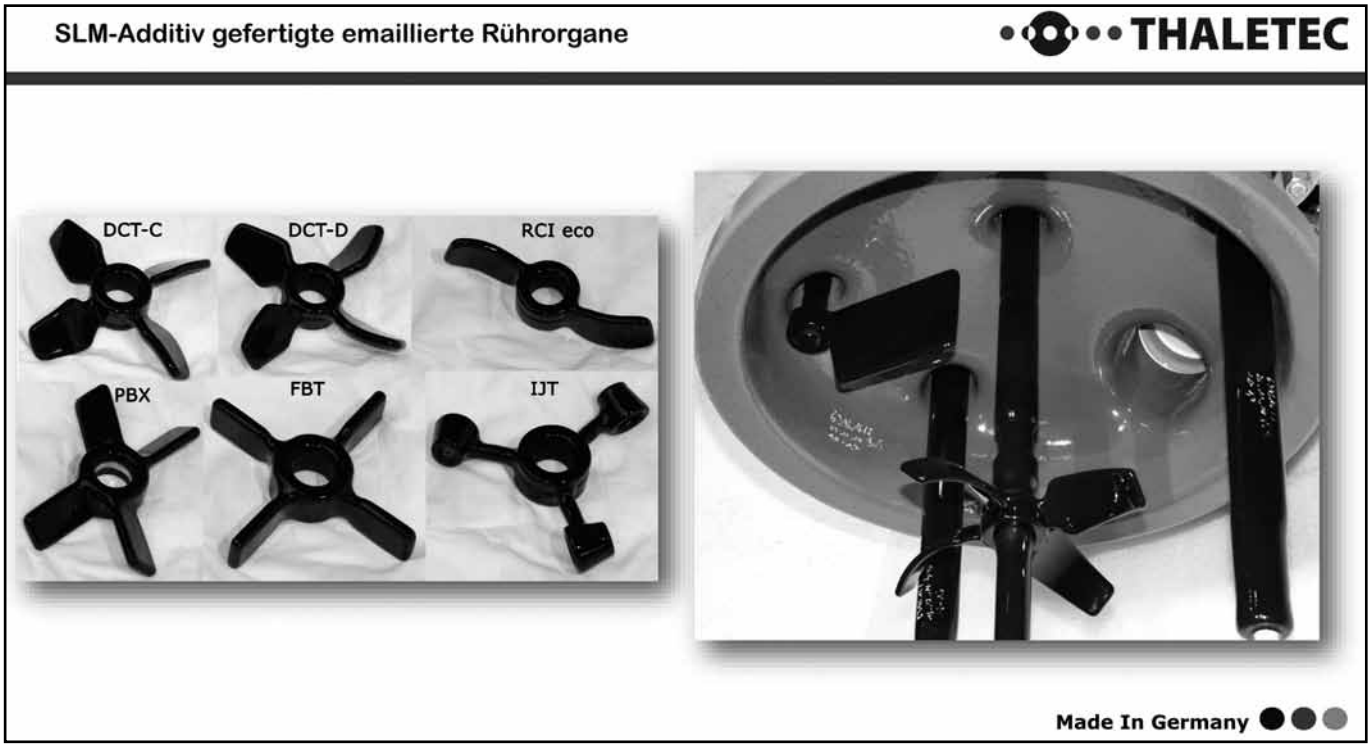

Abbildung 7: Additiv gefertigte Rührorgane

© IBE 2020

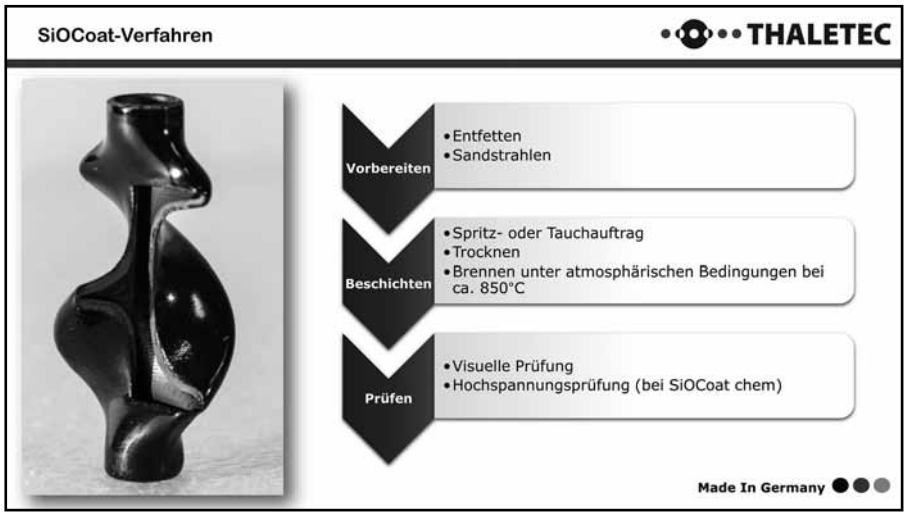

Abbildung 8: SiOCoat-beschichtetes Bauteil und Verfahren zu dessen Herstellung

Die so entstandenen Bauteile können dann, sofern der Werkstoff selbst sich mit Email verbindet und auch alle weiteren relevanten Randbedingungen (Festigkeit, Wärmeausdehnung etc.) „passen", emailliert werden. **Abbildung 9** zeigt einen Probekörper aus einer Oxidkeramik mit aufgebrachter, chemisch beständiger Emaillierung.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Additiv gefertigte Bauteile werden in der Industrie immer häufiger und in immer komplexeren Anwendungen erfolgreich eingesetzt. Das Emaillieren solcher Bauteile erweitert deren Anwendungsspektrum hin zu Bereichen, die aufgrund hoher Anforderungen an die chemische Beständigkeit oder die Oberflächengüte bisher nur unzulänglich erfüllt werden konnten. Die Erfahrungen mit der Emaillierung solcher Bauteile seit deren Einführung vor vier Jahren sind durchweg positiv. Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten muss es nun sein, Druckgeräte mittels additiver Fertigung herzustellen, die dann ebenfalls chemisch höchst beständig emailliert werden. Dazu müssen seitens der 3D-Fertigungsprozesse noch einige Randbedingungen abgesichert werden: Dazu gehören das Sicherstellen einer gleichbleibenden Qualität über den gesamten Bauprozess hinweg, das sichere

Abbildung 9: Probekörper aus Oxidkeramik mit Emaillierung, Kugelschreiber zum Größenvergleich

Einhalten der zugrunde gelegten Werkstoffkennwerte sowie der erforderlichen Oberflächeneigenschaften. Es ist jedoch nur noch eine Frage der Zeit, bis erste großvolumige Druckgeräte auch additiv gefertigt werden können.

Literatur

[1] Reinemuth, J., Langer, M.: Use of additive manufacturing processes for the production of glass-lined process equipment in: Proceedings of 23rd INTERNATIONAL ENAMELLERS CONGRESS – Florence/Milan (2015)

[2] Reinemuth, J.: Tradition trifft Moderne; Emaillierte 3D-gedruckte Bauteile für die chemische Verfahrenstechnik, in: CAV-Chemie Produktion Anlagen Verfahren 02-2018, S. 24ff., Konradin-Verlag

[3] Kollenberg, W.: Industrielle Fertigung von Keramik mit 3D-Druck, in: Keramische Zeitschrift 01/2015, Springer-Verlag (2015)

Verschiedenes

Organisatorische und gesellschaftsrechtliche Veränderungen bei der Stephan Schmidt Gruppe

Die Stephan Schmidt Gruppe, einer der weltweit führenden Produzenten von Spezialtonen und Mineralprodukten, ist bereits seit vielen Jahrzehnten mit ihren einzelnen Unternehmen in der Region Westerwald verwurzelt. Als erfolgreiches, weltweit tätiges Unternehmen bietet die Stephan Schmidt Gruppe nicht nur ca. 200 sichere Arbeitsplätze, sondern ist auch fester und engagierter Bestandteil in der und für die Region geworden.

Um diesen Erfolg auch für die Zukunft zu sichern, müssen immer wieder auch Möglichkeiten identifiziert werden, wie sich das Unternehmen noch besser für den zunehmenden Wettbewerb auf dem Weltmarkt aufstellen kann. Deshalb hat sich die Geschäftsleitung entschlossen, einige organisatorische und gesellschaftsrechtliche Veränderungen innerhalb der Stephan Schmidt Gruppe vorzunehmen. Interne Prozesse und Abläufe können dadurch verschlankt und beschleunigt werden, wobei die gewohnt hohe Qualität der Betreuung unserer Kunden selbstverständlich erhalten bleibt.

Zum 01.01.2020 werden die Müllenbach & Thewald GmbH sowie die Marx Bergbau GmbH & Co. KG – beide sind bereits heute 100-prozentige Tochtergesellschaften der Stephan Schmidt KG – ihren gesamten Betrieb an die Stephan Schmidt KG übergeben. Zudem sollen sie zu einem späteren Zeitpunkt gesellschaftsrechtlich mit der Stephan Schmidt KG zusammengeführt