

Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Geltungsbereich
- 3 Suspensionen
- 4 Anlagentechnik
- 5 Substrate und Oberflächenvorbereitung des Substrates
- 6 Schichtmikrostrukturen
- 7 Prüfen der Schichten
- 8 Anwendungsmöglichkeiten
- 9 Nachbehandlung
- 10 Arbeits- und Umweltschutz
- 11 Schrifttum

1 Einleitung

Beim Thermischen Spritzen mit Suspensionen wird mit den bekannten Technologien atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) und Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) eine neue Klasse von Spritzzusatz – die Suspension – verwendet. In Analogie zu Pulver- und Drahtflammspritzen erscheint es deshalb von Vorteil, die Art des Spritzzusatzes in die Verfahrensbezeichnung mit aufzunehmen und als Abkürzung APS-S bzw. HVOF-S zu verwenden.

Für die Herstellung der Schichten wird gegenwärtig in der Regel konventionelle Anlagentechnik des APS und HVOF mit entsprechenden Modifikationen verwendet. Dies betrifft primär die Fördertechnik (Suspensionsförderer) und die Injektion. Für eine Realisierung der Technologie in der industriellen Praxis müssen neben der Verfügbarkeit einer praxistauglichen Hardware (z. B. Suspensionsfördereinheiten, Injektoren) auch alle Fragen, die mit der Verwendung von Suspensionen als Spritzzusatz in Verbindung stehen, geklärt werden. Gleichzeitig müssen Suspensionsförderer und Auftragswirkungsgrade eine wirtschaftliche Herstellung der Schichten erlauben.

Die Verwendung von Suspensionen zum thermischen Spritzen befindet sich gegenwärtig im Übergang von der Entwicklung im Laborbetrieb in die industrielle Praxis. Auf Grund der aktuellen Dynamik des Prozesses ist laufend mit Neuerungen und Weiterentwicklungen zu rechnen. Gleichzeitig werden viele aktuelle Arbeiten aus dem kommerziellen Bereich (insbesondere Anwendungsentwicklungen) auf Grund von Einschränkungen durch Geheimhaltungsmaßnahmen erst veröffentlicht oder gar nicht publiziert.

2 Geltungsbereich

Dieses Merkblatt enthält Informationen über den aktuellen Einsatz von Suspensionen als Spritzzusatz beim Thermischen Spritzen.

Die Herstellung von kontaktharten Schichten im Bereich 10-50 µm gehört neben den geringen Oberflächenrauheiten zu den besonders wichtigen spezifischen Vorteilen. Für einige Werkstoffe wie z. B. Al_2O_3 und TiO_2 kann der Nachweis von Schichteigenschaften erbracht werden, die mit konventionellen Prozessen nicht möglich sind. Schichtdicken, -morphologien und -eigenschaften können in einem sehr weiten Bereich variiert werden. Bei Wärmedämmschichten hängt die Schichttraueheit von der Ausbildung der kolumnaren Strukturen ab.

Ein besonderer Vorteil liegt in der direkten Verwendung feindispers-

ser oxidkeramischer Pulver, wie sie zur Herstellung von gesinter-ten technischen Keramiken mit einer großen Variabilität (Korngröße, Reinheit, etc.) zur Verfügung stehen.

Im Merkblatt werden Hinweise und Empfehlungen zur Auswahl der Schichtwerkstoffe, der Charakteristik entsprechender Suspensionen, der Schichtherstellung, insbesondere mit atmosphärischem Plasmaspritzen (APS) und mit Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) und der Schichtcharakterisierung gegeben. Beispiele für Beschichtungen, die mit Suspensionen als Zusatzwerkstoff hergestellt wurden, werden angegeben.

Die Verwendung von Suspensionen als flüssiger Spritzzusatz grenzt sich ab von der Verwendung von Lösungen, die ebenfalls Gegenstand von aktuellen Entwicklungsarbeiten ist. Während sich in Suspensionen feindisperse Partikel im Lösungsmittel befinden, dissoziiert der Spritzwerkstoff bei Lösungen in Ionen. Es wird beispielsweise die Verwendung von Nitraten und Alkoholaten untersucht.

3 Suspensionen

Suspensionen sind als Spritzzusatz gegenwärtig bei Herstellern nur auf Anfrage verfügbar. Für die Versorgung mit Suspensionen sind in der Zukunft grundsätzlich zwei unterschiedliche Konzepte denkbar: entweder ein Vertrieb von spritzfertigen Suspensionen (ähnlich wie Schleifmittelsuspensionen) oder die Anfertigung der Suspension direkt im Spritzbetrieb nach einem vorgegebenen Rezept. Letzteres erfordert zusätzliche, aber kommerziell verfügbare, Anlagentechnik für die Suspensionsherstellung im Spritzbetrieb.

Wie bei allen anderen Spritzzusätzen entsteht die Schicht ausschließlich aus dem Feststoff, die Flüssigkeit ist also ausschließlich ein Hilfsmittel. Als Flüssigkeit in Entwicklungsarbeiten werden Wasser und verschiedene Alkohole verwendet. Für den Einsatz in der industriellen Praxis sprechen Kosten und Arbeitssicherheit eindeutig für die Verwendung von Wasser.

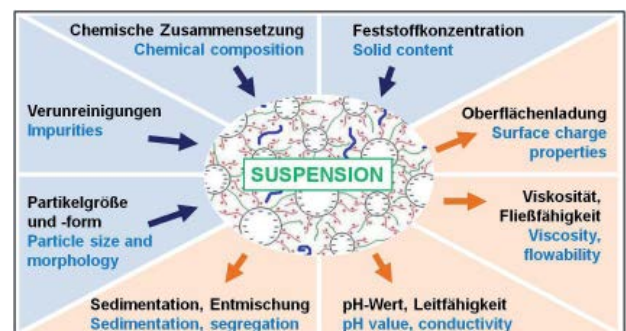


Bild 1: Parameter für die Suspensionen – durch die Feststoffe vorgegebene Eingangsparameter (blau) und resultierende Parameter (rot) der Suspension [L.-M. Berger, F.-L. Toma, A. Potthoff, Therm. Spray Bull., 2013, 6 (2), 98-101].

Bild 1 zeigt wesentliche, die Suspensionseigenschaften bestimmende Parameter. Die Gesamtheit der aus den Rohstoffeigenschaften resultierenden (im Bild mit blauem Untergrund) und durch Zugabe von Additiven optimierbaren Suspensionseigenschaften (im Bild mit rotem Untergrund) bestimmt die Anwendbarkeit einer Suspension zum thermischen Spritzen. Hohe Schichtqualitäten

Die Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Thermisches Spritzen und thermisch gespritzte Schichten“

können nur durch die Verwendung homogener Suspensionen mit sehr guter Fließfähigkeit gewährleistet werden, da diese eine hohe Langzeitstabilität des Spritzprozesses ermöglichen. Das heißt, während des Spritzprozesses darf sich die Suspension nicht entmischen, sondern muss mit konstanten Eigenschaften förderbar sein. Um dies zu realisieren, müssen die Partikel vereinzelt, d. h. in einer kolloidchemisch stabilen Suspension, vorliegen. Eine weitere Anforderung an die Suspension ist, dass sie keine korrosive Wirkung auf die Anlagentechnik hat.

Die Effizienz des Spritzprozesses wird positiv beeinflusst, wenn der Feststoffgehalt der Suspension möglichst hoch (bis zu 70 Ma. %) ist, da dann die zu verdampfende Wassermenge verringert wird und die Spritzzeiten reduziert werden. Insbesondere die Verwendung von Pulvern mit Korngrößen $> 1 \mu\text{m}$ erlaubt solch hohe Konzentrationen.

4 Anlagentechnik

Bild 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Anlage zum thermischen Spritzen mit Suspensionen. Als spezifische Anlagenkomponenten gehören dazu eine Suspensionsförder- und eindüsungseinheit, sowie eine modifizierte Spritzpistole.

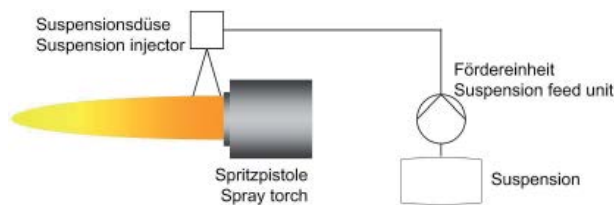


Bild 2: Schematische Darstellung des Anlagenbaus zum Spritzen mit Suspensionen [L.-M. Berger, F.-L. Toma, S. Langner, T. Naumann, Therm. Spray Bull., 2010, 3 (1), 24-29]

In den letzten Jahren hat es von Seiten der Industrie bereits etliche Aktivitäten zur Entwicklung von Suspensionsfördereinheiten gegeben, welche zum Teil bereits kommerziell verfügbar sind. Als Förderprinzip wird neben der Druckförderung die Förderung mit Schlauchquetschpumpen eingesetzt.

Bei der Injektion kann zwischen einer externen und einer internen Injektion unterschieden werden. Die interne Injektion erfordert dabei den höheren Modifikationsaufwand. Im Fall des APS ist konstruktionsbedingt fast nur eine externe radiale Injektion möglich. Die Injektion erfordert auf Grund der geringen Partikelgröße besondere Sorgfalt bei der Auswahl der Injektionsbedingungen. Lediglich spezielle Plasmabrennerkonstruktionen ermöglichen eine axiale Eindüsung. Bei der Verwendung des HVOF ist eine radiale Eindüsung direkt in die Brennkammer leichter möglich.

Bild 3 zeigt verschiedene Injektionsmöglichkeiten für die Suspensionen beim APS-S und HVOF-S.



Bild 3: Injektionsmöglichkeiten für die Suspensionen beim APS-S und HVOF-S [Bild: Fraunhofer IWS]. Externe radiale Injektion als kontinuierlicher Suspensionsstrahl im APS-S (a) und im HVOF-S (b) sowie axiale interne Injektion in die Brennkammer beim APS-S (c) und im HVOF-S (d) (ausretrender Suspensionsstrahl ohne Flamme), (d) Spritzprozess

5 Substrate und Oberflächenvorbereitung des Substrates

Durch thermisches Spritzen mit Suspensionen kann die gleiche Palette von Substratwerkstoffen wie mit Spritzprozessen unter Verwendung herkömmlicher Spritzzusätze beschichtet werden. Die wichtigsten Regeln zur Substratvorbereitung sind in DVS-Merkblatt 2301, Punkt 7 beschrieben. Auf Grund der wesentlich geringeren Größe der Partikel in den Suspensionen gegenüber konventionellen Beschichtungspulvern muss insbesondere bei der Verwendung von Strahlverfahren eine Anpassung der Strahlbedingungen (Korngröße des Strahlmittels, Strahldruck) an die geringere erforderliche Oberflächenrauheit erfolgen. Insbesondere bei dünnen Schichten verhindert eine zu hohe Oberflächenrauheit des Substrates die Realisierung von sehr glatten Schichtoberflächen, bzw. führen Strahlmittelrückstände zu Fehlern in der Schichtmikrostruktur.

6 Schichtmikrostrukturen

Es gehört zu den Vorteilen des thermischen Spritzens mit Suspensionen, dass vollkommen unterschiedliche Schichtmikrostrukturen eines Werkstoffes – von grob bis dicht bei starken Unterschieden in den Schichtdicken – hergestellt werden können. Bild 4 zeigt einige ausgewählte Schichtmikrostrukturen. Die Schichten in den lichtmikroskopischen Aufnahmen in Bildern 4a und 4b zeigen HVOF-S gespritzte Al_2O_3 -Schichten. Dabei zeigt die Aufnahme in Bild 4a eine dichte Schicht mit einer Dicke von rund $200 \mu\text{m}$ auf einem gestrahlten Substrat und Bild 4b eine Schicht mit einer Dicke im Bereich $10\text{-}15 \mu\text{m}$ auf einem ungestrahlten Substrat. Bild 4c zeigt eine HVOF-S gespritzte Titanoxidschicht. Bild 4d zeigt eine Wärmedämmschicht aus einem La-Al-Mg-Ta-Perowskit mit kolumnarer Struktur, die mit APS-S hergestellt wurde.

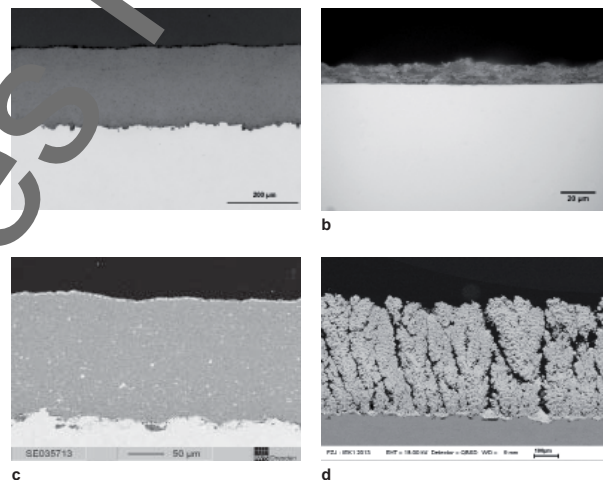


Bild 4: (a) Al_2O_3 -Schicht [L.-M. Berger, F.-L. Toma, A. Potthoff, Therm. Spray Bull., 2013, 6 (2), 98-101], (b) dünne Al_2O_3 -Schicht [L.-M. Berger, F.-L. Toma, A. Potthoff, Therm. Spray Bull., 2013, 6 (2), 98-101], (c) dichte TiO_2 -Schicht [L.-M. Berger, F.-L. Toma, S. Langner, T. Naumann, Therm. Spray Bull., 2010, 3 (1), 24-29], (d) Wärmedämmschicht aus einem La-Al-Mg-Ta-Perowskit mit kolumnarer Struktur [Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung].

7 Prüfen der Schichten

Die im DVS-Merkblatt 2301, Punkt 11 beschriebenen Möglichkeiten zur Prüfung der Schichten sind auch hier anwendbar.

8 Anwendungsmöglichkeiten

Die bis jetzt am intensivsten untersuchte Anwendung sind ZrO_2 -basierte Wärmedämmschichten. Auf Grund der hier gewünschten speziellen Schichtstrukturen bietet hier insbesondere das APS-S Vorteile.

Entwicklungen für biomedizinische Schichten werden in der Literatur ebenfalls umfangreich beschrieben. Als Schichtwerkstoffe werden insbesondere Hydroxylapatit und Glaskeramiken verwendet.