

Teilprojekt A10

Titel

Entwicklung simulativer Ansätze zur gezielten Auslegung der Eigenschaften plasmagespritzter Beschichtungen

Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. K. Bobzin

Projektbearbeitung: H. Heinemann, M.Sc.

Institut für Oberflächentechnik (IOT)

Aufgabenstellung

- Steigerung des Verständnisses über die Vorgänge während des Partikelaufralls beim Atmosphärischen Plasmaspritzen durch numerische Simulation.
- Erhöhung der Präzision bei der simulativen Vorhersage der korrekten Wärmeleitfähigkeit von thermisch gespritzten Beschichtung
- Erfassung von Störgrößen wie Turbulenzen im Atmosphärischen Plasmaspritzen

Vorgehensweise

Zur Erfüllung der ersten beiden Aufgabenstellungen wurden Simulation vom Aufprall und der Erstarrung von Aluminiumoxid Partikeln durchgeführt. Dabei wurde ein Rechengebiet der Größe $225 \times 225 \times 75 \mu\text{m}^3$ und mehrere Partikel betrachtet, um eine repräsentatives Volumenelement (RVE) der Beschichtung zu erzeugen. Die Partikelzustandsgrößen, wie Temperatur und Geschwindigkeit, der ankommenden Partikel stammen aus den ebenfalls im Rahmen dieses Projektes entwickelten Freistrahlsimulationen des Plasmagenerators.

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen war die Erfassung von Störgrößen im Plasmaspritzen wie z.B. Turbulenzen im Plasmafreistrah. Dazu wurden Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des Freistrahls aufgenommen. Diese ermöglichen die Beobachtung der Freistrahlsbewegungen in einer zeitlich extrem hohen Auflösung von $\Delta t = 3 \mu\text{s}$. Zur quantitativen Analyse dieser Aufnahmen wurde dann eine bildbasierte Methodik entwickelt.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer Aufprall- und Erstarrungssimulation. In den bisherigen Simulationen wurde dabei der intralamellare Spalt zwischen aufeinander erstarrten Partikeln vernachlässigt. Dies geschah vor allem aus numerischen Gründen, da eine korrekte Darstellung des Spaltes sehr kleine Elementgrößen erfordern würde. Durch die Vernachlässigung wird jedoch die Vorhersagegenauigkeit reduziert. Um den intralamellaren Spalt dennoch darstellen zu können, wurde eine neue Variable zur Identifizierung von einzelnen Partikel verwendet. Diese Partikelnummer zur Verfolgung der einzelnen Partikel ist in Abbildung 1 illustriert.

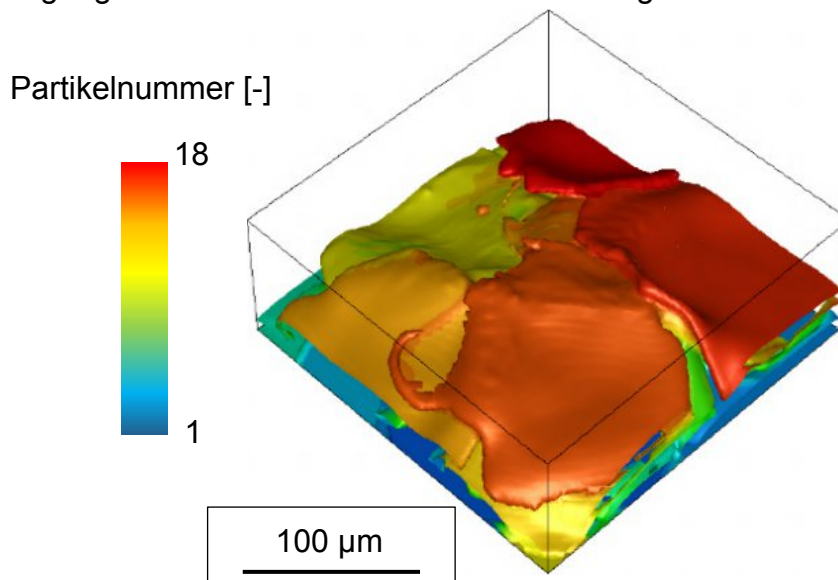


Abbildung 1: Ergebnis der Aufprallsimulationen mit durchnummerierten Partikeln

Dieser Ansatz ermöglicht es nun die Bereiche zwischen den Partikeln zu isolieren und gezielt zu manipulieren. Durch eine neu entwickelte Funktion wurde diesen Bereichen dann eine geänderte Wärmeleitfähigkeit zugewiesen. In Abbildung 2 ist der in den Simulationen verwendete Verlauf sowie ein annähernd realistischer Verlauf der Wärmeleitfähigkeit für die Grenze zwischen zwei Partikeln aus Aluminiumoxid aufgezeigt. Im realitätsnäheren (blauen) Verlauf sinkt die Wärmeleitfähigkeit in dem intralamellaren Spalt sprunghaft auf den Wert von Luft nahe Null. Der Verlauf der neuen (gelben) Funktion ist breiter ausgeführt. Dies ermöglicht es, dass dieser Verlauf auch von

einem Berechnungsgitter erfasst werden kann, welches zu akzeptablen Rechenzeiten führt.

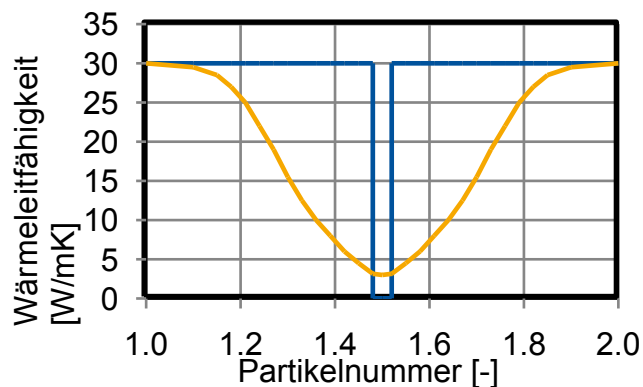


Abbildung 2: Verlauf der Wärmeleitfähigkeit zwischen Partikel eins und zwei im theoretisch realen Fall (blau) und im angelegten Fall (gelb)

Mithilfe der in den Simulationen erzeugten RVE wurden dann die effektive Wärmeleitfähigkeit der Schichtstruktur berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass durch die Anpassung der Wärmeleitfähigkeit im intralamellaren Spalt die vorhergesagten effektiven Wärmeleitfähigkeiten näher an die Literaturreferenz heranrücken. Gleichzeitig liegen alle Werte noch über dem Mittelwert des recht breiten Feld der Literaturwerte.

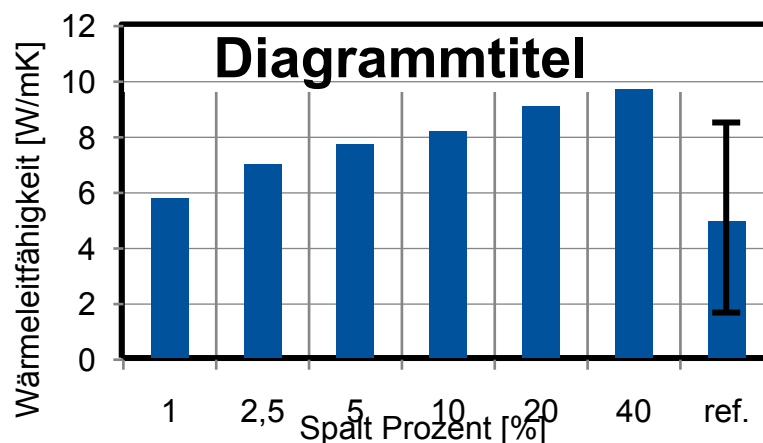


Abbildung 3: Wärmeleitfähigkeit der Beschichtung bei unterschiedlichen Wert sowie Literaturreferenz

Eine mögliche Erklärung für die Überschätzung der Werte ist, dass in dieser Simulation die Phasenumwandlung von Aluminiumoxid, sowie die Entstehung von Rissen innerhalb der

Partikel derzeit nicht berücksichtigt werden. Dadurch könnte die Vorhersagegenauigkeit weiter erhöht werden.

In Abbildung 4 ist die entwickelte Methode zur Auswertung der quantitativen Stabilität des Plasmafreistrahls zu erkennen. Mithilfe dem Verfahren von Otsu wurden die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des Plasmafreistrahls in ein Schwarz-Weiß-Bild umgewandelt werden. Dies ermöglicht die quantitative Ermittlung der Größe des Plasmafreistrahls, indem die Anzahl der weißen Pixel im Bild gezählt werden. Rechts im Bild ist zu erkennen, dass durch ein Auftragen dieses Wertes über die Zeit, der zeitliche Verlauf der Größe des Plasmafreistrahls erfasst und analysiert wurde.

Dabei konnten zum einen statistische zufällige Einflüsse auf den Plasmafreistrahls wie Turbulenzen als Störgrößen beobachtet werden. Darüber hinaus war es mit dieser Methode jedoch auch gleichmäßig oszillierende Änderungen des Plasmafreistrahls zu beobachten, welche durch die Gleichrichtung und Regelung in der Stromquelle des Lichtbogens hervorgerufen werden.

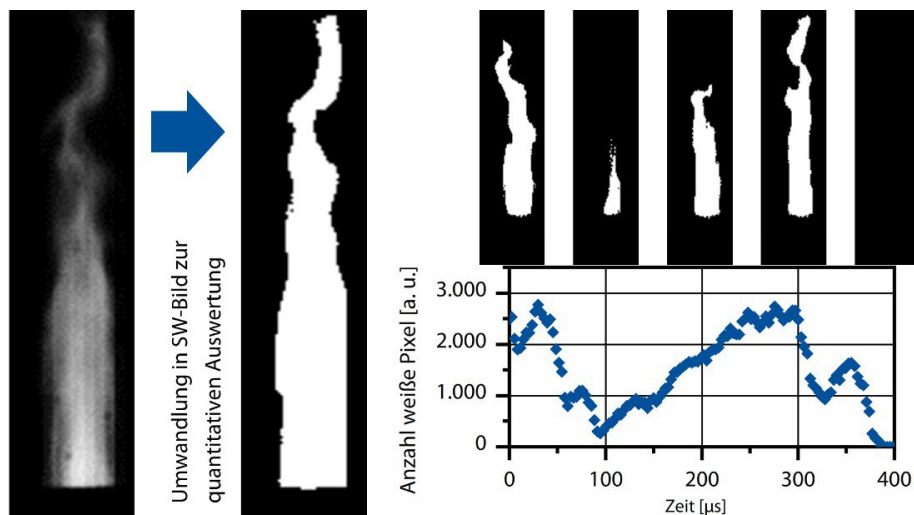


Abbildung 4: Quantitative Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der weißen Pixel des Plasmafreistrahls als Maß für die Stabilität

Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt konnte das Modell zur prädikativen Vorhersage von plasmagespritzten Beschichtungen weiterentwickelt und dadurch seine Vorhersagefähigkeit gesteigert werden. Durch eine Erweiterung dieses Modells, um eine Darstellung der Phasenumwandlungen und die Ergänzung der Rissentstehung und -ausbreitung könnte die Vorhersagegenauigkeit des Modells noch weiter gesteigert werden. Darüber hinaus konnten mithilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen und einer dafür entwickelten Methodik relevante Störgrößen im Plasmafreistrahle identifiziert werden. Hier wird zukünftig die Auswirkung dieser Störungen auf die Partikelzustandsgrößen ermittelt.

Veröffentlichungen

1. K. Bobzin, M. Öte, M.A. Knoch, I. Alkhasli
Macroscopic modeling of an agglomerated and sintered particle
Journal of Thermal Spray Technology 29/1-2 (2020) 13-24
[10.1007/s11666-019-00964-z]
Reprint:
Proceedings ITSC: International Thermal Spray Conference, 26. – 29. Mai, 2019, Yokohama, Japan, ASM International 604-611 (2019) [ISBN 978-1-62708-242-6]
2. K. Bobzin, M. Öte, M.A. Knoch, I. Alkhasli, H. Heinemann
High-Speed Video Analysis of the Process Stability in Plasma Spraying
Journal of Thermal Spray Technology (2021)
[10.1007/s11666-021-01159-1]