

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 von Störgrößen im Freistrah des Atmosphärischen Plasmaspritzens
 - Erfassung der Turbulenzeffekte durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen
 - Ermittlung der Auswirkungen auf die Partikel
- Simulativen Vorhersage des Partikelaufralls von thermisch gespritzten Beschichtungen
 - Erhöhung der Präzision durch Anwendung einer neuen Methodik zur Simulation
 - Verifizierung dieser Methodik durch Vergleich mit bisherigen Simulationen

Vorgehensweise

Zur Erreichung der ersten Aufgabestellung werden Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des Plasmafreistrahls mit CFD-Simulationen kombiniert (siehe Abbildung 1). Die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen dienen dazu den Freistrah in einer zeitlichen sehr hohen Auflösung zu erfassen. Dadurch können auch sehr kurzfristige Störgrößen, wie die Turbulenzen im Freistrah, aufgezeichnet werden. Basierend auf diesen Aufnahmen, welche den zeitlichen Verlauf des Plasmafreistrahls ohne Unterbrechungen aufzeichnen können, wurde dann der Effekt dieser Schwankungen im Plasmafreistrah auf die Partikel ermittelt. Dazu werden die Aufnahmen mithilfe der Inversen Abel Transformation nachbearbeitet. Dieser Schritt (Abbildung 1 b) ermöglicht eine korrekte Darstellung der Plasmaintensitäten in einem 2D-Bild. Dabei wird angenommen, dass der Plasmafreistrah eine rotationssymmetrische Form bezüglich der Brennerachse aufweist. Anschließend werden die mittels der

Simulationen berechneten Partikelflugbahnen über diese Aufnahmen gelegt. Somit wird ermöglicht, einen Partikeldurchflug durch einen von Störgrößen beeinflussten Plasmafreistrahl zu simulieren. Dabei wird der Durchflug von jeweils 2.000 Partikeln für sechs verschiedene Prozessparameter erfasst.

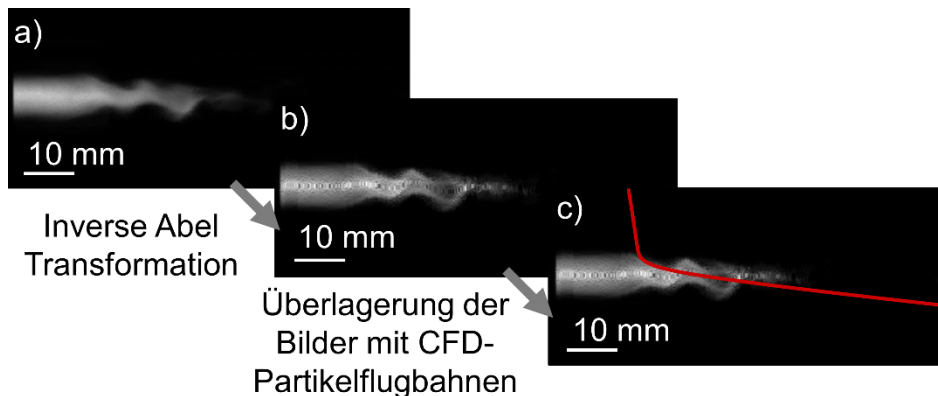


Abbildung 1: Schritte zur Bestimmung des Einflusses von Störgrößen: a) unbearbeitete Aufnahmen, b) abel-transformierte Aufnahmen, c) Einblendung einer Partikelflugbahn

Für die zweite gestellte Aufgabe wurde in Kooperation mit dem BOOST-Projekt die Methode der Smoothed-Particle-Hydrodynamics (SPH) zur Simulation des Partikelauflpralls eingesetzt. Bisher wurde hier die Volume-of-Fluid (VoF) Methode genutzt. Aufgrund der komplexen Vorgänge bei dem Partikelauflprall führt diese Methode zu relativ hohen Berechnungszeiten, insbesondere bei der Vorhersage des Auflpralls von mehreren Partikeln. Der Einsatz der SPH-Methode soll dabei entweder zu einer schnelleren Berechnung der gleichen Vorhersagen führen oder eine Erhöhung der Berechnungsauflösung bei gleicher Berechnungszeit ermöglichen. Um das Potential dieser Methode zu untersuchen und die grundsätzliche Einsatzfähigkeit nachzuweisen, wurde ein Vergleich zwischen den beiden Methoden durchgeführt. Dazu wird der Auflprall eines einzelnen Al_2O_3 -Partikels bei gleichen Randbedingungen simuliert.

Ergebnisse

In Abbildung 2 ist der Verlauf der erlebten Plasmaintensität eines zufälligen Partikels bei dem Durchflug durch den Plasmafreistrahler abgebildet. Dabei ist ersichtlich, dass der Intensitätsverlauf, wie zu erwarten, mit Eindringen in das Plasma ab $t = 0,6$ ms zunächst zunimmt und entsprechend mit dem Austritt bei ca. $t = 1,0$ ms auch wieder abnimmt. Allerdings wird auch deutlich, dass diese Zu- und Abnahme auf keinen Fall stetig erfolgt. So ist deutlich zu erkennen, wie die Turbulenzen im Plasmafreistrahler sich auch auf die erfahrene Intensität des einzelnen Partikels auswirken. Da die beobachtete Plasmaintensität in direktem Zusammenhang mit der Plasmatemperatur steht, erscheint es mehr als naheliegend, dass sich diese Schwankungen auch auf das Aufwärmverhalten der Partikel und damit die Partikeltemperatur auswirken.

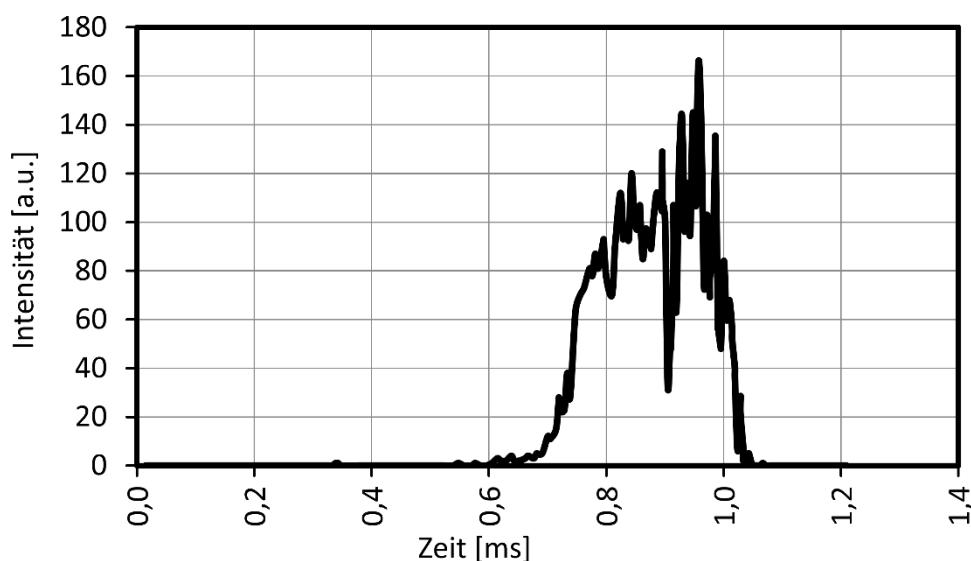


Abbildung 2: Beispielhafter Verlauf der erfahrenen Intensität eines einzelnen Partikels beim Durchflug durch den Plasmafreistrahler ($I = 500$ A, $\dot{V}_{inj} = 120$ slpm)

Um jedoch das daraus resultierende Aufwärmverhalten der Partikel zu beurteilen, sind jedoch die erfahrenen Intensitäten nicht ausreichend. So können z.B. positive Intensitätsspitzen durch negative Ausschläge ausgeglichen werden und im Resultat zum selben Ergebnis führen. Daher wurden der Intensitätsverlauf für jedes einzelne der beobachteten 2.000 Partikel integriert, um eine Aussage über die gesamte erfahrene Plasmaintensität zu treffen. Für die Prozessstabilität und damit den Einfluss der Störgrößen sind in diesem Zusammenhang vor

allem die Schwankungen zwischen den erfahrenen Gesamtintensitäten von Interesse. Diese spiegelt sich in der Standardabweichung wieder. In Abbildung 3 sind die Standardabweichungen der integrierten Partikelintensitäten von jeweils 2.000 Partikel für die 6 untersuchten Prozessparameter dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Standardabweichung für niedrige Gasflussraten höher zu sein scheint. Dies ist nicht direkt intuitiv, da bei höheren Gasflussraten von stärkeren Turbulenzen auszugehen ist und diese somit auch zu größeren Schwankungen der Partikelintensität führen sollten. Hier ist zu vermuten, dass diese Turbulenzen im Freistrahldann aber auch häufiger auftreten und sich im Mittel somit die Schwankungen stärker ausgleichen und somit in einer geringeren Standardabweichung resultieren. Daneben ist auch der Abbildung 3 zu entnehmen, dass höhere Stromstärken in größeren Standardabweichungen resultieren. Dies lässt sich damit erklären, dass insgesamt die Plasmaintensität für höhere Stromstärken auch höher sein wird. Diese führen dann vermutlich bei ähnlichen Schwankungen in der Folge zu höheren Standardabweichungen.

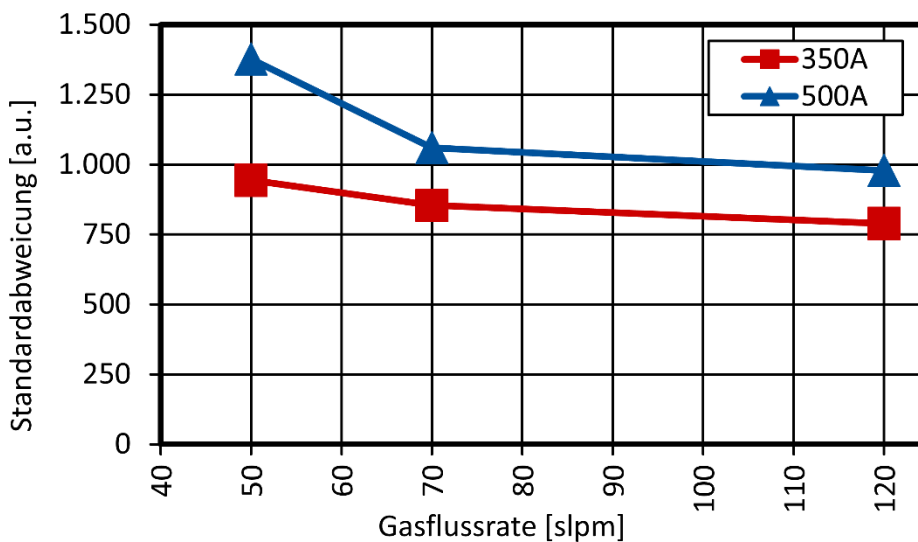


Abbildung 3: Einfluss der Prozessparameter auf die Standardabweichung der Partikelintensitäten

In Abbildung 4 ist ein Vergleich des Partikelaufralls zwischen der SPH und der VoF dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass sich die vorhergesagten Partikelformen nach dem identischen Zeitraum von $t = 0,6 \mu\text{s}$ sehr ähneln. Auch die simulierten Partikeltemperaturen zeigen eine sehr große Übereinstimmung. Der mit der SPH-Methodik simulierte Partikel weist dieselbe Höhe auf, scheint jedoch zu diesem Zeitpunkt bereits etwas

breiter zu sein. Dieser kleine Unterschied könnte dadurch erklärt werden, dass in der SPH-Methodik keine Umgebungsluft berücksichtigt wird, die einen Widerstand gegenüber der Ausbreitung darstellen könnte. Insgesamt erscheint die SPH-Methodik jedoch in diesem ersten Schritt ähnlich gute Ergebnisse zu erzielen.

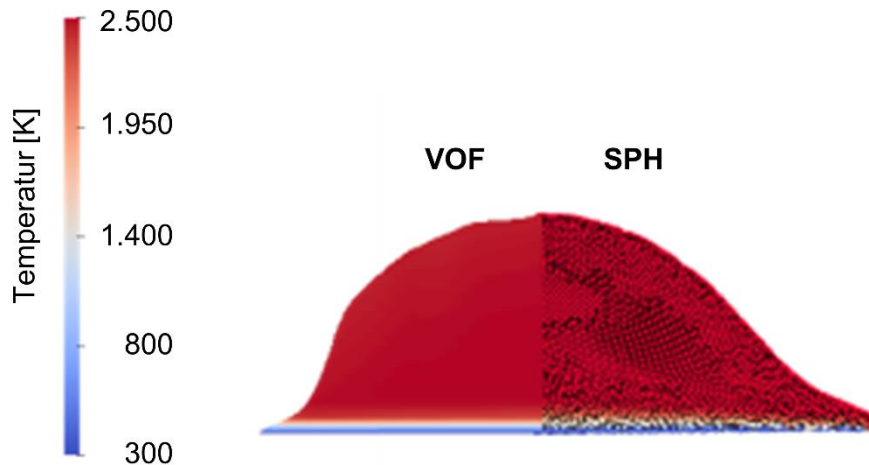


Abbildung 4: Vergleich der Partikelform und -temperatur zwischen der VoF und SPH-Methode während des Aufpralls bei $t = 0,6 \mu\text{s}$

Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt konnten somit im Jahr 2021 zwei wichtige Aufgabenstellungen abgeschlossen werden. So wurde einerseits eine neue Vorgehensweise entwickelt, welche den Effekt von Störgrößen im Plasmafreistrahler auf die Partikel beurteilen kann. Andererseits wurde erfolgreich geprüft, dass die Methodik der SPH auch für die Aufprallsimulationen im APS eingesetzt werden kann. Im verbleibenden Verlauf des SFB 1120 sollen im Jahr 2022 noch eigene Pulverwerkstoffe mithilfe des beschafften Sprühtrockners hergestellt und daran die bisherigen Ergebnisse experimentell validiert werden.

Veröffentlichungen

1. K. Bobzin, W. Wietheger, H. Heinemann, F. Wolf
Simulation of thermally sprayed coating properties considering the splat boundaries
IOP Conference Series - Materials Science and Engineering, 1147, (2021), 012026, [10.1088/1757-899X/1147/1/012026]
Reprint:
Proceedings WTK 2021: 22. Werkstofftechnisches Kolloquium; 24. März 2021, Chemnitz, Deutschland
2. K. Bobzin, W. Wietheger, H. Heinemann, I. Alkhasli
Simulation of Multiple Particle Impacts in Plasma Spraying
Proceedings EMPORIA 2020: 1st International Joint Conference on Enhanced Material and Part Optimization and Process Intensification, 19.-20. Mai 2020 (abgesagt), Aachen, Deutschland, S. 91-100 [10.1007/978-3-030-70332-5_9]
3. K. Bobzin, W. Wietheger, H. Heinemann, A. O'Brien
Capturing the Influence of Jet Fluctuations on Particles in Plasma Spraying
Proceedings ITSC 2021: International Thermal Spray Conference, 24. – 28. Mai 2021, virtuell, ASM International, S. 379-385 [10.31399/asm.cp.itsc2021p0379]
4. K. Bobzin, W. Wietheger, H. Heinemann, I. Alkhasli
Particle tailored effective particle-gas interaction coefficients during plasma spraying
Thermal spray bulletin 14, 1 (2021), S. 40-45 [ISSN 1886-6248]