

LASERUNTERSTÜTZTES THERMISCHES SPRITZEN IN EINEM SCHRITT

Maßnahmen gegen Anisotropie und geringe Homogenität der Mikrostruktur gehören zu den Herausforderungen bei klassisch gespritzten Schichten. Mit Unterstützung einer Laserquelle im Beschichtungsprozess entwickelte das Fraunhofer IWS eine »One-step-Solution«, um homogene Hochleistungsmetallschichten direkt aufzutragen.

Kupferbasierte Schichten bilden eine Werkstoffklasse mit besonderen Anwendungspotenzialen, zum Beispiel in der Elektrotechnik oder dem Automobilbau. Dies beruht vorwiegend auf ihrer exzellenten elektrischen Leitfähigkeit. Beispiele mit Relevanz stellen Leiterbahnen aller Dimensionen aus reinem Kupfer, Elektroden aus dem System Wolfram-Kupfer dar, Formwerkzeuge und Ausrüstungen der Schweißtechnik aus AMPCO-Kupfer sowie Gleitlager aus Kupfer-Zinn und Kupfer-Zink. Ebenso werden aktuell noch ökologisch kritische Legierungen wie Beryllium-Kupfer verarbeitet, für die dringender Substitutionsbedarf besteht. Eine der Herausforderungen, die beim thermischen Spritzen elektrisch leitfähiger Materialien auftritt, stellt die Oxidation des Spritzzusatzes während des Prozesses dar. Sie erhöht den elektrischen Widerstand der Beschichtung. Darüber hinaus führt die typische anisotrope Struktur zu unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften längs und quer zur Schicht.

Niedriger Druck für hohe Wirtschaftlichkeit

Eine attraktive Lösung bietet das neue Niederdruck-Kaltgasspritzen (NDKGS), bei dem das Pulver in divergierende Abschnitte der Düse mit niedrigem Gasdruck (ca. 6 bar) injiziert wird. NDKGS-Systeme sind in der Regel kompakt und mobil einsetzbar, außerdem betragen die Kosten nur etwa zehn Prozent einer Investition für ein Hochdruck-Kaltgasspritz-System. Aufgrund der erreichbaren Partikelgeschwindigkeiten besteht jedoch die Gefahr von Haftungsdefekten zum Substrat. Um die Schichtadhäsion zu verbessern, kommen aktuell nur spezielle

Mischpulver mit Anteilen artfremder Keramikteilchen zum Einsatz. Dabei beeinflussen jedoch die eingeschlossenen Hartpartikel die Schichtmikrostruktur negativ, sie stellen Schichtfehler dar und tragen zu Inhomogenitäten bei. Das schränkt das Anwendungsspektrum für NDKGS als Beschichtungslösung ein.

Universelle Systemtechnik mit Laserstrahlenergie

Sowohl dem Problem der anisotropen Struktur als auch dem der Bindungsdefekte lässt sich mit einer prozesssimultanen, dosierten Wärmeeinwirkung begegnen. Das Fraunhofer IWS entwickelte hierzu einen neuartigen Laser-Hybrid-Spritzkopf, der sich nicht nur in NDKGS-, sondern auch in herkömmliche Spritzsysteme integrieren lässt. Laserstrahlung ist aufgrund ihrer gezielt selektiven Einwirkung, der präzisen Steuerbarkeit und des geringen Gesamtwärmeeintrags eine vorteilhafte Energiequelle zur hybriden Kopplung mit thermischen Spritzprozessen. Die Energie des Laserstrahls lässt sich somit gezielt für die Substratvorbehandlung, die Prozessunterstützung sowie auch für die Schichtnachbehandlung nutzen. Die Lösung für die Herausforderungen von Anisotropie und Haftfestigkeit liegt in den vorteilhaften metallurgischen Effekten, die zielgerichtet genutzt werden, nachdem sich das Spritzgefüge während der laserinduzierten, prozesssimultanen Wärmebehandlung im laufenden Prozess formiert hat. Eine besondere Herausforderung für die lasergestützte Herstellung von Kupferschichten liegt in der geringen Absorption der Laserstrahlung kommerzieller Hochleistungslaser im Wellenlängenbereich zwischen 860 und 1024 Nanometern. Trotz Mehrfachreflexion durch Teilchen im

Einwirkung des Lasers auf der Schichtaufbau



Schichtvergleich eines kommerziellen Kupferpulvers mit Aluminiumoxidpartikeln, hergestellt ohne (oben) und mit (unten) Laserunterstützung. Vorlaufend zum Spritzpartikelstrahl verbessert der Laserstrahl die Anbindung an das Substrat.

Hybridkupferschicht ohne Aluminiumoxidpartikel



Überlappend und nachlaufend zum Spritzstrahl geführt ermöglicht der Laser die poren- und rissfreie Herstellung reiner Kupferschichten.

Spritzstrahl ist der Energieeintrag in die Spritzpulver gering. Hier versprechen neue Strahlquellen mit blauem und grünem Laserlicht bislang unerforschte Potenziale.

Vorteilhafte Bindung ohne beigemischtes Oxid

Unter Nutzung des neuen Hybrid-Spritzkopfs wiesen die Wissenschaftler des IWS die erreichbaren metallurgischen Effekte experimentell nach. Schon beim herkömmlichen aluminiumoxidhaltigen Spritzpulver führt die simultane Laser-un-

terstützung zu einem verringerten Poren- und Defektanteil im erstarrten Spritzgefüge. Infolge der Lasereinwirkung wird eine Oxidbeimischung überflüssig, da dennoch dichte, haftfeste Beschichtungen entstehen. Die Bindemechanismen der Schicht zum Substrat gehen dabei sogar über den ansonsten charakteristischen Typ der rein mechanischen Verklammerung hinaus und weisen vorteilhafte Anteile einer schmelzmetallurgischen Bindung auf. Der einstufig laserunterstützte Spritzprozess ermöglicht somit vielversprechende Beschichtungslösungen mit beträchtlichem Anwendungspotenzial für alle Schichtsysteme, die eine zusätzliche Verbesserung der Haftung sowie zielgerichtete Modifizierung der Schichtmorphologie verlangen.

KONTAKT

Dr. Maria Barbosa

Thermisches Spritzen

+49 351 83391-3429

maria.barbosa@iws.fraunhofer.de

