

Highspeed PVD-Schichtsysteme

PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition) sind Dünnschichttechnologien, bei denen das Beschichtungsmaterial mittels physikalischer Verfahren (z.B. durch Beschuss mit Elektronen) in die Gasphase überführt und anschließend auf einem Substrat kondensiert wird. PVD-Schichten haben sich auf unterschiedlichsten Bauteilen z.B. in der Architektur, der Lebensmittelindustrie, der Mikroelektronik und auf Werkzeugen in der spanenden Bearbeitung bereits etabliert. Sie dienen insbesondere der Erhaltung wirkungsgradoptimaler Konturen und der Erhöhung der Lebensdauer zum Schutz vor Erosion im Bereich stationärer und rotierender Komponenten wie z.B. in Flugtriebwerken oder bei Pumpensystemen. Denn vor allem der Einfluss der Erosion von Komponenten und kompletten Maschinen in Form von Materialabtrag stellt einen hohen Kostenfaktor und einen erheblichen Ressourcenverbrauch dar. Allerdings stößt der Einsatz klassischer PVD-Schichtsysteme als Erosionsschutz heute an seine Grenzen. Erforscht wird deshalb die neue Highspeed PVD-Technologie (HS-PVD), charakterisiert durch eine essenziell höhere Abscheiderate verbunden mit der Realisierung dickerer und damit widerstandsfähigerer Schichten. Die Erosion geht mit einem Materialabtrag einher. Dabei wird der Materialabtrag meistens durch abrasive Feststoffpartikel in einer Strömung hervorgerufen. Der Effekt des Materialabtrags führt am Bauteil zu einer ungewünschten Formveränderung, zu einem Profilverlust und einer heterogenen Oberflächenrauheit. Die Erosionsbeständigkeit kann abhängig von Randbedingungen durch unterschiedliche Maßnahmen wie alternative Werkstoffkonzepte, eine Erhöhung der Bauteildicke oder eine Implementierung eines Partikelabscheiders erhöht werden. Da diese Lösungen entweder dem Bestreben nach Gewichtsminimierung oder nach Erhöhung des Wirkungsgrads des technischen Gesamtsystems entgegenlaufen, besitzt vor allem das Highspeed PVD-Schichtsystem ein vielversprechendes Potenzial zur Erhöhung der Erosionsbeständigkeit im Einsatz. Das PVD-Verfahren ist charakterisiert durch seine drei Phasen bis zur Schichtbildung. Dabei wird das Beschichtungs-

material (Target) vom festen in den gasförmigen Zustand transformiert, das zerstäubte Material in Richtung des Substrats transportiert, wobei schlussendlich das gasförmige Material am Substrat kondensiert mit dem Resultat einer Schicht. Die typischen Schichtdicken liegen zwischen wenigen Nanometern bis etwa 10 µm. Die Erhöhung dieser Schichtdicke ist aufgrund der entstehenden Eigenspannungen und Zugfestigkeiten nur begrenzt möglich. Zur Entwicklung belastungsgerechter Schutzschichten für einen hohen Erosionswiderstand ist es unabdingbar, dickere Schichten > 50 µm mit Schichtwachstumsraten von bis zu 100 µm/h und einer hohen Haftfestigkeit zum Bauteil zu gewährleisten. Das sollen HS-PVD-Verfahren leisten.

Eine typische HS-PVD-Anlage ist derart aufgebaut, dass die Materialzerstäubung vom Target im Feinvakuumbereich in einem räumlich getrennten Abschnitt der Anlage unter der Strömung des Arbeitsgases Argon erfolgt. Hierbei werden die benötigten Reaktivgase wie N₂, O₂ oder C₂H₂ in die Beschichtungskammer eingeleitet. Durch diese Prozessgestaltung wird sichergestellt, dass eine Kontamination des Targets bei reaktiven Gasen, wie sie von konventionellen PVD-Prozessen bekannt ist, nicht auftreten kann. Durch die gleichzeitig gepulsten Kathodenleistungen von bis zu 50 kW können Schichtwachstumsraten auf dem Substrat von bis zu 100 µm/h erzeugt werden. Während der Beschichtung können die Substrate für Hinterschneidungen und Vertiefungen komplexer Bauteile rotiert und bei Bedarf auf 1.000 °C aufgeheizt werden. Durch eine gepulste Biasversorgung (negative Spannung am Substrat) kann das Schichtwachstum zusätzlich gesteuert werden. HS-PVD bietet somit das Potenzial, Beschichtungen mit Eigenschaften von gesputterten Schichten unter ökonomisch reizvollen Randbedingungen wie bei thermisch gespritzten Schichten herzustellen. Neben der Abscheidung unterschiedlicher Schichtstrukturen (z.B. einlagig, Monolayer oder mehrlagig, Multilayer) ist die Wahl der Werkstoffkombination ebenfalls ein wesentlicher Einflussfaktor bei der Erhöhung des Erosionswiderstands.

Einsatzgebiete von HS-PVD-Schichten werden vor allem auf besonders beanspruchten Bauteilen gesehen. So sind Komponenten in Flugtriebwerken von Militärtransportern oder in Helikopter-Gasturbinen bei militärischen Operationen je nach Einsatzgebiet Partikeln bestehend aus Eis, Fremdkörpern, Feinstaub, Sand, Salzkristallen oder auch Vulkanasche ausgesetzt. Dabei werden Komponenten wie die Fan-, Verdichter- und Turbinenschaufeln des Gesamtsystems erosiv stark beansprucht. Eine in der Luftfahrt als TOW (Time Of Wing) deklarierte Einsatzzeit bestimmt den kompletten Austausch einer unbeschichteten Schaufel bereits nach 80 bis 150 Stunden. Durch geeignete Beschichtungen sollen diese Zeiten erheblich verlängert und in den Bereich herkömmlicher Wartungs- und Instandsetzungsintervalle (mehrere 100 Stunden) gebracht werden.

Des Weiteren sind Bauteile in Pumpen, die im Offshore-Bereich oder zur Förderung von Kalksuspensionen in Rauchgasentschwefelungsanlagen eingesetzt werden, ebenfalls der Erosion ausgesetzt. Auch hier sollen HS-PVD-Schichten verlängerte Einsatzzeiten ermöglichen und finanzielle Verluste durch Unterbrechung einer gesamten Prozesskette vermeiden.

Die Herstellung von Schichtsystemen neuer Werkstoffkombinationen mit Dicken > 50 µm mittels HS-PVD-Abscheidung ist bisher nicht Stand der Technik und bringt eine neue Herausforderung mit sich. Deshalb ist ein intensiver Forschungsbedarf vorhanden, indem die notwendigen Zusammenhänge für die Synthese der HS-PVD-Schichten und die beanspruchungsgerechte Abscheidung auf das Bauteil erarbeitet werden müssen. Durch die Schließung der Lücke in der verfügbaren Kompetenz zur gezielten Innovation derartiger Erosionsschichten mittels der HS-PVD-Technologie könnten langlebigere und somit ökologischer operierende Arbeits- und Kraftmaschinen bereitgestellt werden, verbunden mit der Verringerung des Verbrauchs von Energie und damit auch der Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Dr. Baycan Yildirim