

Laserverfahren für tribologische Beschichtungen und Korrosionsschutz

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt energieeffiziente, ortsselektive und nachhaltige Laserverfahren zur Herstellung von Beschichtungen, die die Temperaturbeständigkeit von Bauteilen erhöhen, die Reibung reduzieren oder vor Verschleiß und Korrosion schützen. Tribologische Beschichtungen werden vor allem in Anwendungsbereichen eingesetzt, in denen die funktionalen Anforderungen an Komponenten die Leistungsfähigkeit der Grundwerkstoffe übersteigen. Im Zuge des industrieübergreifenden Trends zur Funktionsintegration werden die Anforderungen zunehmend komplexer. Die Lasertechnik bietet hier wirtschaftliche Lösungen für innovative und nachhaltige Beschichtungskonzepte.

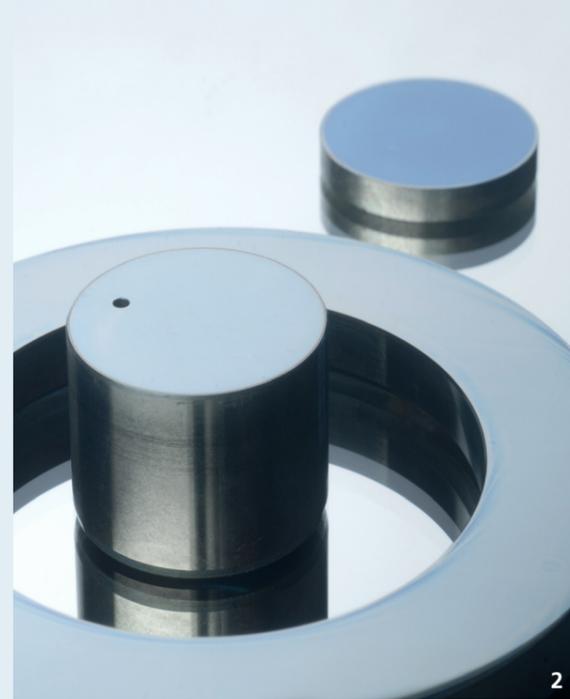
Laserbasierte Herstellung funktionaler Beschichtungen

Die Erzeugung von tribologischen Beschichtungen beinhaltet oftmals einen Verfahrensschritt, mit dem zuvor nasschemisch aufgebraute Beschichtungswerkstoffe thermisch funktionalisiert werden (z. B. beim Aushärten, Sintern, Schmelzen, Verdichten). Konventionell erfolgt dieser Schritt mittels ofenbasierter Verfahren mit dem wesentlichen Nachteil, dass das gesamte Bauteil auf die Funktionalisierungstemperatur der Beschichtung erwärmt werden muss. Daraus resultieren zum einen eine geringe Energieeffizienz und zum anderen eine signifikante Einschränkung des Werkstoffspektrums: Die Verwendung von temperaturempfindlichen Materialien,

*Fertigungsschritt zur
Herstellung polymerer
Schutzschichten.*



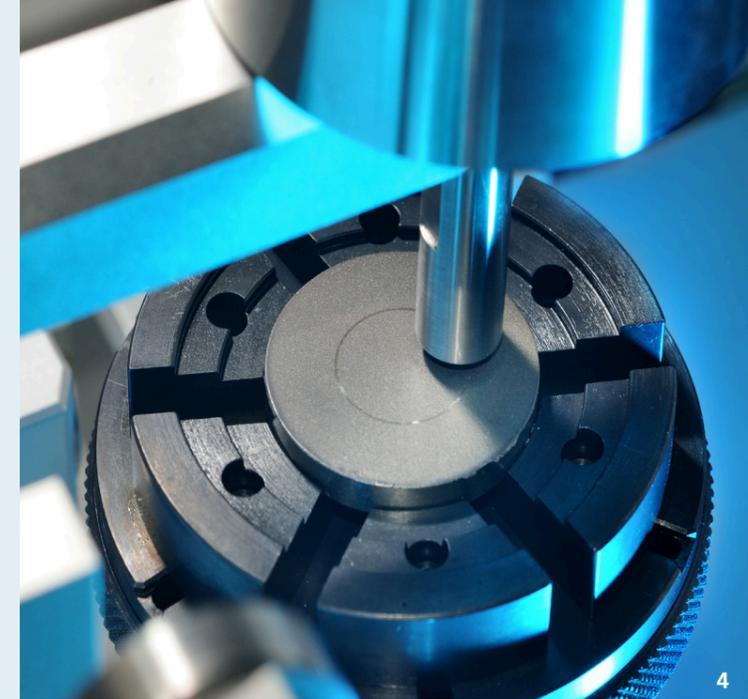
1



2



3



4

Laserverfahren für tribologische Beschichtungen und Korrosionsschutz

wie z. B. industrierelevante Wälzlagertähle und Aluminiumlegierungen, ist somit oft nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Eine vielversprechende Alternative stellen laserbasierte Beschichtungsverfahren dar, mit denen die thermische Energie direkt in die Beschichtung und nicht in das gesamte Bauteil eingebracht werden. Die spektrale, zeitliche und örtliche Steuerbarkeit der Laserstrahlung ermöglicht eine applikationsangepasste Modulation der Temperaturprofile im Bauteil. Aufgrund der erreichbaren großen Heiz- und Kühlraten in definierten kleinen Volumina kann der Energieeintrag in das Bauteil reduziert und somit die thermische Belastung minimiert werden.

Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren bietet der Lasereinsatz z. B. ökologische und ökonomische Vorteile: das berührungslose und verschleißfreie Werkzeug erzeugt die Beschichtungen energieeffizient und schnell. Das entwickelte Verfahren ist dabei für die durch Industrie 4.0 angestoßenen Entwicklungen (z. B. für eine Maschinenvernetzung und ein durchgängiges Datenmanagement) ausgelegt.

Polymerbasierte Beschichtungen für tribologische Anwendungen und Korrosionsschutz

Hochleistungspolymere sind als Beschichtungswerkstoff für Anwendungen prädestiniert, in denen neben tribologischen Belastungen zusätzliche Anforderungen an Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit bestehen. Zudem ermöglicht diese Werkstoffklasse eine applikationsspezifische Additivierung, um z. B. das Reibverhalten gezielt zu modifizieren. Bisherige Arbeiten in diesem Bereich umfassen insbesondere auf Polyetheretherketon (PEEK) basierende Beschichtungen von metallischen Grundmaterialien. Die Polymerschichtdicke liegt typischerweise im Bereich 10–100 µm. Bei Stahlsubstraten lässt sich die zur vollständigen Funktionalisierung des Polymers erforderliche Wechselwirkungszeit – im Vergleich zu Ofenprozessen – auf ein Hundertstel senken.

Durch iterative Wiederholung von Schichtapplikation und laserbasierter Funktionalisierung können polymerbasierte Mehrschichten mit Schichtdicken über 100 µm hergestellt werden. Dabei lassen sich auch tribologisch optimierte Einzelschichten zu Multi-Schichtsystemen verbinden, ohne dass sich die Einzelschichten während des Schmelzverfahrens vermischen.

Sol-gel-basierte Verschleiß- und Antihafbeschichtungen

Verschleißschutzschichten besitzen ein enormes Potenzial und werden u.a. in der Automobilindustrie eingesetzt, um die tribomechanischen Eigenschaften hochbeanspruchter Motoren- und Getriebekomponenten zu optimieren. Im Speziellen können nanopartikuläre Werkstoffe z. B. in Form von Sol-Gel-Systemen mit geringem technologischem Aufwand durch energie- und ressourcenschonende Verfahren Druck- und Sprühverfahren selektiv auf stark beanspruchte Bereiche der zu schützenden Bauteile appliziert werden. Auf gehärtetem Stahl konnten bisher Beschichtungen mit Schichtdicken von 0,1–1 µm und einer Mikrohärtigkeit von über 1000 HV hergestellt werden.

Neben Verschleißschutzschichten können auch sol-gel-basierte Antihafbeschichtungen mittels Laserstrahlung funktionalisiert werden. Die Laserstrahlung ermöglicht die Erzeugung der notwendigen Temperatur in der Beschichtung bei geringer thermischer Belastung des Bauteils, wodurch eine schnelle und energieeffiziente Beschichtung auch auf temperaturempfindlichen Substraten möglich ist. Sol-gel-basierte Antihafschichten werden so erfolgreich auf Metall, Polymer und CFK mittels Laserstrahlung hergestellt.

Reibmindernde Lackschichten

Warmhärtende Lacke (z. B. MoS₂-basierte Werkstoffe) finden ein weites industrielles Anwendungspotenzial im Bereich der Reibungsreduzierung bei mittleren bis hohen Temperaturen. Die Lacke werden dabei vorwiegend zur Beschichtung von Stahlwerkstoffen eingesetzt, z. B. für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt. Durch die Verwendung von Vertical Cavity Surface Emitting Laserstrahlquellen (VCSEL) kann die Prozessdauer von bis zu 30 Minuten bei Ofenverfahren auf nur wenige Sekunden reduziert werden. Darüber hinaus nimmt der per Kalottenschliff gemessene Verschleißkoeffizient um den Faktor sechs ab.

Vorbehandlung und Reinigung

Das Fraunhofer ILT verfügt über jahrelange Erfahrung im Bereich der laserbasierten Reinigung sowie der Vorbehandlung und Strukturierung von Bauteiloberflächen. Auf Grundlage dieser Kompetenzen werden Verfahren zur Vorbehandlung von zu beschichtenden Bauteile entwickelt, mit denen etwa das Benetzungsverhalten der nasschemisch deponierten Schichten verbessert werden kann. Zudem wird die Verbundfestigkeit von Beschichtung und Bauteil z. B. durch eine gezielte Oxidation der Oberfläche oder einer Modifikation der Oberflächentopographie in der Regel signifikant vergrößert.

1 Mittels PEEK beschichteter Motorkolben.
2 Lagerkomponenten mit keramischen Verschleißschutzschichten.
3 Metalloberfläche vor (links) und nach (rechts) der Laservorbehandlung.
4 Tribologische Untersuchung eines beschichteten Prüfkörpers.



QS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001:2015
Reg.-Nr. 069572 QM15

Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT
Institutsleitung
Prof. Constantin Häfner

Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-0
Fax +49 241 8906-121
info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de

Kontakt

Samuel Fink M. Sc.
Telefon +49 241 8906-624
samuel.fink@ilt.fraunhofer.de

Dr. Christian Vedder
Telefon +49 241 8906-378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik, sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer ILT photonische Komponenten und Strahlquellen für die Quantentechnologie.

Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagen-technik, Digitalisierung, Prozessüberwachung und -regelung, Simulation und Modellierung, KI in der Lasertechnik sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie. Im Vordergrund stehen Forschung und Entwicklung für industrielle und gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Produktion, Mobilität, Energie und Umwelt. Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft.