

Biokompatible PVD-Beschichtung auf dreidimensional geformten Oberflächen

Die Verwendung von PVD-Beschichtungen auf großen, dreidimensional geformten Substraten wächst rapide. Während die Schichtabscheidung beispielsweise auf Uhrengehäusen, Werkzeugen für die spanende (Bohrer, Fräser, etc.) und spanlose Bearbeitung (Kaltumformwerkzeuge) und Reflektoren von Beleuchtungskörpern zur Erzielung von dekorativen, verschleißschützenden und optischen Funktionen bereits State-of-the-Art ist, sind noch wenige Anwendungen von biokompatiblen Beschichtungen auf 3D-Oberflächen bekannt.

Hauptschwierigkeiten bei PVD-Prozessen ist hierbei die sich kegelförmig durch Streuung am Prozess-/Reaktivgas ausbildende räumliche Teilchenausbreitung nach der Verdampfung am Target und die Abschattung von zu beschichtenden Flächen im Bereich von z. B. Bohrungen oder Hinterschneidungen. JOANNEUM RESEARCH (JR) beschäftigt sich intensiv mit der Optimierung der PVD-Verfahren für derartige 3D-Oberflächen von Medizinprodukten, wobei der Schwerpunkt auf den Auswirkungen auf das Eigenschaftsspektrum liegt.

Bei Bedampfungsverfahren kann zu meist von einer punktförmigen Dampfquelle am Target ausgegangen werden, welche sich im Plasma kegelförmig erweitert (Dampfkeulen). Dies erfordert für die Beschichtung größerer Bauteile die gezielte Überlagerung mehrerer Dampfkeulen auf der Substratoberfläche, wie dies vielfach bei der thermischen Bedampfung und Elektronenstrahlverdampfung sowie bei JR-Materials für die Pulsed-Laser-Deposition (Verdampfung mittels gepulstem, hochenergetischem Laser-Strahl) realisiert wurde. Durch diese Überlagerung ist eine Annäherung an eine linienfö-

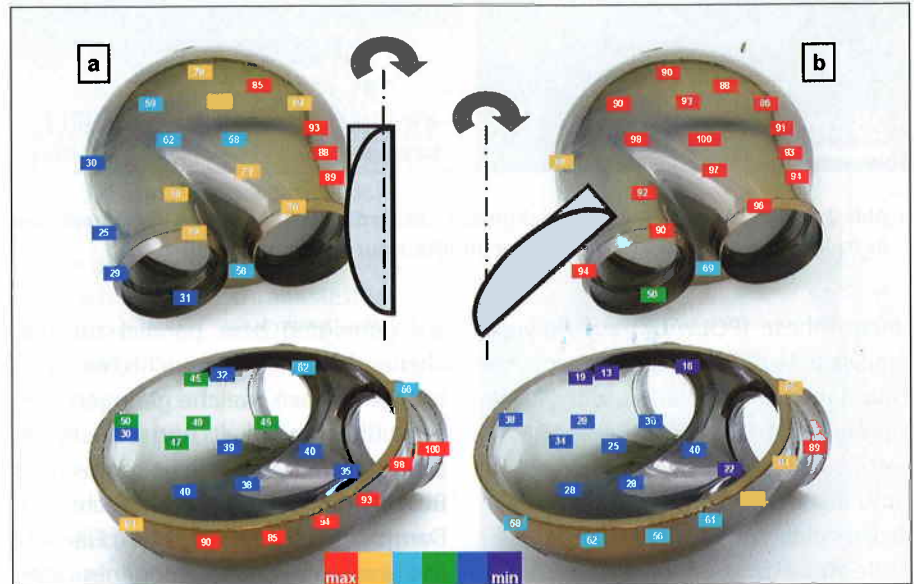


Abb. 1: Normierte Schichtdickenverteilung einer titan-basierten Sputterschicht auf der künstlichen Herzprothese bei Beschichtung unter zweiachsiger Rotation, (a) vertikale und (b) gekippte Einspannung. Die Rechteck-Sputterkathode ist vertikal (parallel zur dargestellten Achse) positioniert. Die Schichtdicken wurden mittels mechanischem Profilometer (Veeco Dectac 150) ermittelt.

mige Dampfquelle möglich, wie diese z. B. bei Magnetron-Sputter-Verfahren von rechteckigen Targets generell erreicht wird. Innerhalb der Dampfkeulen ist die Teilchendichte bei allen Verfahren deutlich unterschiedlich: Das Maximum findet sich senkrecht vor dem Verdampfungs- bzw. Sputterbereich (sog. Sputtergraben) am Target und nimmt aufgrund der kegelförmigen Dampfausbreitung mit zunehmender Entfernung ab. Parallel zur Targetoberfläche nimmt die Schichtdickenverteilung nach einer $\cos^2\alpha$ -Funktion ($n \sim 2-4$) ab (α : Winkel zur Senkrechten auf die Targetoberfläche). Folglich weisen große dreidimensionale Formteile ohne Anwendung von Substratbewegung deutlich unterschiedliche Beschichtungsdicken auf verschiedenen Oberflächenbereichen auf. Zudem ist auf geneigten Oberflächen die Beschichtungsrate geringer als auf zur Targetoberfläche parallelen. Die Subst-

ratbewegung wird im Bereich industrieller PVD-Beschichtungen durch 2- oder 3-achsige Rotation erreicht: Auf einem sich gesteuert drehenden Substratteller sind mit davon unterschiedlicher Drehzahl rotierende Planeten (Rotationsachse 2) angeordnet, auf deren Umfang sich die Substrathalterungen befinden, meist ebenfalls drehbar gelagert und angetrieben über Zahnräder, Federn oder Mitnehmereinrichtungen (Rotationsachse 3). Damit ändern sich während der Beschichtung laufend die Abstände und Auftreffwinkel der schichtbildenden Teilchen auf der Substratoberfläche, was eine systematische Optimierung weiter erschwert.

Die Bedeutung der Einbaulage zur Erzielung homogener Beschichtungen – dem entscheidenden Optimierungsparameter bei großen, dreidimensional geformten Bauteilen – demonstriert das folgende Beispiel einer künstlichen

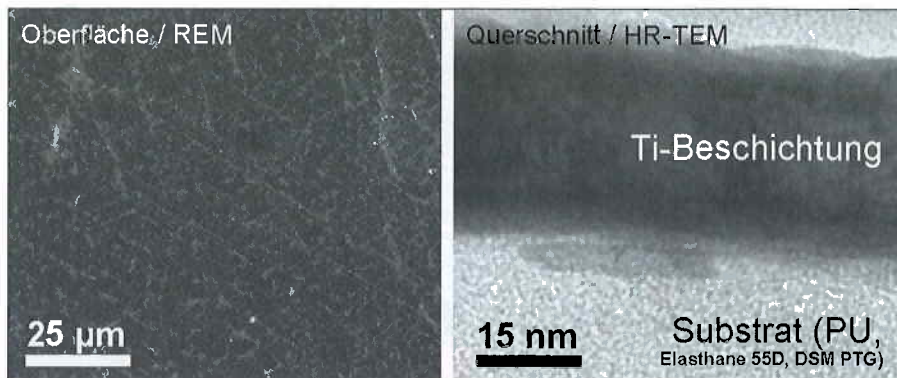


Abb. 2: Schichttopographie und -struktur von ~30 nm dicken, Ti-basierten biokompatiblen Beschichtungen auf der künstlichen Herzprothese aus Polyurethan (PU)

Herzprothese (POLVAD®) aus Polyurethan, zur Verfügung gestellt von der Foundation of Cardiac Surgery Development, Zabze, Polen: Während eine vertikale Einspannung und vertikale Drehung sehr unterschiedliche Schichtdicken auf den Messpunkten an der Außenseite bzw. Innenseite bedingt, führt eine leichte Kippung bei vertikaler Drehung zu homogeneren Beschichtungsdicken an den Außen- bzw. Innenflächen der Halbschale des Herzimplantats.

Neben der Teilchendichte verhält sich auch die Teilchenenergieverteilung nach einer ähnlichen Cosinus-Verteilung mit einem Maximum auf der Achse vor dem Verdampfungs-/Sputterbereich. Vor allem bei den niedrigen Beschichtungstemperaturen bei der PVD kommt es damit auch zu Eigenschaftsunterschieden der Beschichtung, da die Teilchenenergie durch Aktivierung der Oberflächendiffusion entscheidend die sich ausbildende Schichtstruktur beeinflusst.

Generell bilden sich poröse, amorphe bis grobkristalline Schichtstrukturen

auf geneigten bzw. parallel zur Teilchenausbreitung ausgerichteten Substratoberflächen, welche geringere Verschleißbeständigkeit und Schichthaftung und höhere Rauheit besitzen als Beschichtungen auf senkrecht zur Dampfkeule ausgerichteten Flächen. Die Forderung nach homogener Oberflächenmodifikation auf der gesamten Innenfläche sowie Außenfläche für optimale Biokompatibilität schließt daher auch vergleichbare Strukturen der titan-basierten Beschichtungen ein.

Ein Beispiel von Schichtstrukturen und -oberflächen bei ~30 nm dünnen Funktionalisierungsschichten zeigt Abb. 2. Von höchster Bedeutung ist dabei der Erhalt der Mikrostruktur der strukturierten PU-Oberfläche (Abb. 2 links), eine haftfeste, nicht-poröse und elastische Beschichtung (Abb. 2 rechts) sowie die Ausbildung einer selbstassemblierenden Nanostruktur (Bottom-Up-Strukturierung) durch die Beschichtung. Dieser Forderung kann auf den Innenflächen der Halbschale, welche im direkten Blutkontakt stehen, nur durch homogene Schichtdicken- und Schichteigen-

schaftsverteilungen nachgekommen werden. Biokompatibilitätstests mit Blut zeigen vor allem für Beschichtungen im System Titan-Kohlenstoff-Stickstoff sehr gute Ergebnisse – geringer Verbrauch und geringe Aktivierung von Thrombozyten.

Zusammenfassend ist vor allem das Know-how in der Positionierung und Bewegung der Bauteile entscheidend für die Erzielung von Beschichtungen mit homogenem Eigenschaftsspektrum im Funktionsbereich.

Die Projektaktivitäten wurden durch die Österreichische Forschungsförderungsges.m.b.H. (FFG) im Rahmen von MNT-ERA.NET sowie vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) und Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (bm:ukk) im Rahmen der Initiative 'generation innovation' gefördert.

Die Materialcharakterisierung wurde von Lukasz Major an der Polnischen Akademie der Wissenschaften, Institut für Metallurgie und Werkstoffwissenschaften (Krakau) durchgeführt. Werner Haingartner führte die Schichtdickenmessungen im Rahmen seines 'generation innovation'-Praktikums durch.

Kontakt:
JOANNEUM RESEARCH
Forschungsgesellschaft m.b.H.
Materials – Institut für Oberflächen-
technologien und Photonik
Forschungsgruppe
Funktionelle Oberflächen
Leobner Strasse 94
A-8712 Niklasdorf, Österreich
Tel.: +43 316 876 2304
Fax: +43 316 876 2310
E-Mail: materials@joanneum.at
www.joanneum.at

**LASER
MAGAZIN**

Informationen auf den Punkt gebracht

www.laser-magazin.de