

Korrosionsoptimierung ternärer PVD-Hartstoff-Nitridschichten (Kopter)

Forschungsbedarf

Funktionsoptimierte ternäre PVD-Hartstoffschichten wie TiAlN weisen eine hohe Verschleiß- und Oxidationsbeständigkeit auf, besitzen jedoch nur ein begrenztes Korrosionsschutzvermögen. Prozessbedingte Defekte wie Pinholes oder Droplets ermöglichen das Eindringen des Elektrolyten bis zum metallischen Substrat und begünstigen aufgrund der Potentialdifferenz zwischen Schicht und Substrat lokale galvanische Korrosion. Bestehende Ansätze zur Reduzierung der Defektdichte können die Korrosionsbeständigkeit zwar verbessern, gewährleisten jedoch keinen dauerhaft wirksamen Korrosionsschutz. Aufbauend auf dem für binäre TiN-Schichten erfolgreich entwickelten MgGd-Legierungskonzept bestand daher Forschungsbedarf hinsichtlich der Übertragung und Anpassung dieses Ansatzes auf industriell etablierte ternäre PVD-Nitridschichten, um deren Eigenschaftsprofil gezielt um einen wirksamen Korrosionsschutz zu erweitern.

Zielstellung

Ziel des Vorhabens war die Übertragung des für binäre TiN-Schichten entwickelten MgGd-Legierungskonzepts auf funktionsoptimierte ternäre PVD-Nitridschichten. Durch die gezielte Anpassung der chemischen Zusammensetzung und der Beschichtungsparameter sollte deren Korrosionsbeständigkeit deutlich erhöht werden, ohne die mechanischen und tribologischen Eigenschaften wesentlich zu beeinträchtigen. Ergänzend sollten geeignete Legierungszusammensetzungen und Prozessparameter für eine industrielle Umsetzung abgeleitet werden.

Wirtschaftlicher Nutzen

Die Projektergebnisse eröffnen insbesondere KMU der PVD-Beschichtungsbranche neue Anwendungs- und Marktpotenziale für korrosiv und tribologisch beanspruchte Bauteile. Da die entwickelten Schichtsysteme mit etablierter industrieller PVD-Anlagentechnik hergestellt werden können, ist eine Umsetzung ohne grundlegende Investitionen in neue Beschichtungstechnologien möglich. Durch die erhöhte Korrosionsbeständigkeit kann bei vergleichbaren Beschichtungskosten eine höhere Wertschöpfung erzielt und das Anwendungsspektrum von PVD-Schichten erweitert werden. Gleichzeitig besteht das Potenzial, konventionelle galvanische und chemische Beschichtungen in ausgewählten Anwendungen zu substituieren.

Ergebnisse & Anwendungsmöglichkeiten

Das MgGd-Legierungskonzept konnte erfolgreich auf ternäre TiAlN-basierte PVD-Hartstoffschichten übertragen werden. Durch die gezielte Einstellung der Al-, Mg- und Gd-Gehalte wurde die Korrosionsbeständigkeit gegenüber konventionellem TiAlN deutlich verbessert. Die entwickelten Schichtsysteme weisen dabei nicht nur in neutralen und alkalischen Medien, sondern auch unter sauren Bedingungen eine deutlich erhöhte elektrochemische Stabilität auf (**Abbildung 1**). Für TiMgGdN-Schichten wurde ein Mindestgehalt von etwa 2 at. % Gd zur Gewährleistung einer hohen Korrosionsbeständigkeit im neutralen und alkalischen Medium identifiziert. Im sauren Medium konnte die Korrosionsbeständigkeit mit zunehmendem Gd-Gehalt weiter gesteigert werden (**Abbildung 2**).

Projektinformation

IGF-Nr. 22641 N
Laufzeit: 01.10.2022
bis 31.03.2026
Fördersumme: 273.670,17 €

Forschungsvereinigung

Europäische
Forschungsgesellschaft
Dünne Schichten e.V.

Forschungseinrichtungen

TU Darmstadt/ Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Darmstadt (MPA)

Beteiligung der Wirtschaft

14 Unternehmen
davon 7 KMU

vorhabenbezogene
Aufwendungen der
Wirtschaft: 96.900 €

Betreut durch

EFDS-Fachausschuss

Tribologische Systeme

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ergänzend ermöglicht die entwickelte thermodynamische Modellierung eine Vorhersage korrosionsrelevanter Stabilitätsbereiche. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die industrielle Herstellung korrosionsoptimierter PVD-Schichten und eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten für tribologisch und korrosiv beanspruchte Bauteile, beispielsweise im Maschinen- und Anlagenbau sowie im Fahrzeugbau.

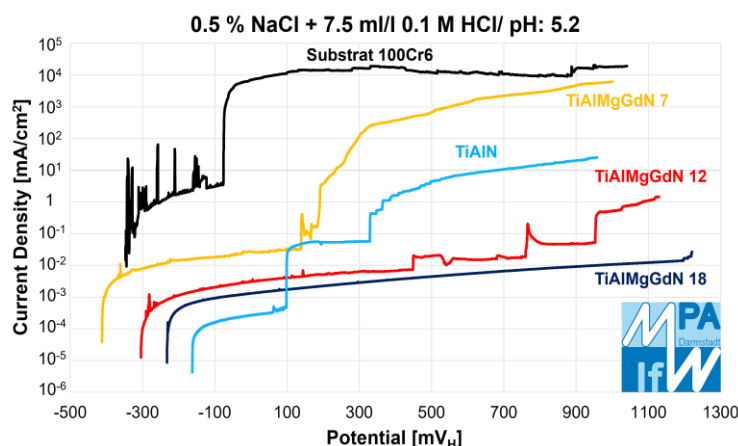


Abbildung 1: Einfluss des Al-Gehalts auf das elektrochemische Korrosionsverhalten der TiAlMgGdN-Schichten im sauren Medium im Vergleich zu TiAlN.

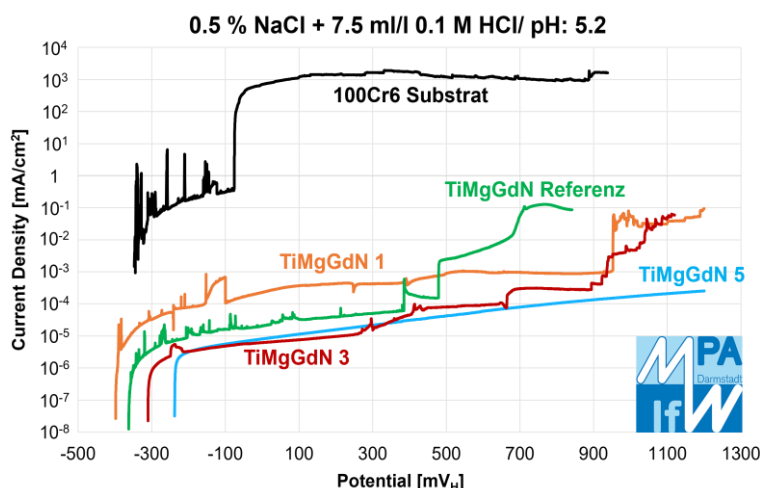


Abbildung 2: Stromdichte-Potenzialkurven der TiMgGdN-Schichten mit unterschiedlichen Gd-Gehalten im sauren Medium im Vergleich zur TiMgGdN-Referenzschicht.

Verwertung

Die erarbeiteten Schichtzusammensetzungen und Prozessparameter können von PVD-Beschichtungsbetrieben sowie Target- und Anlagenherstellern für die Weiterentwicklung korrosionsbeständiger Hartstoffschichten genutzt werden. Die abgeleitete Zusammensetzung eines homogenen pulvermetallurgischen Targets bildet die Grundlage für eine zukünftige industrielle Skalierung und Erprobung der TiAlMgGdN-Schichten. Da etablierte PVD-Anlagentechnik eingesetzt werden kann, ist eine Übertragung der Ergebnisse in bestehende Beschichtungsprozesse grundsätzlich möglich. Der Ergebnistransfer erfolgt darüber hinaus über Fachpublikationen, Tagungen, die EFDS sowie die Einbindung der Ergebnisse in die akademische Lehre.

Innovativer Beitrag

- Entwicklung korrosionsoptimierter TiAlMgGdN-Schichten mit verbessertem Eigenschaftsprofil für tribologisch und korrosiv beanspruchte Bauteile.
- Weiterentwicklung des PVD-Beschichtungsverfahrens durch gezielte Legierungs- und Prozessanpassung zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit ternärer Nitridschichten.

Projektbegleitende Abschlussarbeiten

2024 – Advanced Design Project: Condition Monitoring mittels elektrischem Oberflächenwiderstand

2025 – Advanced Research Lab: Einfluss des Al-Gehalts auf die Korrosionsbeständigkeit von TiAlMgGdN

2025 – Masterarbeit: Korrosions- und Verschleißverhalten von TiAlMgGdN- und TiMgGdN-Schichten

2026 – Masterarbeit: Pourbaix-Diagramm für das System Ti–Mg–Gd–N: Simulation und experimentelle Validierung