

**Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Technologie**

Abschlußbericht

Förderkennzeichen: 13N6974

Oberflächen- und Schichttechnologien (Ostec)

Verbundvorhaben: Hochratebeschichtung bei niedrigen Temperaturen durch Plasmamodifikation mit Bogenentladungen bei hohen Stromimpulsen

Teilvorhaben: Hochratebeschichtung bei niedrigen Temperaturen durch Plasmamodifikation

von

Dr. Jörg Vetter

METAPLAS IONON Oberflächenveredelungstechnik GmbH

Projektleiter: Dr. Vetter

Unterauftragnehmer

Fraunhofer-Institut Werkstoff- und Strahltechnik (IWS)

Projektleiter: Dr. Siemroth

Februar 2001

0. Allgemeine Angaben zum Projekt

- 0.1. Aufgabenstellung
- 0.2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
- 0.3. Planung und Ablauf
- 0.4. Wissenschaftlicher technischer Stand an den angeknüpft wurde
 - 0.4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden
 - 0.4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste
- 0.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

<h2>Teil I: Modellierung der Beschichtungstechnologie und Bauteilbeschichtung</h2>

1. Einleitung

2. Experimentelle Methoden

- 2.1. Eingesetzte Beschichtungstechniken und Substrate
 - 2.1.1. Beschichtungsanlage
 - 2.1.2. Substratmaterialien und Substratreinigung
 - 2.1.2.1. Substrate
 - 2.1.2.2. Substratreinigung
 - 2.1.2.3. Schichtabscheidung
- 2.2. Schichtdickenmessung
- 2.3. Messungen der Verbundfestigkeit
 - 2.3.1. Bestimmung der kritischen Last
 - 2.3.2. Rockwelleindruckverfahren
- 2.4. Mikrohärtmessung
- 2.5. Beschreibung der Oberflächentopographie
- 2.6. Tribologische Untersuchungen
- 2.7. Optische Emissionsspektroskopie

3. Modellierungsansätze zur Temperaturberechnung und Experimente

- 3.1. Zielsetzung
- 3.2. Modellbildung
- 3.3. Eingangsdaten
- 3.4. Berechnungsergebnisse und Diskussion
 - 3.4.1. Einfluß der Kathodentemperatur als Wärmequelle auf die Gleichgewichtstemperatur
 - 3.4.2. Vergleich der Terme Plasmaleistung und Wärmestrahlung durch Kathodentemperatur
 - 3.4.3. Gleichgewichtstemperaturen für verschiedene Plasmaleistungen und Kathodentemperaturen
- 3.5. Experiment und Berechnung .
 - 3.5.1. Gleichgewichtstemperatur in Abhängigkeit von Vorspannung und Verdampferstrom
 - 3.5.2. Zeit-Temperatur-Verläufe
- 3.6. Welche maximale Beschichtungsrate kann in Abhängigkeit von der Ionenenergie eingestellt werden?
- 3.7. Vergleich mit experimentellen Resultaten bei der Pulsung und Schlußfolgerungen
- 3.8. Literatur

4. Modellierungsansätze für die energetische Aktivierung

- 4.1. Wie stark kann die energetische Aktivierung für die TiN-Bildung abgesenkt werden?
- 4.2. Welche Auswirkungen hat die Pulsung auf die energetische Aktivierung ?
- 4.3. Vergleich mit experimentellen Ergebnissen bei der Pulsung und Schlußfolgerungen
- 4.4. Literatur

5. Modellierungsansätze zur Leistungsberechnung bei der gepulsten Hochstrom-Bogenentladung

- 5.1. Grundlagen

- 5.1.1. Ionenstrom-Faktor und Plasmaspezies
- 5.1.2. Substratstromdichte-Faktor
- 5.2. Berechnung der mittleren Substratstromdichten
- 5.3. Leistungseintrag während eines Impulses
- 5.4. Einfluß der Pulsparameter auf die Leistungsdichten
- 5.5. Vergleich mit experimentellen Resultaten bei der Pulsung und Schlußfolgerungen
- 5.6. Literatur

6. Betrachtungen zur Schichtdickenverteilung und zum Leistungseintrag bei verschiedenen Verdampferkonfigurationen

- 6.1. Dampfstromdichte bzw. Teilchendichte, Energiestromdichte
- 6.2. Modellierung der Schichtdickenverteilung
- 6.3. Berechnung der Schichtdickenverteilung bzw. des Energieeintrages für verschiedene Abstandsverhältnisse
- 6.4. Experimentelle Ergebnisse zur Schichtdickenverteilung bei Mehrverdampferanordnungen und unterschiedlichen Kathodendurchmessern
- 6.5. Thermische Randbedingung und Verdampferanordnung
- 6.6. Vergleich mit experimentellen Resultaten bei der Pulsung und Schlußfolgerungen
- 6.7. Literatur

7. Bemerkungen zum Dropletteinbau und zu Prozeßcharakteristika bei reaktiver TiN-Beschichtung mit Kathoden unterschiedliche Durchmessers

- 7.1. Einleitung
- 7.2. Versuchsdurchführung
- 7.3. Wachstumsrate
- 7.4. Dropletteinbau
- 7.5. Vergleich mit experimentellen Resultaten bei der Pulsung und Schlußfolgerungen
- 7.6. Literatur

8. Ausgewählte Schichteigenschaften

- 8.1. Härte beschichteter Oberflächen
- 8.2. Haftfestigkeit
- 8.3. Tribologische Eigenschaften
- 8.4. Zusammenfassung
- 8.5. Literatur

9. Bauteilbeschichtungen und deren Ergebnisse im Industrietest

- 9.1. Typische Bauteile
- 9.2. Testresultate
 - 9.2.1. Lebensdauererhöhung in aggressiven Medien
 - 9.2.2. Lebensdauererhöhung bei Förderung von Flüssiggasen
 - 9.2.3. Substitution von gespritzter Chromoxidschicht durch CrN
 - 9.2.4. Vereinfachte Konstruktion durch Einsparung der Wellenschutzuhle
- 9.3. Zusammenfassung
- 9.5. Literatur

10. Zusammenfassung und Ausblick

Teil II: Hochratebeschichtung bei niedrigen Temperaturen durch Plasmamodifikation mittels pulsförmiger Bogenströme.

0. Allgemeine Angaben zum Projekt

0.1. Aufgabenstellung

Ziel des Projektes war die Modellierung und Entwicklung von Beschichtungstechnologien, die eine niedrige Beschichtungstemperatur (ca. 200 °C) bei hohen Beschichtungsraten ermöglicht. Als Beschichtungsverfahren wurde dabei die kathodische Vakuumbogenverdampfung angewendet. Bauteilbeschichtungen von Pumpenteilen sollten ausgeführt werden, um so die Möglichkeiten der Verbesserungen in Pumpen durch PVD-Beschichtungen zu untersuchen.

0.2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Für die Durchführung des Projektes wurde eine Projektgruppe gebildet, die einen Pumpenhersteller (Apollo-Gößnitz GmbH), eine Forschungseinrichtung (FhG IWS, Dresden) und ein innovatives forschungs- und entwicklungsorientiertes Institut (IFU GmbH, Flöha) sowie den industriellen Beschichtungsanlagenhersteller und Servicebeschichter (METAPLAS IONON Oberflächenveredelungstechnik GmbH, Bergisch Gladbach) umfaßte. Die entwickelten Schichten wurden einerseits einer Laboruntersuchung unterzogen andererseits nahtlos bei laborgemäßigem Gutbefund in bauteilnahen Tests beim Projektpartner Apollo-Gößnitz untersucht, um so einen hinreichend schnellen Projektfortschritt zu gewährleisten.

0.3. Planung und Ablauf

Der Ablauf entsprach weitgehend der ursprünglichen Projektplanung. Am Ende der Projektlaufzeit konnten schließlich Aussagen über die physikalischen und schichttechnologischen Besonderheiten des Pulsverdampfers im Vergleich zum DC-Verdampfer gewonnen werden. Das theoretische Verständnis der schichttechnologischen Besonderheiten bei der Abscheidung unter der Randbedingung niedriger Temperaturen wurde bedeutend erweitert

0.4. Wissenschaftlicher technischer Stand an den angeknüpft wurde

Der wissenschaftlich technische Stand, an den angeknüpft worden ist, umfaßt verschiedene Bereiche: erste Erfahrungen am IWS mit gepulsten Verdampfern sowie erfolgreiche Bauteilbeschichtungen in der Fluidtechnik.

0.4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Bekannte Schutzrechte, die unmittelbar den Bereich der Verdampfertechnologie sowie die Schichtentwicklung betreffen, wurden nicht verwendet.

0.4.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Fachliteratur wird an den entsprechenden Stellen zitiert, sowie am Ende der jeweiligen Abschnitte angegeben.

0.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes erfolgte keine Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

1. Einleitung

Gegenwärtig ist eine Zunahme des Interesses der Industrie an der Beschichtung von Maschinenbauteilen mit verschleiß- und reibungsmindernden Hartstoffschichten zu verzeichnen. Die kathodische Vakuumbogenverdampfung hat sich für diesen Anwendungsbereich der Dünnschichttechnologie als besonders aussichtsreich erwiesen. Ein zentrales Thema der Technologieentwicklung ist dabei die Beschichtung von Stählen, deren Anlaßtemperatur auf 200 °C beschränkt ist. Diese Temperaturrandbedingung schränkt das Feld der konventionellen Beschichtungsparameter stark ein. Aus diesem Grunde sollten für diese Applikationen der PVD-Hartstoffschichten eine Modellierung der zur Zeit angewendeten Beschichtungstechnologien basierend auf der kontinuierlichen Vakuumbogenverdampfung erfolgen sowie gleichzeitig neuartige Beschichtungsmethoden entwickelt werden, die hinsichtlich der Produktivität, die für die einzelnen Bauteile preisbestimmend ist, deutlich gegenüber den konventionellen Beschichtungstechnologien verbessert sind. Im Zentrum stand deshalb die Erhöhung der Beschichtungsrate. Dies erfordert einen Quantensprung in der Bereitstellung neuartiger Verdampferprinzipien.

Grundlage für die Realisierung dieser Zielstellung war die Erforschung der gepulsten Verdampfertechnik, die Untersuchungen im Bereich der Verdampfertechnik selbst, der dafür zu entwickelnden Pulsstromquellen und der Zündprinzipien erfordert. Des weiteren war es notwendig, eine Plasmacharakterisierung durchzuführen und die Schichteigenschaften zu bestimmen. Die Forschungen der Firma Metaplas Ionon konzentrierten sich auf Untersuchungen der kontinuierlichen Vakuumbogenverdampfung. Das Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik erforschte als Unterauftragnehmer die gepulste Hochrateverdampfung. Der spezifischen Aufgabenstellung folgend wird ein Bericht vorgelegt, der aus den zwei Teilberichten besteht:

Teil I: Modellierung der Beschichtungstechnologie und Bauteilbeschichtung

Teil II: Hochratebeschichtung bei niedrigen Temperaturen durch
Plasmamodifikation mittels pulsförmiger Bogenströme.

2. Experimentelle Methoden

2.1. Eingesetzte Beschichtungstechniken und Substrate

2.1.1. Beschichtungsanlage