

Mikrogalvanische Methode zur Abscheidung von lateral verteilten Schichtdicken unter Verwendung einer galvanischen Beschichtungstechnologie

T. Döhler^a, A. Böhme^a, J. Neumann^b, R. Bochem^b, M. Hofmann^a, A.-H. Foitzik^a, U. Geissler^a

^aTechnische Hochschule Wildau, ^b Schiefer & Co. (GmbH & Co.)

Abstract

In dieser Arbeit wird ein elektrochemisches Beschichtungsverfahren zur Abscheidung von visuell nicht erkennbaren, lateral verteilten Oberflächenstrukturen vorgestellt [1]. Es wurden Konzepte mit Realdaten elektrochemischer Simulationen erstellt und in einen eigens entwickelten Aufbau übertragen. Mit den ermittelten Parametern war es möglich, ein Haftgoldelektrolyt auf den kathodenseitigen Substraten (Silber, Nickel) abzuscheiden. Wichtig für den Abscheidungsprozess ist die spezielle Anordnung und Ausprägung der anodenseitigen Elektrodengeometrien. Diese Schichten sowie deren lokale Verteilungen konnten mittels konfokaler Lasermikroskopie, Röntgenfluoreszenzanalyse und Laserinterferenzmessungen untersucht und nachgewiesen werden.

Einleitung

In industriellen Anwendungen gibt es Einflussgrößen und Effekte, die für eine gute Produktqualität verhindert oder zumindest reduziert werden müssen. Eine dieser Störgrößen, der sogenannte „Hundeknochen“- Effekt [2], führt zu ungleichmäßigen Schichten infolge der primären Stromverteilung durch geometrische Änderungen und Ungleichmäßigkeiten zwischen den Elektroden [3]. Dieser ist in der modernen elektrochemischen Beschichtungstechnik äußerst unerwünscht. In elektrochemischen Aufbauten wird daher versucht, durch eine gezielte anodenseitige Anordnung der Elektroden oder durch Einbringen von Anodengittern eine Parallelisierung der Feldlinien an der Kathode zu erreichen um somit diesen Effekt zu verhindern.

Dieser unerwünschte Effekt wird in der vorgestellten Entwicklung in Umkehr verwendet, um neben der gewöhnlichen Beschichtung einen Bereich zu schaffen, der vom Einfluss dieses geometrischen Kanteneffektes abhängig ist und eine Art der inhomogen verteilten Beschichtung gestattet.

Materialien und Methoden

Die Strukturierungen auf den prozessbestimmenden Anodenelektroden, wurden mit einem Mikrofertigungszentrum (Kern Micro, Kern, Eschenlohe, Germany) hergestellt. Als Elektrodenmaterialien wurden anodenseitig Platin, und kathodenseitig Silber, Gold und Nickel definiert. Um störende Einflüsse zu reduzieren, wurde ein Elektrolyt ohne Zusatz (Haftgoldbad Wieland AC3) verwendet. Anodenseitig kamen strukturierte Sta-belektroden zum Einsatz. Die Substratelektrode kathodenseitig bestand aus Silber und

anodenseitig aus Platin. Für die experimentellen Untersuchungen wurden der Abscheidereich kathodenseitig auf 1 cm² und die Schichthöhe prozesstechnisch auf max. 2 µm begrenzt. Als Versuchsaufbau konnte ein galvanischer Laborprototyp entwickelt werden, der die Prozessführung und Prozessparametrisierung einstellbar machte. Die unmittelbare Nähe der Elektroden zueinander und das Justieren des Elektrodenabstandes konnte mittels Mikrometerstelleinheiten realisiert werden. Die erzeugten CAD-Modelle der Elektroden wurden in die Simulationssoftware (Comsol Multiphysics, Modul Electrodeposition) übertragen und als Modellbildung für die Abstimmung der Prozessparameter in Abhängigkeit von anodenseitigen Geometrien und der kathodenseitigen Schichtverteilung berechnet (Abb.1). Die hergestellten Schichten wurden mit einem Laserkonfokalmikroskop (qualitativ), der Röntgenfluoreszenzanalyse (laterale Schichtdickenmessung) und mittels Interferenzmessung analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Abbildungen 2 illustriert eine Substratprobe einer Anodenform (Nut). Es wurden Rauheits- ($R_a < 2 \mu\text{m}$) und Reinheitsanforderungen an die Substratmaterialien festgelegt, damit der veränderte Abscheidecharakter geregelter und die Verteilung der Feldlinien neben der forcierten Feldverteilung homogener erfolgte. Die dargestellten Proben wurden bei Raumtemperatur $\sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $U = \text{variabel}$, $I = 0,5 \text{ mA}$, $t = 30 \text{ min}$, $d = 700 \mu\text{m}$ mit Rührwerk hergestellt. Diese zeigten in der optischen Analyse und mittels Laserkonfokalmikroskop (VKX-1100) keine sichtbaren Hinweise auf die strukturelle Variation der Schichtdickenausbildung (s. Abb. 2 A). Auch die Profilmessungen über die relevanten Schichtbereiche zeigten keine signifikanten Änderungen. Erkennbar waren „schwarze Ränder“, die auf Randeffekte durch Gasblasenbildung während des Prozesses an der Beschichtungsfläche erklärbar sind. Diese hafteten trotz Rührwerk während des Prozesses aufgrund hoher Kapillarkräfte zwischen den Elektroden und waren auch mit Umwälzung nicht immer vermeidbar.

Um weitere Rückschlüsse über das Schichtverhalten analysieren zu können, wurden an ausgewählten Probensätzen die Gesamtschichtdicken der abgeschiedenen Schichten mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt. Die Messpunkte sind in einer Matrix so platziert worden, dass sie mindestens die Hälfte der relevanten Geometrien der jeweiligen Fertigungsanode abbilden konnten. Der Messbereich in XY-Richtung betrug 250 µm. Die in Abbildung 2C gezeigten Grafiken weisen in der 3D Darstellung, sowie der projizierten Flächendarstellung, bzw. im Liniendiagramm (Abb.2 D) die vermutete und simulierte Schichtdickenverteilung auf. Verursacht wurde die Erhöhung des Schichtdickenwachstums entlang bestimmter Geometriekanten der strukturierten Anode aufgrund der Verdichtung der Feldlinien und dem Anstieg der Stromliniendichte. Abbildung 2C zeigt die Geometrie (Nut) durch Ausformung von zwei Erhebungen.

Um möglichst vielen Anwendern in kleineren mittelständigen Unternehmen eine kostengünstige Analysemöglichkeit zur Verfügung zu stellen, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein optisches Modul für die Interferenzmessung entwickelt. Dies ermöglicht eine qualitative Analyse der Oberfläche, bei der die inhomogene graduelle

Schichtdickenverteilung unmittelbar visualisiert wird. In Abbildung 2B ist das Interferenzbild dargestellt, das durch die unterschiedliche Schichtdickenverteilung auf der beschichteten Oberfläche verursacht wurde. Im Projektverlauf konnte der Effekt des Prozessierens in erster Instanz immer mit Hilfe dieser selbstentwickelten optischen Interferenzerkennungsmethode nachgewiesen werden.

Allgemein gilt: Je größer die strukturierte Fläche, desto höher muss die Stromstärke sein, um gleiche Stromdichten und gleiche oder ähnliche Abscheideergebnisse zu erhalten. Mit steigendem Abstand erfolgte die erwartete Homogenisierung der Feldlinien und eine Reduzierung des graduellen Beschichtungseffektes.

Zusammenfassung und Ausblick

Es konnten mittels galvanischer Prozesstechnik unter Anwendung des umgekehrten „Hundeknochen“- Effektes Strukturen auf metallischen Probenkörpern hergestellt werden. Diese sind mit bloßem Auge nicht sichtbar, bilden eine mikrostrukturierte Anodengeometrie ab und konnten mittels konventioneller Analyseverfahren sowie eines Interferenzerkennungsmoduls detektiert und beschrieben werden. Die Entwicklung ermöglichte, dass die notwendigen Anoden durch eine Kombination von Berechnung, Simulation und Fertigungstechnik hergestellt werden konnten. Kathodenseitig wurde ein Prozess für die Abscheidung auf einer planaren Oberfläche entwickelt. In zukünftigen Arbeiten soll ein Übertrag der Technologie auf andere Substratmaterialien und Elektrolysorten erfolgen. Die Anwendung der vorgestellten neuartigen Prozesstechnik können Applikationen unterstützen, die z.B. in der Leiterplattenindustrie, der Photonik und Optik oder in der praktischen Anwendung in Verbindung mit der Digitalisierung liegen.

Quellen

[1]CAS, C. I. (29. 04 2015). China Patentnr. CN102766892B.

[2] Kanani N. Dr. Ing. Dr. habil.: Galvanotechnik Grundlagen, Verfahren, Praxis, 2. erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag 2009

[3] Jelinek, T. W. (2013). Abscheidung von Metall mit äußerer Stromquelle. In T. W. Jelinek, Praktische Galvanotechnik (S. 58). Bad Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ZIM, AiF) für die finanzielle Unterstützung (Fkz.: ZF4012231DF8).

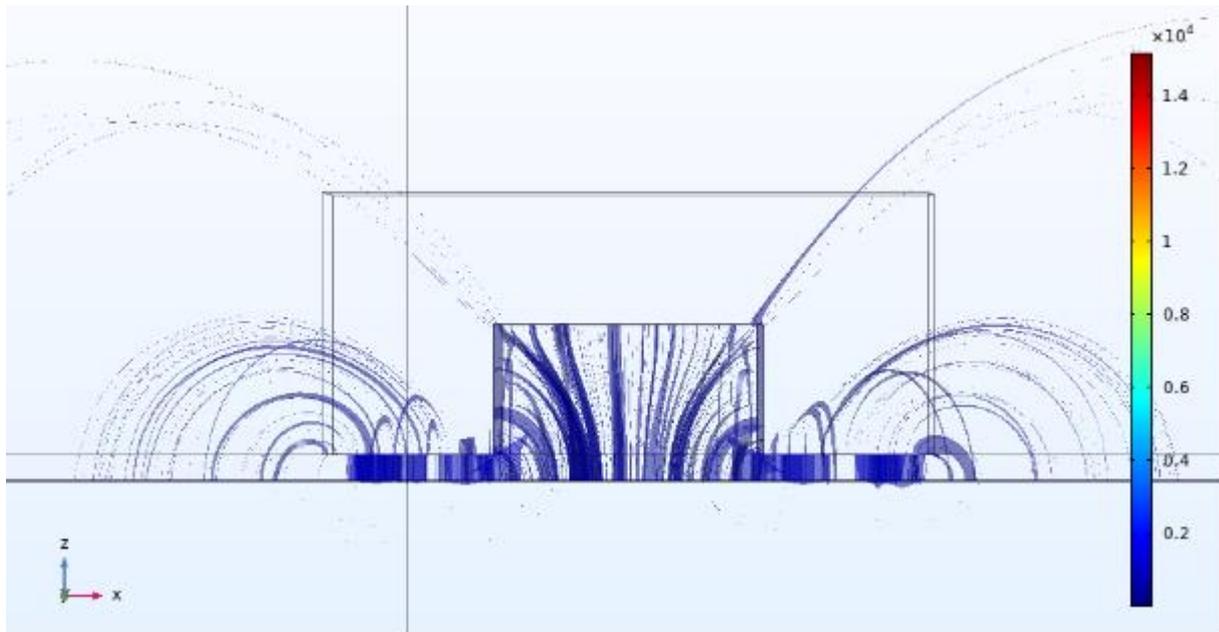


Abbildung 1: simulierte Verteilung der resultierenden Feldliniendichtefunktion im Prozessbad in Abhängigkeit zur Anodengeometrie „Nut“, Abstand $d=700\ \mu\text{m}$, überzeichnete Darstellung der verstärkten Abscheiderate aufgrund der Feldliniendichteerhöhung in Folge der Anodengeometrie (Simulation in Comsol Multiphysics, Modul Elektrodeposition)

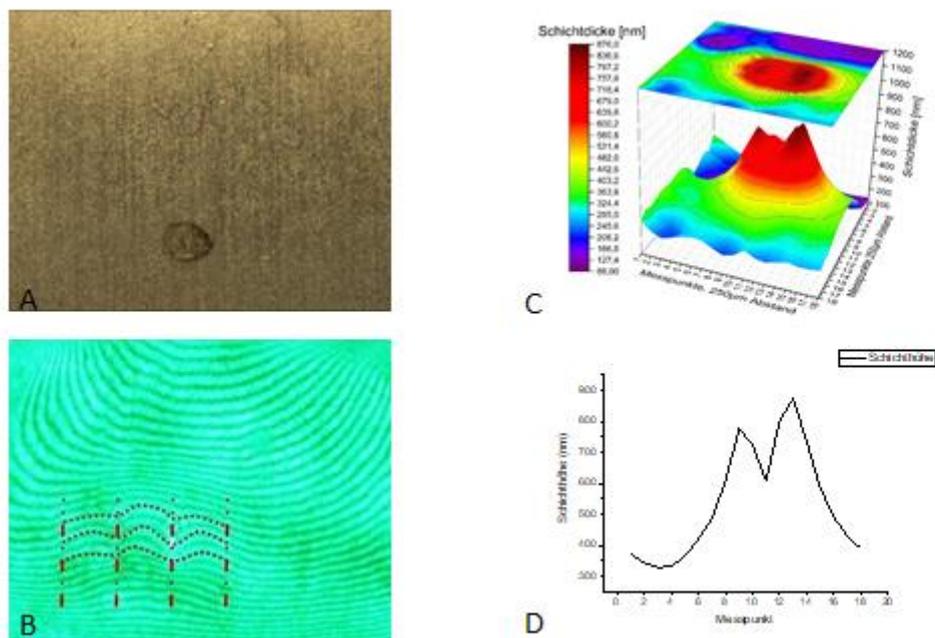


Abbildung 2: Substratprobe Stabelektrode (Nut): optische Begutachtung des Proben-satz mit Hilfe des LSM (A), Analyse des Beschichtungsergebniss der Nut-Anodenge-

ometrie mittels RFA (C,D) im Messbereich 250 μm in XY-Richtung, Darstellung & Auswertung der Messergebnisse der RFA in der Originlab Software 3D (C), Liniendiagramm (D), Interferogramm (B) der Anodengeometrie (Nut)

Logos der Fördermittelgeber und Projektpartner



