

Nanotechnologie in der elektrischen Verbindungstechnik

J. Song¹, C. Koch¹, L. Wang¹, S. Stopic³, J. Bogovic³, B. Friedrich³, A. Möbius², A. Fuhrmann²

¹*Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo*

²*Enthone GmbH, Langenfeld*, ³*RWTH Aachen*

I. Einleitung

Aus durchgeführten Untersuchungen und Literaturstudien wissen wir, dass die Erhöhung der Verschleißbeständigkeit der Goldoberfläche ein Schlüssel zur Erhöhung der Kontaktlebensdauer ist [1-3]. Auch wissen wir aus der Tribologie- und Nanotechnologieforschung, dass die Verschleißbeständigkeit durch bestimmte Sorten von Nanopartikeln als Materialzusatz deutlich erhöht werden kann [4, 5]. Das große verschleißmindernde Potential begründet sich mit der Tatsache, dass die Mikrohärtigkeit von vielen Nanopartikeln weit über 2.000 HV liegt [6]. Die Mikrohärtigkeit von Hartgold kann lediglich 170 HV erreichen [2].

Da die verschleißbeständigen Nanopartikel in der Regel schlecht elektrisch leitend sind, muss bei der Modifikation der Oberflächen für elektrische Kontakte darauf geachtet werden, dass

1. die Nanopartikel möglichst klein sind,
2. der Nanopartikelanteil nicht zu groß ist.

Sind die Nanopartikel kleiner als 10 nm, können die Auswirkungen ihres hohen elektrischen Widerstandes durch den Tunneleffekt weitgehend eliminiert werden.

In dieser Studie wird eine neue Art der Oberflächenmodifikation von Goldschichten untersucht. Statt Legierungselementen werden zur Modifikation der Goldoberfläche Nanopartikel, meist Metalloxide, zugesetzt. Einige der Nanopartikel zeigen einen deutlichen Einfluss auf die Lebensdauer der Oberflächen elektrischer Kontakte. Die ersten Ergebnisse werden vorgestellt und neue Herausforderungen in Bezug auf den Einsatz von Nanopartikeln beim galvanischen Beschichten erläutert.

II. Untersuchung

Die Verschleiß- und Reibkorrosionstests werden mit einem speziell hierfür entwickelten Prüfstand durchgeführt. Dieser ermöglicht es Mikrobewegungen, welche real auf elektrische Kontakte wirken, präzise zu simulieren (Abb. 2 im Beitrag „Einfluss von Goldlegierungsarten und -anteilen auf die Lebensdauer von elektrischen Kontakten ab Seite 9).

Ein Transmission Electron Microscope (TEM) in Kombination mit einem Bildverarbeitungsprogramm wird für die Charakterisierung der Nanopartikelpulver verwendet. Ein Ultrafine Particle Analyzer (UPA), mit integrierter Controlled Reference Method (CRM) wurde verwendet, welches durch Lichtbrechung die Verteilung der Nanopartikelgröße im Elektrolyten messen kann. Der Verschleiß der Kontaktzone wird nach dem Verschleißtest mit einem Konfokalmikroskop vermessen. Dieses Messsystem hat eine Auflösung von 10 nm. Ein Scanning Electron Microscope (SEM) in Kombination mit einem Focused Ion Beam System (FIB) sowie der energy-dispersiven X-ray Spectroscopy (EDX), ein Röntgenfluoreszenzspektrometer sowie ein optisches Mikroskop werden ebenfalls zur Material- und Oberflächenanalyse der Goldbeschichtungen verwendet.

Die Geometrien sowie auch die Anordnung der Kontakte zueinander sind in Abb. 1 dargestellt. Als Basismaterial wird Phosphor-Bronze (CuSn) verwendet.

Die in diesem Projekt untersuchten Kontaktsysteme bestehen aus Schichtsystemen, welche oberflächlich mit einer 0,6-1 μm dicken Goldschicht versehen sind, die mit unterschiedlichen Nanopartikeln (Material und Größe) modifiziert sind. Diese Nanopartikel bestehen meist aus Metalloxiden. Darunter befindet sich eine Nickelsperrschicht von 3-4 μm , welche die Diffusion zwischen dem Gold und dem Basismaterial verhindert. Die Proben werden galvanisch beschichtet. Die Kontaktpartner einer Untersuchung bestehen aus dem gleichen Material.

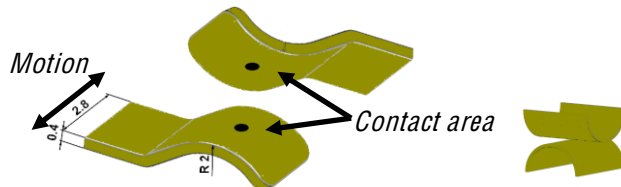


Abb. 1: Kontaktfedern mit punktförmiger Kontaktzone

Das wesentliche Ziel unserer Untersuchungen ist die Erhöhung der Lebensdauer von mit Gold beschichteten elektrischen Kontakten. Einige Kriterien können verwendet werden, um die Lebensdauer zu definieren. Es wird die Anzahl der Zyklen bis der Kontaktwiderstand ansteigt zur Bestimmung der Lebensdauer verwendet, da dieser den größten Einfluss auf das Verhalten von Kontakten hat und im direkten Zusammenhang zu der Verschleißbeständigkeit der Goldschicht steht (Abb. 2).

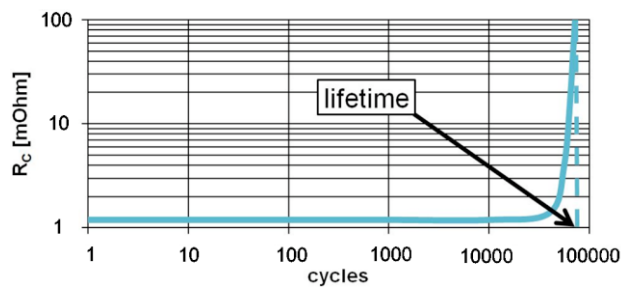


Abb. 2: Anstieg des Kontaktwiderstandes beim Reibkorrosionstest

III. Nanopartikel

Für die Untersuchung werden Nanopartikel mit unterschiedlicher Partikelgrößenverteilung verwendet. Im Elektrolyten verändern sich der Anteil der Agglomeration sowie die Partikelgrößenverteilung. Im Elektrolyten wurden weitaus größere Partikel als im trockenen Zustand beobachtet. (vgl. Abb. 3a und 3b).

Die Partikelgrößenverteilung im Pulver und im Elektrolyten kann mit einem TEM und einem UPA problemlos bestimmt werden.

Eine rasche und kostengünstige Methode zu finden, um die Partikelgrößenverteilung und Menge der Nanopartikel, die sich in der Goldschicht befinden, zu bestimmen, stellt eine große Herausforderung dar. Das X-Ray Fluoreszenzspektrometer eignet sich lediglich für eine rasche und überschlägige Kontrolle der Schichtdicke und der Bestimmung des Anteils von Legierungselementen in einer Goldschicht. Aussichtsreiche Methoden, diese Art der Analyse durchzuführen, sind das FIB und SEM in Kombination mit EDX. Das FIB ist besonders für die Analyse der Agglomeration von Nanopartikeln in der Beschichtung geeignet (Abb. 4). Im ersten Schritt wird die Konzentration der Nanopartikel im Elektrolyten als Prozessparameter in der galvanischen

Beschichtungstechnik verwendet. Die Untersuchung der Beziehung zwischen der Konzentration der Nanopartikel im Elektrolyten und der Menge der Nanopartikel in der Goldschicht wird noch fortgeführt.

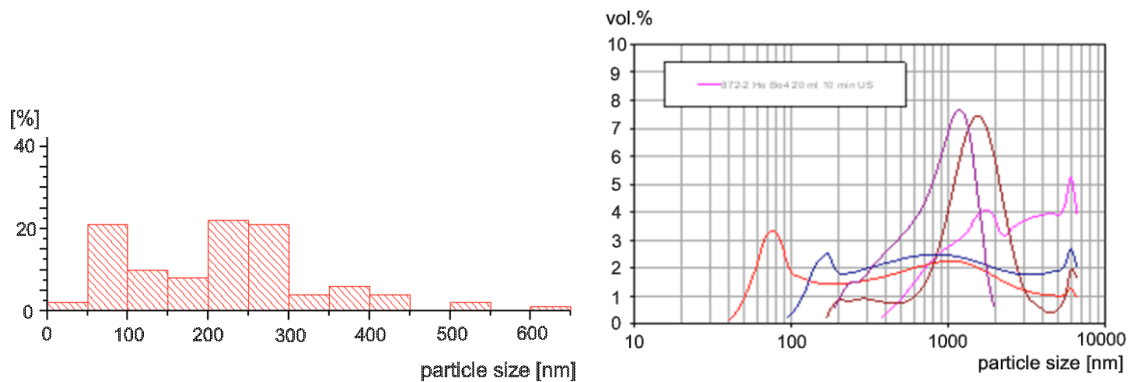


Abb. 3a (links): Partikelgrößenverteilung im Pulver

Abb. 3b (rechts): Partikelgrößenverteilung im Elektrolyten

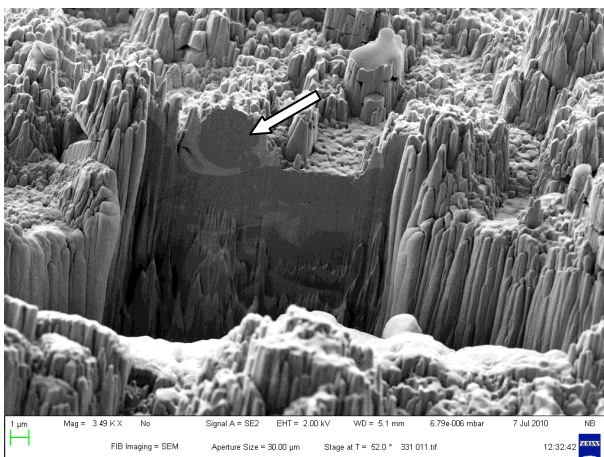


Abb. 4: Agglomeration von Nanopartikeln im Schichtsystem

IV. Ergebnisse und Diskussion

Der Einfluss unterschiedlicher Nanopartikel auf die Lebensdauer elektrischer Kontakte in Bezug auf Verschleiß und Reibkorrosion ist in Abb. 5 dargestellt. Die durchgezogene Linie zeigt den typischen Wert der Lebensdauer von mit Gold beschichteten elektrischen Kontakten, welche meist für Hochleistungskontakte eingesetzt werden. Die gestrichelte Linie zeigt den typischen Wert der Lebensdauer von Kontakten, die mit Reingold geschichtet werden. Der große Bereich der Lebensdauer mit Nanopartikelart 1 basiert nicht auf einem einzelnen Ausreißer, sondern ist durch mehrere Messungen verifiziert. Dies zeigt einerseits das erhebliche Potential der nanopartikelmodifizierten Goldoberflächen, andererseits die große Anzahl der Parameter in der Prozesskette bei der Herstellung der Nanopartikel bis zur Einbringung in die Goldoberfläche, welche bestimmt und untersucht werden müssen.

Einer dieser relevanten Parameter ist die Größenverteilung der Partikel im Pulver, im Elektrolyten sowie in der Beschichtung, welche sehr unterschiedlich sind. Der Anteil und die Verteilung der Nanopartikel in der Goldschicht müssen hierbei schwerpunktmäßig betrachtet werden.

Die Proben mit den besten Ergebnissen wurden mit einem SEM in Kombination mit FIB und EDX-Analyse weiter untersucht. Der Anteil der Nanopartikel in der Goldschicht betrug annähernd 1 bis 2%. Die Nanopartikel waren zudem gleichmäßig in der Schicht verteilt.

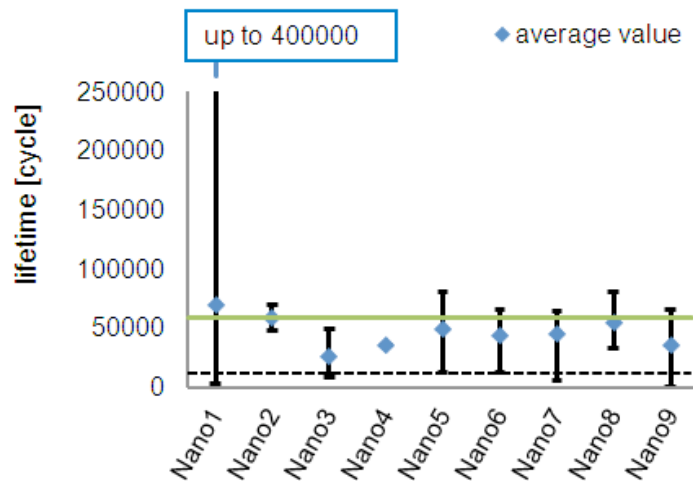


Abb. 5: Einfluss unterschiedlicher Nanopartikelarten

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Verschleißrate des Goldes und dem Verschleißbild kann bei mit Nanopartikeln modifizierten Oberflächen beobachtet werden, Abb. 6a und 6b.

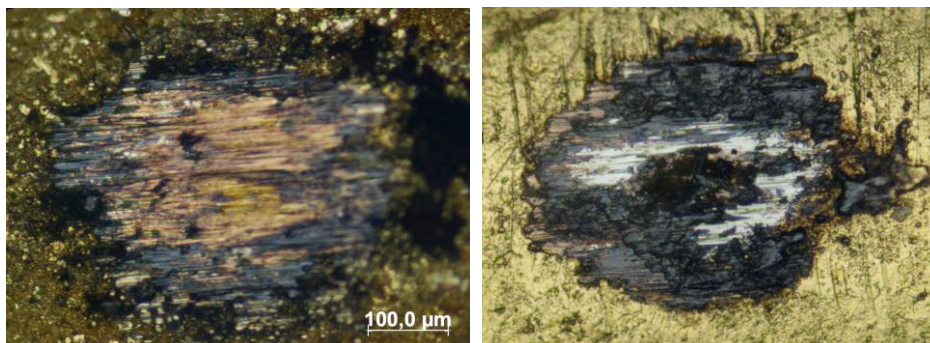


Abb. 6a (links): Mikroskopbild der Kontaktzone (mittlere Tiefe des Verschleißpunktes: 4 µm, Kontakt noch funktionsfähig nach 50.000 Zyklen, nanopartikelmodifizierte Oberfläche mit 0,8 µm Schichtdicke)

Abb. 6b (rechts): Mikroskopbild der Kontaktzone (mittlere Tiefe des Verschleißpunktes: 6 µm, Kontakt versagt nach 50.000 Zyklen, nanopartikelmodifizierte Oberfläche mit 0,8 µm Schichtdicke)

Abb. 6 zeigt die Verschleißzone von zwei Kontaktproben nach 50.000-Zyklen Tests. Die Kontakte mit einem kleinen elektrischen Widerstand weisen eine geringere Verschleißrate auf. Ebenfalls kann noch Gold in der Kontaktzone nachgewiesen werden (Abb. 6a) und spricht daher für ein günstiges Verschleißbild. Die Kontakte, welche nach 50.000 Zyklen einen erhöhten elektrischen Widerstand aufweisen, zeigen dagegen eine höhere Verschleißrate. Im Kontaktpunkt selbst befindet sich lediglich Nickel aus der sich darunter befindlichen Schicht sowie Oxid, welches auch durch die schwarze Färbung deutlich erkennbar ist (Abb. 6b).

Die Verschleißspuren können auch mit einem Energie Dispersiven X-ray Spektrometer (EDX) untersucht werden. Im Falle einer günstigen Verschleißart befindet sich nach dem Dauertest noch viel Gold in der

Verschleißzone (Abb. 7a). Eine günstige Verschleißart kann daher auch mit einer EDX nachgewiesen werden. Im Falle einer schlechten Verschleißbeständigkeit der Goldschicht zeigt die Messung der Goldverteilung einen deutlich geringeren Goldanteil in der Kontaktzone (Abb. 7b).

Kontakte mit einer sehr hohen Verschleißbeständigkeit zeigen an der Oberfläche eine Noppenförmige Struktur, welches auf eine hohe Anzahl von Nanopartikeln an der Oberfläche hinweist (Abb. 7a und 8).

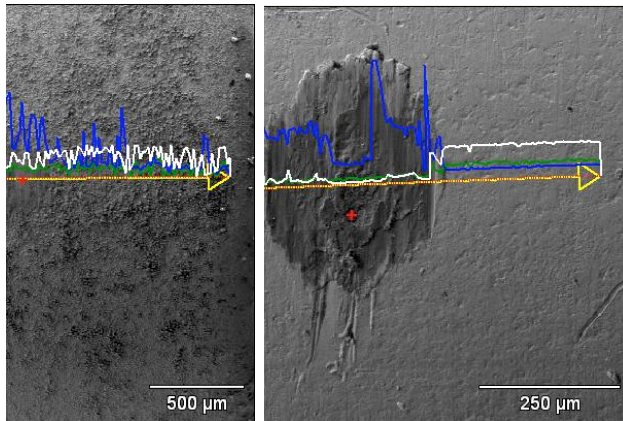


Abb. 7a (links): Messung des Goldanteils in der Kontaktzone (weiße Linie). Hohe Verschleißbeständigkeit der Goldschicht, Kontakt übersteht einen Test über 50.000 Zyklen.

Abb. 7b (rechts): Messung des Goldanteils in der Kontaktzone (weiße Linie). Geringe Verschleißbeständigkeit der Goldschicht, nach 50.000 Zyklen ist die Goldschicht durchgerieben.

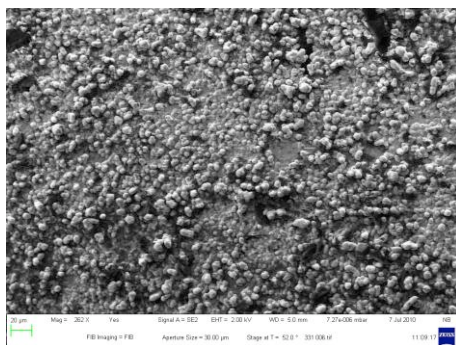


Abb. 8: Oberfläche mit noppenförmiger Oberfläche und sehr hoher Verschleißfestigkeit.

V. Zusammenfassung

Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Modifikation von Goldschichten mit Nanopartikeln ein großes Potential im Hinblick auf die Erhöhung der Verschleißbeständigkeit und somit auf die deutliche Erhöhung der Lebensdauer von elektrischen Kontakten aufweist. Es sind jedoch noch viele Untersuchungen durchzuführen um die optimalen Nanopartikelarten zu bestimmen sowie den galvanischen Prozess und die Produktion der Nanopartikel sicher zu beherrschen. Die Schlüsselfrage der Nanopartikel liegt in der Größenverteilung und der Verteilung in der Goldschicht.

Danksagung

Die Untersuchungen werden durch die Europäische Union (EU) sowie dem Land Nordrheinwestfalen (NRW) unter dem Projekttitel „Elektromechanische Komponenten mit neuen nanopartikelmodifizierten Edelmetalloberflächen“ (Kurztitel: NanoGold) gefördert. Die Universität Paderborn, KME in Stolberg und Phoenix Contact in Blomberg unterstützen die Untersuchungen mit Material, Proben und Messungen.

Literatur

- [1] M. Braunovic, V.V. Konchits, N.K. Myshkin, Electrical Contacts, pp. 214-230. CRC Press, Boca Raton, 2007
- [2] E. Vinaricky: (Hrsg): Elektrische Kontakte, Werkstoffe und Anwendungen. Springer Verlag, Berlin, 2002
- [3] J. Song, C. Koch, A. Zibart: Hochleistungsoberflächensysteme für Steckverbindungen und elektrische Kontakte, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Hitech Connectors Nr. 3.1 BNBEST-BMBF im Rahmen des Programms profUnt, 2010
- [4] W.J. Bartz: Lubricants, Materials and Lubrication Engineering. TAE, 2008
- [5] I.V. Kragelski et al.: Grundlagen der Berechnung von Reibung und Verschleiß. Verlag Technik, Berlin, 1982
- [6] G.L. Hornyak et al.: Introduction to Nanoscience & Nanotechnology. CRC Press, Boca Raton, 2009