

UDK 621.923.04

Nikita Zyl¹, Dr.-Ing. Florian Welzel², Volodimir Frolov¹

1 – Nationale Technische Universität der Ukraine „Kiewer Polytechnisches Institut benannt nach Ihor Sikorsky“, Kiew, e-mail: zyl.n@gmail.com, v.k.frolov@gmail.com

2 – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, e-mail: florian.welzel@ovgu.de

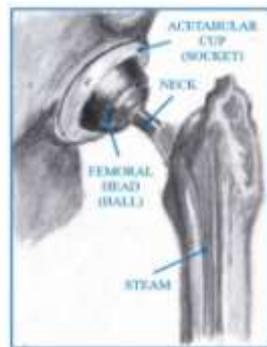
UNTERSUCHUNG VON OBERFLÄCHENENDBEARBEITUNGSVERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON CoCr-HÜFTKÖPFE

Alle experimentalen Daten gehören zum Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <http://www.ifq.ovgu.de/>

Die Operation zum Ersatz des Hüftgelenks (Abb.1) gilt als die erfolgreichste Art der Prothetik des 20. Jahrhunderts. Um der wachsenden Nachfrage (siehe Abb.2) nach Endoprothesen nachzugehen und die Preise für diese Produkte zu senken, werden für die Herstellung von Endoprothesen neue Materialien, Konstruktionen und Bearbeitungstechnologien entwickelt. Die Medizintechnik ist ein großer Markt mit ständig wachsenden Umsätzen, der neue Lösungen erfordert. Angelehnt an dieser Thematik wurde in der vorliegenden Masterthesis eine Verbesserung aus technologischer Sicht im Bereich der Oberflächenbearbeitung von Hüftköpfen aus einer Cobalt-Chrom-Legierung untersucht.



a



b

Abb. 2. Hüftgelenk: (a) eine natürliche, (b) eine künstliche (Hüftgelenkprothese) [1]

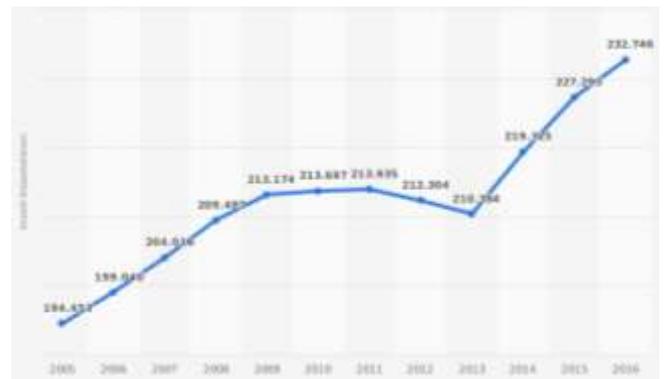


Abb. 1. Anzahl der Implantationen künstlicher Hüftgelenke in deutschen Krankenhäusern in den Jahren 2005 bis 2016 [2]

Die Aufgabe dieser Untersuchung ist es, bekannte und neue Methoden der abrasiven und elektrochemischen Behandlung und deren Anwendung zur Oberflächenbehandlung von Hüftköpfen zu untersuchen. Ziel ist es, eine geeignete Prozesskette aufzustellen, in welcher die hohen Anforderungen an die prothetische Oberfläche erfüllt und Oberflächenrauigkeiten unter Ra 0,05 μm erreicht werden. Die in dieser Arbeit beschriebenen Methoden und Techniken sind ebenfalls am Institut verfügbar. Diese Methoden umfassen die sogenannten „Mass finishing“ Methoden, wie bspw. Gleitschleifen mit verschiedenen Medien. Im Rahmen der Masterthesis wurden verschiedene Bearbeitungsverfahren und -medien untersucht, mit denen das geforderte Ergebnis erreicht werden kann.

Alle Versuche wurden mit dem Einsatz eines Trogvibrators der Firma RÖSLER R210/530 TE-30 durchgeführt. Für die experimentellen Versuche wurden MAC 10x15 und RSG 06x06 Schlefkörper eingesetzt. Zusätzlich wurde ein Mais-Zellulose-Produkt und Gießereisand in die Schleppschleifmaschine eingesetzt. Der elektrochemische Polier wurde mit dem Gerät durchgeführt. Eine Untersuchung von Technologien wurde das Polieren an einer 5-Achsige Fräsmaschine Heller FT2000 durchgeführt. Zum Polieren wurden runde Polierkörper mit einer 240-er Körnung verwendet. Polierstäbe werden aus Polyurethan (PU) hergestellt. Die Versuche der magnetischen Schleifbehandlung wurden unter Verwendung eines auf einem Messingschaft befestigten Permanentmagneten durchgeführt. Für MAB wurde ein Kugelmagnet mit Haftkraft ca. 23,5 N

eingesetzt. Als Schleifmittel wurde ein Gußschrot mit grobem Diamantpulver verwendet. Das Schleifen mit Schleifpapier wurde auf einer Drehmaschine durchgeführt. Das Schleifen erfolgte schrittweise mit Schleifpapier unterschiedlicher Körnung.

Topographieaufnahmen und Oberflächenrauheitsmessungen wurden unter Verwendung eines Konfokalmikroskops von der Firma Nanofocus, mit der Typbezeichnung „µsurf expert“ gemacht. Jede Aufnahme hat Messbereich 1,4 mal 1,4 mm mit 20X Vergrößerung. Da sowohl nach dem Drehen, als auch nach den abrasiven Behandlungen die Rauheiten am verschiedenen Bereiche des Hüftkopfes unterschiedlich sind, wurden alle Hüftköpfe an verschiedenen Punkten gemessen. Für eine leichtere Positionierung der Hüftkugel auf dem Messtisch wurde eine Messvorrichtung entwickelt. Das Messen innerhalb der Achsebene erfolgt in vier Winkelschritten: 0°, 30°, 90° und 120°, pro ein Winkelschritt wurde 3 Messbereichen gemessen. D.h. jede Hüftkugel wurde auf 10 Messbereichen gemessen. Für die gründliche Untersuchung von Veränderungen an der Oberfläche der Hüftkugeln wurde vor und nach der jede Bearbeitung die Oberflächenspannung gemessen. Alle Messungen wurden an dem mobilen Röntgendiffraktometer Xstress 3000 durchgeführt. Das Xstress 3000 misst Eigenspannungen mittels Röntgenstrahlen unter Ausnutzung eines Phänomens, bekannt als das Braggsche Gesetz.

Experimentell wurde festgestellt, dass die Materialabtragsrate beim Gleitschleifen gleichmäßig über die Kugeloberfläche verteilt ist, obwohl nach dem Drehen die Kugeloberflächen verschiedene Rauheiten haben. Die voraussichtliche Bearbeitungszeit muss unter der Beachtung der höchsten Rauheitswerte berechnet werden. In der Abb. 3 ist die Anhänglichkeit von der Zeit zur Rauheit dargestellt. Die niedrigste erreichbare Rauheit nach dem Gleitschleifen von CoCr mit keramischen Polierkörpern ist Ra 0,08 µm. Eine weitere Bearbeitung ist nur mit feinerem Poliermittel möglich. Diese können Keramikkörper mit einer geringeren Dichte und Größe von abrasiven Einschlüssen, Kunststoffkörper oder spezielle polierende Medien sein. Die Grafik in Abb. 4 zeigt den Wert der Rauigkeit nach der Bearbeitung mit einer kleineren Keramikkörpern RSG 06x06.

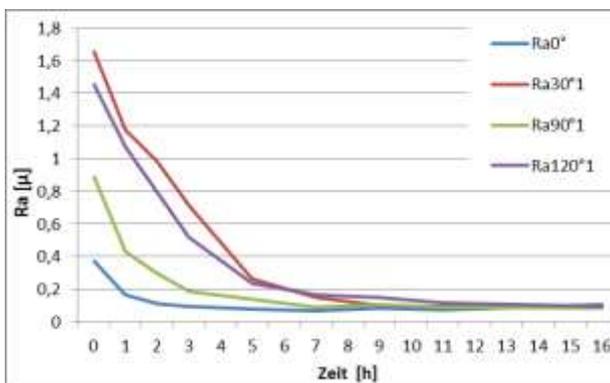


Abb. 3. Ra-Werte nach dem Gleitschleifen mit MAC 10x15 von CoCr Hüftköpfen

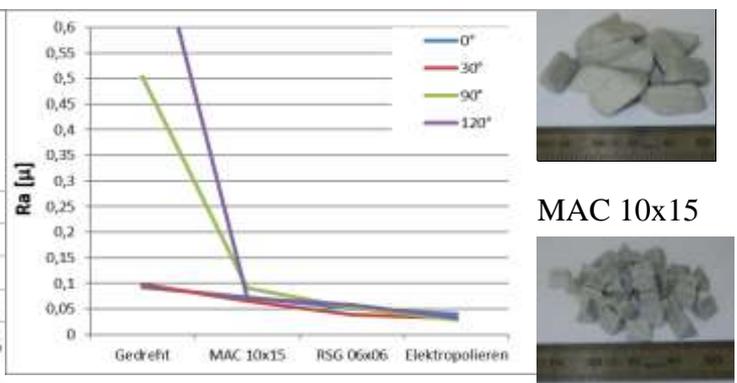


Abb. 4. Ra-Werte nach Gleitschleifen mit verschiedenen keramischen Medien (MAC10x15 und RSG06x06)



MAC 10x15



RSG 06x06

Es wurde festgestellt, dass die Mindestzeit für die Bearbeitung der Oberfläche des Hüftkopfes aus CoCr-Legierung mit den keramischen Körpern MAC 10x15 16 h beträgt. Diese Bearbeitungsstufe ist erforderlich, um die Oberfläche des aperiodischen Profils und die Sphärizität zu verbessern.

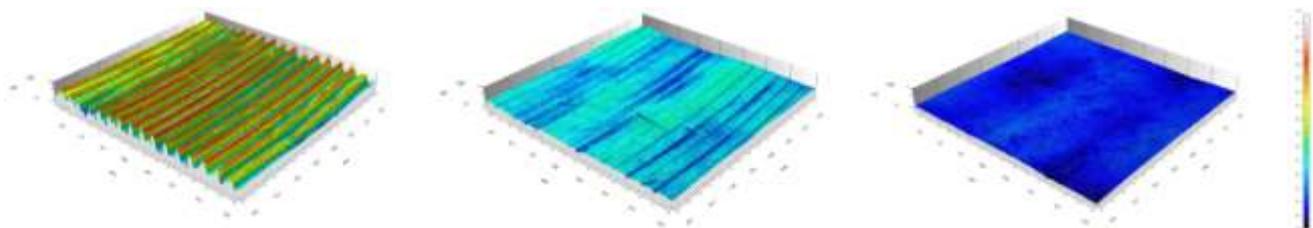


Abb. 5. Topografieaufnahmen von gleitgeschliffenen Oberflächen Vorher (links), nach 9h (mitte) und nach 16h (rechts)

Das Polieren von Hüftköpfen aus CoCr-Legierungen mit dem Gießereisand in der Gleitschleifanlage bringt keine signifikante Verbesserung der Oberfläche mit sich. Das Gleitschleifen mit Zellulosegranulat und dem Auftragen einer Polierpaste auf die Oberfläche ergab eine gute Oberflächenrauheit. Offensichtlich erfüllt dieses Granulatgemisch zusammen mit der Polierpaste und dem vorhergehenden keramischen Granulat die Polierfunktion. Bis zu einer gewissen Grenze (bis Ra $0,05\pm 0,01$) können Oberflächen nachbehandelt werden.

Mehrere Experimente wurden durchgeführt, um die elektrochemische Behandlung von CoCr-Legierungen zu untersuchen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Oberflächenbehandlung nach dem Drehen, Gleitschleifen und Elektropolieren beschrieben. Nach den ersten Elektropolierversuchen stellte es sich heraus, dass die Oberfläche nach dem Drehen vorpoliert werden muss, da weiterhin die Vorschubmarkierungen sichtbar sind. Von allen verfügbaren Behandlungsmethoden wurde Gleitschleifen mit keramischen Körpern gewählt, da dieses Verfahren die sphärische Oberfläche gleichmäßig poliert und eine große Anzahl von Hüftköpfen gleichzeitig zu bearbeiten lässt. Die Daten zeigen, dass nach dem Gleitschleifen die Oberfläche genug geschliffen ist und es völlig reicht einige Minuten zu elektropolieren. Schon nach 5 Minuten werden minimale Werte von $0,03\pm 0,005 \mu\text{m}$ erreicht.

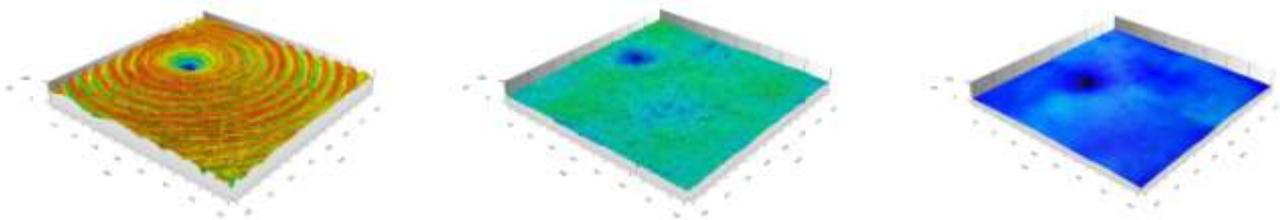


Abb. 6. Topografie nach dem Gleitschleifen (mitte) und Elektropolieren (Elektropolieren)

Eine Reihe von Messungen der Oberflächenspannungen wurde vor und nach jeder Art von Behandlung durchgeführt. Nach der Drehbearbeitung ändert sich die Spannung nur in einer Richtung, nämlich in Vorschubrichtung. Dieser Effekt kann durch die Deformation des Substratmaterials von der Schneidkraft erklärt werden.

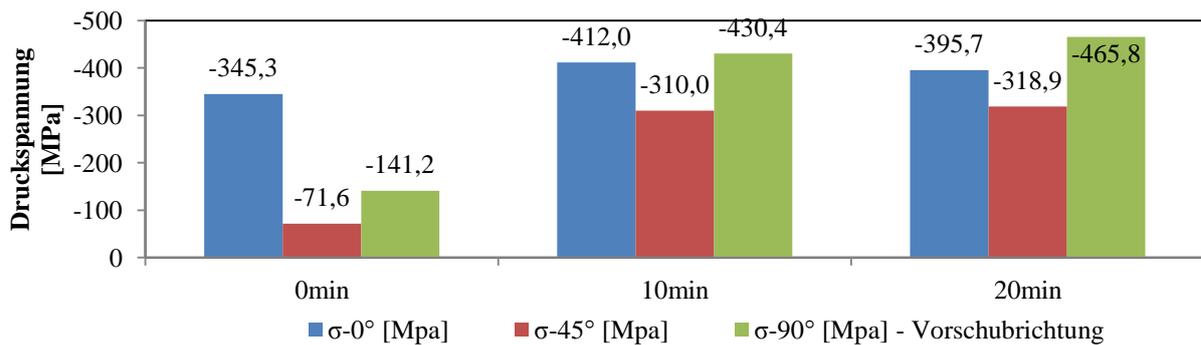


Abb. 7. Eigenspannung von elektropolierten Hüftköpfen aus CoCr (Mittelwert von 11 Messpunkten)

Wie aus den Daten in der Abb. 7 ersichtlich ist, sind die Spannungen in Vorschubrichtung nach 10 min elektrochemischem Polieren beeinflusst worden. Dies kann durch die Hypothese erklärt werden, dass das Röntgendiffraktometer Xstress 3000 für Eigenspannungsmessungen nur in die Tiefe von $1-30 \mu\text{m}$ eindringt, welche während der elektrochemischen Behandlung entfernt wird.

Gleitschleifen mit keramischen Körpern führt zum kleineren Materialabtrag als das elektrochemische Polieren und zu einer nicht wesentlichen Deformation der Bauteiloberfläche. Aus den Daten in Abbildungen 8 und 9 kann man feststellen, dass die restliche Eigenspannung nach dem Gleitschleifen höher ist als nach dem Elektropolieren (Druckspannung bzw. ca. 450 MPa und 600 MPa).

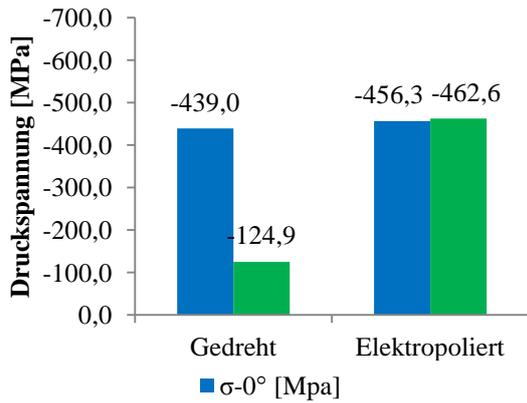


Abb. 8. Spannungen an der Oberfläche nach dem Elektropolieren

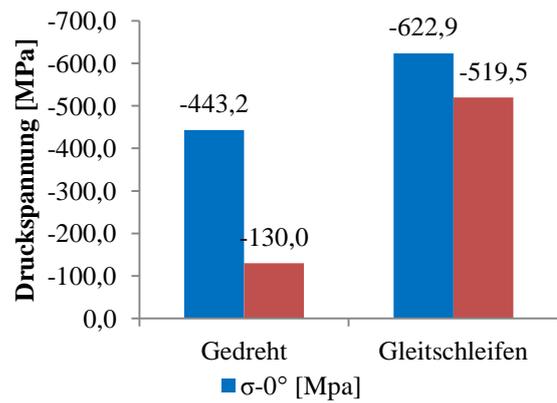


Abb. 9. Spannungen an der Oberfläche nach dem Gleitschleifen

Zusammenfassung

In der Abb. 10 wurden alle möglichst niedrigen Rauheitswerte zu jedem Verfahren zusammengefasst.

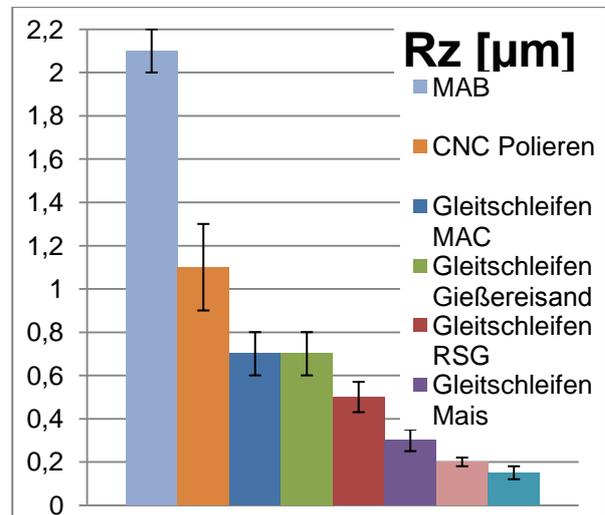
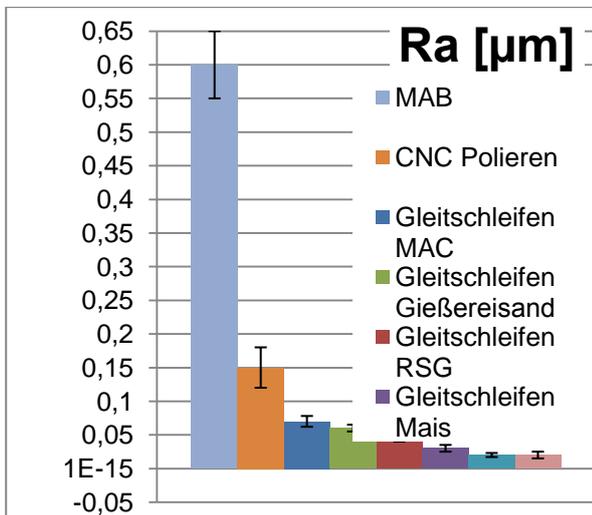


Abb. 10. Ra und Rz Werte nach jedem Bearbeitungsverfahren

Nach der Analyse aller Methoden kann man eine allgemeine Empfehlung für die Bearbeitungsketten formulieren. Nach dem ersten Schritt sollte die Rauheit verringert werden, ohne die hohe Genauigkeit der Kugelförmigkeit der Oberfläche zu verringern. Als Beispiel kann ein spezielles Werkzeug mit Kreisgegenform und einer Korngröße von ca. 20 µm verwendet werden. Oder für „Mass finishing“ Methoden - ein großer keramischer Körper mit höherer Abrasivität. Die zweite Stufe ist das Polieren mit feinen Körnern. Aber es ist wichtig eine gleichmäßige Entfernung des Materials in allen Bereichen einzuhalten. Für das „Mass finishing“ empfiehlt sich die Verwendung von abrasiven Keramik- oder Kunststoffkörpern. Die zweite Stufe ist notwendig, da ein direkter Übergang nach dem Schleifen zum Polieren nicht zu einer qualitativ hochwertigen Bearbeitung führt. Die Endstufe ist notwendig, um eine Spiegeloberflächenqualität zu erhalten. Diese beeinflusst die Form in keiner Weise, sondern nur die Qualität der Oberfläche. Zum Beispiel: Polieren mit Mais inkl. Polierpaste und Elektropolieren.

Literaturverzeichnis

1. Niemczewska-Wójcik, Magdalena & Wójcik, Artur. (2017). The machining process and multi-sensor measurements of the friction components of total hip joint prosthesis. Measurement. 116. 10.1016/j.measurement.2017.10.045.
2. Endoprothetik - Implantationen künstlicher Hüftgelenke in deutschen Krankenhäusern bis 2016 | Statistik. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/785136/umfrage/implantationen-kuenstlicher-hueftgelenke-in-deutschen-krankenhaeusern/> (Abruf: 15.04.2018).