

Optimierung der Oberflächengüte additiv gefertigter transmittierender Optiken mittels Dip-Coating

Y. Bauckhage* und A. Heinrich

*Zentrum für optische Technologien, Hochschule Aalen, Anton-Huber-Straße 21, 73430 Aalen

[mailto: yannick.bauckhage@hs-aalen.de](mailto:yannick.bauckhage@hs-aalen.de)

Manufacturing optical components with additive technologies is still a challenging process regarding the surface quality. Due to the layer-based printing process, the roughness of the optical surfaces is not sufficient. A dip coating process is evaluated to coat the printed object with an index matching material. The process is evaluated for simple test geometries and analyzed.

1 Einführung

Die additive Fertigung ermöglicht die Herstellung individualisierter, optischer Elemente für die Messtechnik. Als Herausforderung verbleibt jedoch der fertigungsbedingte hohe Rauheitswert der Oberflächen von mehreren Mikrometern. [1]

Die hohe Komplexität vieler Objekte erschwert eine Politur. Deshalb wird die raue Oberfläche mit dem Harz des Druckprozesses beschichtet. Durch die Oberflächenspannung des Harzes entsteht eine selbstglättende Wirkung der flüssigen Harzschicht. Nach der Aushärtung mittels ultravioletter Strahlung (405 nm) in einer inerten Stickstoffatmosphäre stimmen die Brechungsindizes der neuen Harzschicht und der gedruckten Optik überein. Der optische Phasenübergang wird so von der ursprünglich rauen Oberfläche zur glatten Oberfläche der Beschichtung verlagert. Ein definierter Harzauftrag wird durch ein Dip-Coating Verfahren (Tauchbeschichtung) realisiert.

2 Mechanisches Setup und Analysemethoden

Als Proben werden planparallele Plättchen mit 10 mm Kantenlänge und 1.5 mm Dicke mit einem Multi-Jet-Modeling Verfahren (MJM) [2] gedruckt (Abb. 1 links).

Um einen wiederholbaren und flexiblen Prozess zu gewährleisten wird eine Roboterkinematik verwendet. Diese kann die Probe zwischen einem Ultraschallbad, dem Beschichtungsharz, Analysemodulen und einer Stickstoffkammer zur Aushärtung bewegen und in die Reinigungs- und Beschichtungsmaterialien eintauchen (Abb. 1 rechts).

Zur Qualifikation der Prozessentwicklungsschritte werden drei Analyseverfahren genutzt: Ein Kameraaufbau mit Durchlichtbeleuchtung zur Detektion von Partikeln und Luftblasen. Eine visuelle Transmissionsprüfung durch Betrachten eines Streifenmusters durch die Probe. Eine Messung der Oberflächenrauheit mit einem Weißlichtinterferometer (WLI).



Abb. 1 Testprobe (links) und Versuchsaufbau (rechts)

3 Vorbereitung und Reinigung

Beim Druckprozess wird zwischen die Probe und die Bauplattform eine dünne Schicht wasserlösliches Supportmaterial gedruckt. Dies verhindert ein Festbacken der Probe an die Plattform. Um überhängende Strukturen zu drucken ist ebenfalls Supportmaterial notwendig.

An waagrechten Flächen die beim Druck mit Supportmaterial in Berührung kommen verbleiben jedoch trübe Ablagerungen auf der Probe (Abb. 2 A). Diese Ablagerungen und Partikel werden unter der Beschichtung eingeschlossen oder bilden Keimzellen für Luftblasen (Abb. 2 B und C). Für eine homogene und durchgehende Benetzung ist eine gute Grundreinigung deshalb essenziell.

Das Supportmaterial wird in einem Ultraschalltauchbad aus 37 prozentiger Salzsäure entfernt. Im Gegensatz zur Reinigung in Wasser löst sich das Supportmaterial dabei vollständig. Die Salzsäure verfärbt sich dabei leicht rötlich und kann als Indikator für Supportreste auf der Probe verwendet werden.

Die trüben Ablagerungen und Partikel lösen sich nicht in Salzsäure. Deshalb wird die Probe in vier aufeinanderfolgenden Isopropanoltauchbädern gereinigt. Da Isopropanol eine degenerative Wirkung auf das Material hat, wird die Reinigung durch Ultraschall beschleunigt und auf 60 s pro Tauchbad begrenzt. Abb. 2 D - F zeigen eine Probe vor und nach der Reinigung sowie nach dem Tauchen. Auf der beschichteten Probe ist noch eine Restwelligkeit zu erkennen, jedoch keine Partikel oder Luftblasen.

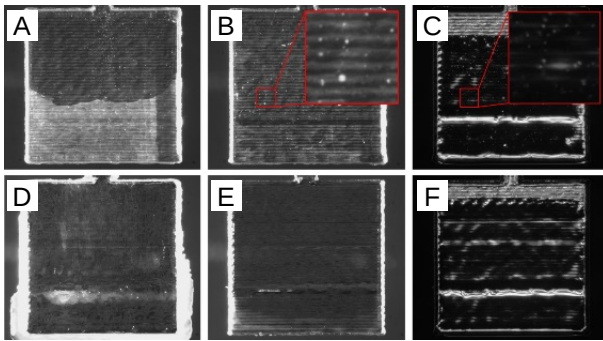


Abb. 2 Probe mit Ablagerungen (A), Partikeln (B), Beschichtung mit Partikeln (C), Supportmaterial (D), Gereinigt (E), Beschichtet (F)

4 Prozess und Tauchparameter

Beim Tauchprozess sind zwei Ergebnisparameter entscheidend. Die Glättung der Probe und deren Formhaltigkeit. Der beeinflussende Prozessparameter hierfür ist die Ausziehgeschwindigkeit. Eine geringe Ausziehgeschwindigkeit ($v_a = 0.1 \text{ mm/s}$) verursacht einen geringen Harzauftrag und dadurch eine gute Formhaltigkeit (Abb. 3 A). Der Glättungseffekt ist allerdings geringer. Andersherum verursacht eine dickere Harzschicht ($v_a = 0.5 \text{ mm/s}$) eine bessere Glättung. Es entsteht jedoch eine Verformung durch das ablaufende Harz (Abb. 3 B).

Durch eine Ablaufstruktur an der Unterkante der Proben kann das überschüssige Harz teilweise an die nicht relevante Unterkante gezogen, und die Formhaltigkeit verbessert werden (Abb. 4 C).

Ein weiterer Ansatz ist ein multipler Tauchprozess. Mehrere sehr dünne Schichten mit guter Formhaltigkeit werden nacheinander aufgetragen bis eine gute Glättung erreicht ist. Da das Harz eine bereits ausgehärtete Schicht nicht mehr gut benetzen kann, werden die Zwischenschichten in einer Sauerstoffatmosphäre ausgehärtet. Diese schränkt die Polymerisation an der Oberfläche ein (Abb. 3 D).

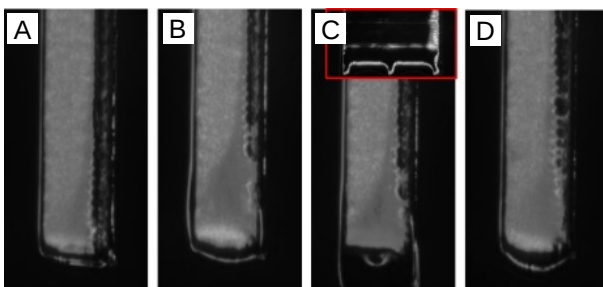


Abb. 3 Proben im Profil: $v_a = 0.1 \text{ mm/s}$ (A), $v_a = 0.5 \text{ mm/s}$ (B), $v_a = 0.5 \text{ mm/s}$ + Ablaufstruktur (C), 3x Beschichten mit $v_a = 0.1 \text{ mm/s}$ (D)

5 Ergebnisse

Transmission: In Abb. 4 ist ein unbeschichtetes (links) und ein beschichtetes Plättchen (rechts) über einem Streifenmuster zu sehen. Nach dem Beschichten werden 100 Linienpaare pro Zentimeter

aufgelöst. Vor dem Beschichten ist dies durch die druckbedingte raue Oberfläche nicht möglich.

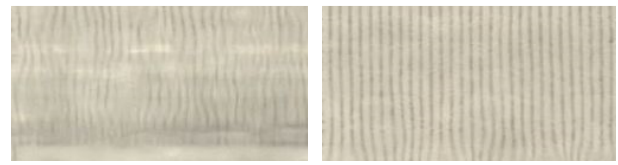


Abb. 4 100 LP / cm durch unbeschichtete (links) und beschichtete Probe (rechts)

Oberflächenrauheit: Die Auswirkungen der Tauchbeschichtung werden durch eine plankonvexe Linse mit 100 mm Krümmungsradius und 10 mm Durchmesser getestet. Die Oberfläche der unbeschichteten Linse ist in Abb. 5 zu sehen. Die gekrümmte Fläche ist durch den Druckprozess in fünf 30 μm dicke Schichten diskretisiert.

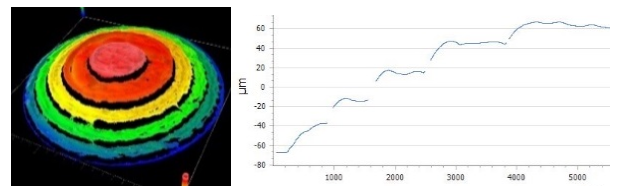


Abb. 5 WLI-Messung der unbeschichteten Linse

Abb. 6 zeigt dieselbe Linse nach der Tauchbeschichtung ($v_a = 0.5 \text{ mm/s}$). Die Schichten sind durch die neue Harzschicht nicht mehr zu erkennen. Es verbleibt jedoch eine Formabweichung durch das Abfließen des Harzes.

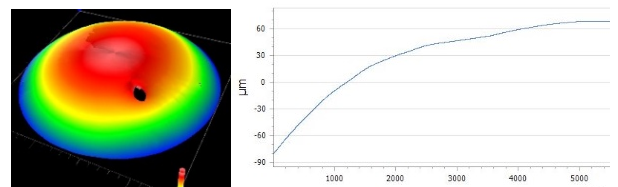


Abb. 6 WLI-Messung der beschichteten Linse

6 Ausblick

Herausforderungen verbleiben beim Beschichten von Proben mit sehr schmalen und tiefen Rillen. Hier kommt es zu unzureichender Benetzung und in der Folge zu Lufteinschlüssen. Lösungsansätze sind die Verringerung der Viskosität und eine Aktivierung der Substratoberfläche.

Um die Formabweichungen zu reduzieren, kann das Ablaufverhalten des Harzes bereits beim Design der Geometrien berücksichtigt werden.

Literatur

- [1] A. Heinrich, M. Rank, A. Suckow, Y. Bauckhage, P. Rößler, J. Lang, F. Shariff, S. Pekrul: Additive Manufacturing of optical components, Advanced Optical Technologies vol. 5, 293-301 (2016)
- [2] U. Berger, A. Hartmann, D. Schmid: Additive Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, Verlag Europa Lehrmittel (2013)