SUB-MI-T

Sub-Micron-Tooling: Ein neues Verfahren zur Herstellung metallischer Werkzeuge mit Strukturauflösung im Nanometerbereich

Programm / Ausschreibung	COIN, Kooperation und Netzwerke, IraSME 29. Ausschreibung	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.10.2022	**Projektende**	30.09.2025
Zeitraum	2022 - 2025	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 95.956		
Keywords	Formgebung; Kunststoff; Tooling; Nanofabrication; Two-photon 3D Printing		

Projektbeschreibung

Sub-mikrometer-strukturierte Oberflächen werden für Bauteile und Produkte in verschiedenen Hochtechnologie-Anwendungsbereichen immer wichtiger. Von der Sensortechnik, über Optik bis hin zur Funktionalisierung alltäglicher Produkte werden sub-Mikrometerstrukturen benötigt. Sie ermöglichen gezielte Lichtstreuung, Farbenvielfalt ohne Farbstoffe sowie wasserabweisende, antibakterielle oder nicht reflektierende Oberflächen. Additive Fertigungsverfahren haben sich in den letzten Jahren sehr weit entwickelt und sind mittlerweile in der Lage, hochauflösende Strukturen im sub-Mikrometerbereich zu erzeugen. Da sich additive Fertigungsverfahren jedoch nicht für großtechnische Massenfertigung eignen, stellen die konventionellen Herstellungsverfahren wie Ultra-Precision Machining und galvanische Abformverfahren bis heute die einzigen Möglichkeiten dar, Formwerkzeuge für industriell etablierte, massenmarkttaugliche Replikationsprozesse der Kunststoffverarbeitung, wie z.B. Spritzguss-, Heißprägen und Rolle-zu-Rolle-Strukturierung, herzustellen. Dabei stellt die Herstellung von Strukturen im sub-Mikrometerbereich in Metall für Formwerkzeuge nach wie vor eine der größten Herausforderungen dar. Diese Strukturen sind mitunter nur unter hohem Kosten und Zeitaufwand herzustellen, was die Formwerkzeuge enorm teuer macht. Ließe sich die flexible, kostengünstige und schnelle additive Fertigung mit einem hochauflösenden Metall-Replikationsprozess verbinden, könnte dies die Kunststoffverarbeitung z.B. bei der Serienherstellung Diffraktiver Optischer Elemente und ähnlicher Hochpräzisionskomponenten revolutionieren.
Ziel dieses Vorhabens ist es daher, Formeneinsätze aus Metall mit Strukturdetails im Sub-Mikrometerbereich mittels eines replikativen Prozesses herzustellen. Hierzu sollen durch 2-Photonen-Lithographie erzeugte Bauteile als Vorlage dienen. Der Vorteil der Polymerreplikation liegt darin, dass aus einem potentiell hochkomplexen Formwerkzeug einfach und schnell eine hohe Anzahl von Replikaten hergestellt werden kann. Das Formwerkzeug hingegen bleibt ein Unikat, dessen Herstellung aufwändig und teuer ist, speziell wenn es um hochaufgelöste Strukturen im einstelligen Mikrometerbereich und darunter geht. Die Verwendung eines Replikationsverfahrens zur Herstellung von Sub-Mikrometerstrukturen stellt hierbei eine neues Verfahren in Aussicht, mit dem sich Kosten reduzieren und die Flexibilität der Werkzeugherstellung signifikant erhöhen lassen. Der Vorteil des Vorgehens dabei ist, dass die Herstellung der Sub-Mikrometerstrukturen nicht im Metall selbst erfolgt, sondern in einer Urform aus einem Material, das für die hochauflösende Strukturierung besser zugänglich ist, beispielsweise

einem Photoresist. Diese Urform wird im nächsten Schritt in ein temperaturstabiles Material überführt, von dem im letzten Schritt eine Metallform repliziert wird. Auf diese Weise wird die Herstellung des Abformwerkzeuges selbst zu einer Abformung. Das Werkzeug lässt sich somit zum einen bei Abnutzung schnell und kostengünstig durch eine weitere Replikation ersetzen, zum anderen können Designveränderungen schnell umgesetzt werden, da lediglich die Urform angepasst werden muss. Als temperaturfeste Abformmatrix sollen hierbei sogenannte Glassomer®-Material zum Einsatz kommen. Glassomere® sind Glasnanopartikelkomposite, die zur Herstellung von hochreinen und präzisen Bauteilen aus Quarzglas eingesetzt werden können. In Vorarbeiten zu diesem Projektantrag wurde die prinzipielle Machbarkeit dieses Prozesses bereits demonstriert. Hierbei kamen allerdings nur Urformen mit geringer Auflösung zum Einsatz, da die notwendigen Verfahren zur Herstellung hochopräziser Urfomen (hier: 2-Photonen-Lithographie, 2PP) nicht zur Verfügung standen. Dies ist Gegenstand des vorliegenden Projektantrages. Mittels 2PP sollen Urformen mit Auflösungen im Submikrometerbereich hergestellt werden, die laterale Abmaße von mehreren cm² aufweisen. Hierbei sind vor zunächst Prozessparameter zu optimieren, um das sogenannte Stitching, also das Strukturieren großer Flächen, zu ermöglichen. Darüber hinaus müssen die Glassomer®-Rezepturen für die Replikation von Strukturen im sub-mikrometer-bereich weiterentwickelt werden. Im Bereich der Metallreplikation sollen die Eigenschaften verschiedener Metalllegierungen, speziell amorpher Metalle, getestet werden. Ziel ist es, eine Masterstruktur in optischer Qualität und mit strukturierter Oberfläche im additiven Fertigungsverfahren zu erzeugen und in einen funktionsfähigen Formeinsatz umzuwandeln, der dann unter Realbedingungen getestet werden kann.
Die Schwerpunkte des Projektes umfassen somit:
• Generierung der Urformen mittels Additiver Fertigungstechnologie mit Fokus auf 2PP (UpNano GmbH, AT)
• Replikation in Glassomer®-Materialien sowie die Überführung der Replikate in Quarzglas (Glassomer GmbH, DE)
• Herstellung des metallischen Formwerkzeugs mittels Replikation von diesen Quarzglasbauteilen (IMTEK, Universität Freiburg, DE)
• industrielle Polymerreplikation unter Verwendung dieser Formwerkzeuge in Spritzguss und Heißprägen (Glassomer GmbH, DE)
• Entwicklung eines begleitenden Prüfverfahrens für die Präzision der abgeformten Strukturen unter anderem zur prozessbegleitenden Qualitätskontrolle von Einsätzen und Formteilen (KIMW Forschungs-GmbH, DE)

Abstract

Sub-micrometer structured surfaces are becoming increasingly important for components and products in various high-tech applications. From sensor technology and optics to the functionalization of everyday products, sub-micrometer structures are needed. They enable targeted light scattering, color diversity without dyes, and water-repellent, antibacterial or non-reflective surfaces. Additive manufacturing processes have gone through a tremendous evolution in recent years and are now capable of producing high-resolution sub-micrometer structures. However, since additive manufacturing processes are not suitable for large-scale mass production, conventional manufacturing processes such as ultra-precision machining and electroforming processes are still the only options for producing molds for industrially established, mass-market replication processes in plastics processing, such as injection molding, hot embossing roll-to-roll structuring. In this context, the production of sub-micrometer structures in metal for molding tools remains one of the greatest challenges. These structures can sometimes only be produced at great cost and time, making the molds enormously expensive. If flexible, cost-effective and fast additive manufacturing could be combined with a high-resolution metal replication process, this could revolutionize plastics processing, e.g. for the series production of diffractive optical elements and similar high-precision components.
The aim of this project is therefore to produce mold inserts from metal with structural details in the sub-micrometer range

using a replicative process. For this purpose, components produced by 2-photon lithography will serve as templates. The advantage of polymer replication is that a large number of replicas can be produced easily and quickly from a potentially highly complex molding tool. The molding tool, on the other hand, remains a unique item that is time-consuming and expensive to produce, especially when it comes to high-resolution structures in the single-digit micrometer range and below. The use of a replication process to produce sub-micrometer structures offers the prospect of a new method that can reduce costs and significantly increase the flexibility of mold production. The advantage of this approach is that the sub-micrometer structures are not directly produced in the metal itself, but in a master mold made of a material that is more accessible for high-resolution structuring, for example a photopolymer. In the next step, this master mold is converted into a temperature-stable material, from which a metal mold is replicated in the final step. In this way, the production of the molding tool itself becomes a molding process. On the one hand, the mold can be quickly and inexpensively replaced by another replication if it becomes worn, and on the other hand, design changes can be implemented quickly because only the original mold made from photopolymer needs to be adapted. So-called Glassomer® materials are to be used as a temperature-resistant impression matrix. Glassomers® are glass nanoparticle composites that can be used to manufacture high-purity and precise components from quartz glass. The basic feasibility of this process has already been demonstrated in preliminary work for this project proposal. However, only low-resolution master molds were used, since the necessary processes for producing high-precision master molds (here: 2-photon lithography, 2PP) were not available. This is the subject of the present project proposal. By means of 2PP, master forms with resolutions in the submicrometer range are to be produced, which have lateral dimensions of several cm². First of all, process parameters must be optimized to enable structuring of large areas by highly precise stitiching. In addition, the Glassomer® formulations must be further developed for the replication of structures in the sub-micrometer range. In the field of metal replication, the properties of various metal alloys, especially amorphous metals, are to be tested. The aim is to generate a master structure in optical quality and with a structured surface using the additive manufacturing process and to convert it into a functional mold insert that can then be tested under real conditions.

The key points of the project thus include:

- Generation of master molds using additive manufacturing technology with a focus on 2PP (UpNano GmbH, AT)
- Replication in Glassomer® materials as well as the transfer of the replicas into quartz glass (Glassomer GmbH, DE)
- production of the metallic molding tool by replication from these quartz glass components (IMTEK, Universität Freiburg, DE)
- industrial polymer replication using these molds in injection molding and hot stamping processes (Glassomer GmbH, DE)
- development of an accompanying test procedure for the precision of the molded structures, among other things for in-process quality control of inserts and molded parts (KIMW Forschungs-GmbH, DE)

Projektpartner

- UpNano GmbH