

Spinndüsen für die feinsten Mikrofasern der Welt

Lasergefertigte Spinndüsen ermöglichen Herstellung feinsten Cellulose-Supermikrofasern

Am Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Uni Stuttgart werden Spinndüsen mit lasergefertigten Mikrobohrungen hergestellt, mit denen im Nass-Spinn-Verfahren nun erstmals Cellulose-Supermikrofasern mit Filamentfeinheiten von 0,2 dtex (0,2 g pro 10 km) gesponnen werden konnten – die feinsten je direkt gezogenen Cellulosefasern der Welt.

Der Begriff „Mikrofaser“ ist eine Sammelbezeichnung für Polymerfasern aus Polyester, Polyacryl, Polyamid, Cellulose und anderen Materialien, deren Einzelfäden feiner sind als 1 dtex. Das Maß dtex wird genutzt, um die längenbezogene Masse eines Einzelfadens anzugeben. Dabei entspricht 1 dtex 1 g pro 10.000 m Faserlänge. Die meisten Mikrofasern besitzen Faserfeinheiten (Titer) von 0,5 - 0,7 dtex, was einem halben Durchmesser von Seidenfasern entspricht. Feinere Fasern mit Feinheiten unter 0,3 dtex (Durchmesser ca. 3 µm) werden als Supermikrofasern bezeichnet. Mikro- und Supermikrofasern werden u. a. zur Herstellung von Kleidung, Haushaltstextilen und Reinigungstüchern verwendet.

Bislang werden Supermikrofasern in einem zweistufigen Prozess als Bikomponentenfasern hergestellt, indem das eigentliche Fasermaterial zunächst gemeinsam mit einer Matrixkomponente gesponnen wird, welche in einem zweiten Prozessschritt chemisch gelöst werden muss. Die so gefertigten Supermikrofasern liegen in Form loser, zufällig angeordneter Fasern vor und können dementsprechend nur zu Vliesstoffen mit ebenso zufälliger Textilstruktur verarbeitet werden.

Beim Direktspinnverfahren werden die Faserfeinheiten vor dem Spinnversuch festgelegt. Die Filamentfeinheit wird hauptsächlich durch die Düsenparameter,

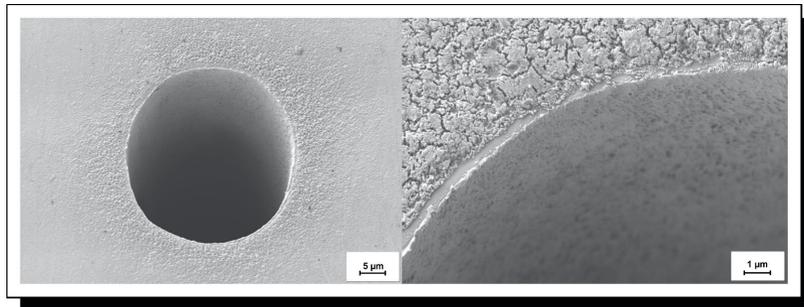


Abb. 2: REM-Aufnahmen einer Mikrobohrung von der Laseraustrittsseite mit einem Durchmesser von 25 µm und einer Lochtiefe von 240 µm.

wie z. B. Lochzahl und Bohrungsdurchmesser, bestimmt. Bei bisherigen Spinnversuchen mit den Systemen Cellulose/EMIM-Acetat und Cellulose-2.5-Acetat/Aceton konnten unter Einsatz konventionell gefertigter Düsen mit Lochdurchmessern von 40 µm Feinheiten bis 0,9 dtex erzielt werden, was bisher die verfahrenstechnische Grenze darstellt.

Bei der Fertigung von Mikrobohrungen mit Durchmessern ≤ 100 µm in metallischen Werkstücken konkurrieren eine Reihe verschiedener Fertigungstechniken. Dies sind vor allem die Mikrofunkenerosion, das Mikrostanzen, das mechanische Bohren, verschiedene chemische Verfahren sowie Kombinationen aus den genannten Einzeltechnologien. Bohrungen im Durchmesserbereich bis hinunter zu 25 µm, wie sie als Spinndüsenbohrungen für das Direktspinnen von Supermikrofasern benötigt werden, kön-

nen angesichts der geforderten Toleranzen und Materialstärken mit keinem der genannten Verfahren hergestellt werden. Das Senkerodieren mit rotierender Elektrode (µEDM) erreicht minimale Durchmesser um 60 µm, während das Mikrostanzen zwar Durchmesser bis 15 µm ermöglicht, dies aber nur in Folien mit Dicken im Bereich des Durchmessers (Aspektverhältnis 1:1). Das direkte Spinnen von Supermikrofasern erfordert dagegen Spinndüsenbohrungen bis hinunter zu 25 µm bei Materialstärken bis zu 300 µm.

Mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung können Intensitäten über 10^{12} W/cm² erreicht werden. Dadurch erfolgt ein Abtrag des Materials vor allem in der Dampfphase, was zu einem geringen Wärmeeintrag ins Bauteil und damit zu einer geringen Wärmeschädigung führt. Dies macht den Laser zu einem höchst präzisen Werkzeug. Darüber hinaus sind durch die kraftfreie Bearbeitung äußerst geringe Stegbreiten zwischen den einzelnen Bohrungen darstellbar.

Im Rahmen des Projektes „Top Spin“ des Forschungsprogramms „Umwelttechnologieforschung“ der Baden-Württemberg Stiftung konnten erste Spinndüsen-Prototypen für das Nass-Spinn-Verfahren sowie für das Trocken-Nass-Spinnverfahren hergestellt werden. Für die Herstellung der Nass-Spinn-Düsen wurden Mikrobohrungen in einen Düsenrohling aus Gold-Platin-(AuPt)-Legierung mit

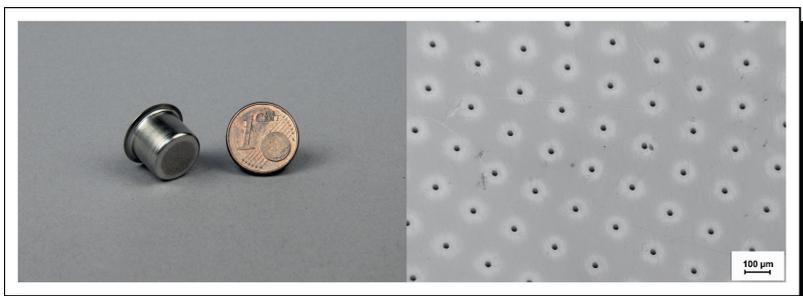


Abb. 1: Lasergefertigte Nass-Spinndüse mit 1950 Bohrungen (mittlerer Durchmesser der Bohrungsaustrie 25 µm) (links) sowie REM-Aufnahme des Bohrungsrasters (rechts).

einer Materialstärke von 240 µm gefertigt (Abb. 1). Bei einem ersten Prototyp wurden 1008 zylindrische Mikrobohrungen auf einer Fläche von 21,2 mm² gefertigt. Der Durchmesser einer Bohrung lag im Mittel bei 33 µm. Weitere Prototypen wurden mit 1950 positiv konischen Bohrungen auf einer Fläche von 60,8 mm² hergestellt. Der Bohrungsaustritt konnte hierbei auf einen Durchmesser von 25 µm reduziert werden (Abb. 2).

Neben den Nass-Spinndüsen wurden darüber hinaus erste Trocken-Nass-Spinndüsen aus Edelstahl 1.4310 mit einer Materialstärke von 340 µm und 500 µm hergestellt. Die bearbeitete Fläche variiert von 130 - 620 mm². Die für den Spinnprozess geforderten Durchmesser der Bohrungsaustritte liegen bei 40 - 60 µm. Bedingt durch die größere Querschnittsfläche der Bohrungsaustritte liegt die Anzahl der Bohrungen pro Düse zwischen 150 und 300. Bezüglich Rundheitsabweichung und Reproduzierbarkeit der Austrittsfläche besteht noch Forschungsbedarf. Die Hauptgründe hierfür liegen vor allem in den zu hohen Fertigungstoleranzen der Spinndüsenrohlinge, insbesondere bzgl. der relativ großen Bearbeitungsfläche (Düsenboden), und in den unterschiedlichen Gefügestrukturen des Düsenmaterials.

Für die durchgeführten Untersuchungen stand eine Mikrobearbeitungsanlage zur Verfügung, die mit einem Pikosekunden-Lasersystem, vollautomatischer Wendelbohreroptik und einem 5-Achssystem mit absoluter Positioniergenauigkeit im Raum < 1 µm ausgestattet ist. Die im Jahr 2004 vom IFSW entwickelte Wendelbohreroptik (WBO) ist eine systematische Komponente für das Mikropräzisionsbohren mit kurz und ultrakurz ge-

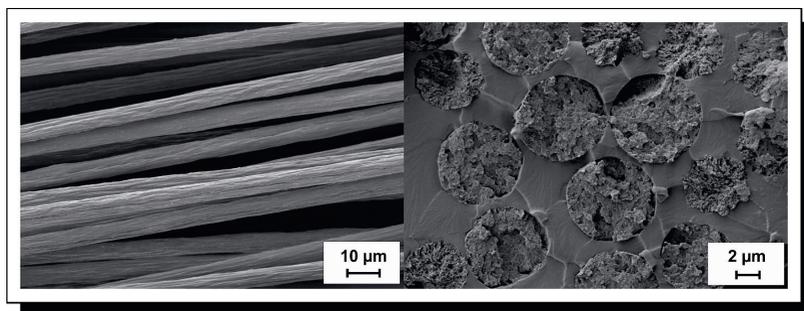


Abb. 4: Oberflächenaufnahme (links) sowie Querschnitt (rechts) eines Bündels von hergestellten Supermikrofasern aus Cellulose-2.5-acetat (0,2 dtex).

pulster Laserstrahlung (Abb. 3) [1]. Sie bewegt den Laserstrahl auf einer kreisförmigen Bahn über das Werkstück. Durch eine Strahlanstellung beim Bohren ist es möglich, sowohl zylindrische Bohrungen als auch Bohrungen mit positiver (DE > DA) oder negativer (DA > DE) Konizität zu erzeugen. Die Mikrobohrungen wurden mit einer Wellenlänge von 532 nm gefertigt. Für die Analyse der Strahleigenschaften sowie der adäquaten Auswertung der Bearbeitungsergebnisse stehen moderne Messeinrichtungen (kamerabasierte Strahl diagnose nach DIN ISO 11146, Mikroskopie, volldigitales REM mit SE- und BSE-Detektoren sowie EDX) zur Verfügung. Mit Hilfe der lasergefertigten Spinn düsen wurden am Institut für Textilchemie und Chemiefasern (ITCF) in Denkendorf Spinnversuche zur Herstellung von Mikrofasern und Supermikrofasern auf Cellulosebasis durchgeführt. Bei den Spinnversuchen mit den Systemen Cellulose/[EMIM][OAc] (1-Ethyl-3-methylimidazoliumacetat) und Cellulose-2.5-acetat/Aceton konnten unter Einsatz von Düsen mit Bohrungsdurchmesser von 25 µm erstmals endlose Supermikrofasergarne mit Filamentfeinheiten von 0,2 dtex reproduzierbar gefertigt werden

(Abb. 4). Aufbauend auf den erzielten Ergebnissen wurden durch systematische Variation der Verarbeitungs- und Spinnparameter die Bedingungen zur Herstellung von Mikro- und Supermikrofasern erarbeitet. Diese neuen Cellulosefasern bilden die Basis für die Entwicklung von neuen textilen Produkten, die innovative Anwendungen im Medizin-, Hygiene- und technischem Sektor finden können.

Referenzen:

[1] Kraus, M.; Collmer, S.; Sommer, S.; Dausinger, F.: Microdrilling in steel with frequency-doubled ultrashort pulsed laser radiation. JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering 3 (2008) 129-134

Gefördert von:



Autoren / Kontakt:

Dipl.-Phys. Anne Feuer
Institut für Strahlwerkzeuge, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 67882
Fax: +49 (0)711 685 66842
E-Mail: anne.feuer@ifsw.uni-stuttgart.de

Dr. Denis Ingildeev
ITCF Denkendorf
Körschtalstraße 26
73770 Denkendorf
Tel.: +49 (0)711 9340 106
E-Mail: denis.ingildeev@itcf-denkendorf.de

Redaktion:

Dipl.-Phys. Jan-Philipp Negel
Tel.: +49 (0)711 685 69721
E-Mail: jan-philipp.negel@ifsw.uni-stuttgart.de

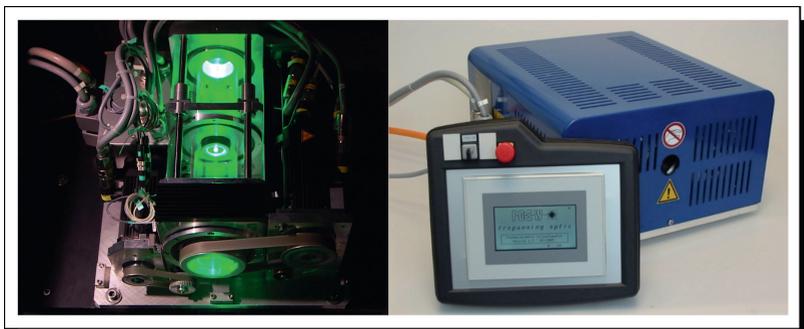


Abb. 3: Fotos der am IFSW entwickelten vollautomatischen Wendelbohreroptik.