

52 Technologie & Applikation: Komponenten

Laseroptiken für die Innenbeschichtung von Rohren

Ein modulares Lasersystem ermöglicht eine gleichmäßige Innenbeschichtung von Rohren und Hohlkörpern zum Verschleiß- und Korrosionsschutz. Dazu werden nach Computervorgaben in Einzelfertigung hochwertige Linsen hergestellt.

Copyright AT-Fachverlag GmbH www.photonik.de



Bild 1: Die Innenbeschichtungsoptiken sind modular aufgebaut

Nutech, Laser Components

Wenn Rohre oder Hohlkörper mit Korrosionsschutz- oder Verschleißschutzschichten versehen werden sollen, lassen sich die Innenseiten nicht mit den herkömmlichen Werkzeugen bearbeiten. Diese Aufgabe stellt daher eine besondere Herausforderung dar. Nutech entwickelt Laserstrahlwerkzeuge – sogenannte Innenbeschichtungsoptiken –, die bei Öffnungen ab einem Durchmesser von 25 mm eine gleichmäßige Laserauftragsschweißung garantieren können. Dabei gleicht selten eine Optik der anderen, denn neben dem Durchmesser und der Eintauchtiefe müssen bei der Entwicklung auch der Auftragswerkstoff und die Laserquelle des Kunden berücksichtigt werden. Zudem muss die Technologie unter anspruchsvollen Umweltbedingungen bestehen: Geringe Arbeitsabstände, hohe Umgebungstemperaturen und Luftverunreinigungen durch Schmauch und Pulver führen dazu, dass das Werkzeug stark beansprucht wird.

Nutech hat zu diesem Zweck ein modulares System entwickelt (**Bild 1**). Der Laserstrahl wird meist über eine Faser in

das Werkzeug eingespeist und dann mit Linsen und Spiegeln kollimiert, fokussiert und umgelenkt. Am Ende der bis zu 2 m langen Innenbeschichtungsoptik trifft der Strahl auf der zu bearbeitenden Oberfläche mit dem Beschichtungspulver

zusammen, das zeitgleich von der Seite über eine Düse eingeblasen wird (**Bild 2**). So wird die gleichmäßig auf die Innenseite des zu bearbeitenden Objekts aufgetragene Pulverschicht mit Leistungen von mehreren Kilowatt verschmolzen. Die maximale Prozessleistung ergibt sich dabei aus der möglichen Größe des Werkzeugs. Je größer die Öffnung für das Werkzeug, desto höher ist die mögliche Prozessleistung und somit auch die Auftragsrate oder gehärtete Fläche pro Zeiteinheit.

Das richtige Design

Entscheidend für diesen Aufbau ist die Auswahl der richtigen Linsen für das optische System. Sie müssen so ausgelegt sein, dass der Strahl möglichst verlustfrei die Austrittsposition erreicht. Das ist besonders bei der für Industrielaser ungewöhnlich langen Freistrahldistanz von bis zu 2 m wichtig, um die Leistungsdichte auf dem gewünschten Niveau zu halten. Auch die Art des ein-



Bild 2: Ein Laserstrahl verbindet das Beschichtungspulver mit der Rohrinne

photonik 2/3.2020

Bilder: Nutech



Bild 4: Nur nach einer gründlichen Ausgangskontrolle kann das Produkt die Firma verlassen

gekoppelten Lasers muss berücksichtigt werden. Unterschiedliche Lasertypen und die damit verbundenen Strahlparameterprodukte erfordern die Auslegung von angepassten Strahlengängen.

Beim Design des optischen Systems lassen sich vier Faktoren beeinflussen: Radius, Dicke und Krümmungsradius der Einzellinsen sowie deren Abstände zueinander. Dazu kommen noch die optischen Eigenschaften durch die dielektrische Beschichtung der Linsen. Auf dieser Basis wird am Computer ein Modell erstellt, dessen optischer Aufbau sich je nach Design der Innenbeschichtungslanze ändert.

Theoretisch können alle Formen von sphärischen Linsen vorkommen. Entscheidend ist, dass der Strahl gut fokussiert ist, wenn er am Ende der Übertragungsstrecke auf die Werkstückoberfläche trifft; denn hier muss die für den Prozess erforderliche Leistungsdichte erreicht werden. Auch die Stabilität der Linsen ist ein wichtiger Aspekt. Bei hohen Laserleistungen wärmen sich auch hochwertige Linsen auf und das Material dehnt sich aus. Da Quarzglas und die umgebenden Metallfassungen unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten besitzen, darf die Linse nicht zu eng eingefasst sein, weil sie sonst im Betrieb beschädigt werden könnte. Andererseits muss die Positionsgenauigkeit eingehalten werden.

Kleine Mengen erlauben höchste Qualität

Hat man sich aufgrund der am Computer errechneten Spezifikationen auf ein Linsendesign geeinigt, werden die Linsen von Laser Components gefertigt (**Bild 3**). Die Schleif- und Poliermaschinen sind auf Substrate mit Durchmes-

sern von 12,7 bis 55 mm ausgerichtet. Anders als bei der industriellen Massenfertigung wird jeder Substratrohling einzeln in die Schleifmaschine eingespannt und diese für jeden Linsentyp gesondert eingestellt. In einem bestimmten Anstellwinkel wird ein sogenanntes Topfschleifwerkzeug angesetzt – ein offener Zylinder mit diamantbeschichteten Schneidkanten. Im Laufe des Schleifprozesses trägt das rotierende Werkzeug das Substratmaterial so ab, dass eine gekrümmte Oberfläche entsteht. Im Nachgang wird die geschliffene Fläche poliert. Dabei muss für jeden Durchmesser und Krümmungsradius ein eigenes Polierwerkzeug verwendet werden. So hat sich im Laufe der Jahre bereits ein Bestand an mehreren hundert Werkzeugen angesammelt.

Ein wichtiger Aspekt bei der Produktion von Einzelstücken und kleinen Mengen ist die Qualitätsprüfung. Es ist möglich, jede Linse einzeln auf Unregelmäßigkeiten zu testen. Dazu wird sie nach dem ersten Polierschritt in einem Hochleistungsinterferometer untersucht. Eine Software zeigt an, wo und wie stark die untersuchte Linse von der Idealform abweicht. Die Daten werden direkt an eine MRF-Maschine (Magneto-Rheological Finishing) übermittelt, wo jeder Fehler individuell nachbearbeitet wird, so dass am Ende eine nahezu perfekt geformte Linse mit einer maximalen Abweichung von $\lambda/10$ entsteht. Auf Wunsch sind auch Genauigkeiten bis $\lambda/20$ möglich.

Die erforderliche Präzision wird durch das magnetorheologische Polierverfahren erreicht: Das Werkstück ist fest über einem Rad installiert, das mit magnetorheologischer Flüssigkeit überzogen ist. Diese sogenannte MR-Flüssigkeit ändert unter dem Einfluss von Ma-

gnetfeldern ihre Viskosität und verfestigt sich innerhalb von Millisekunden, sodass das Poliermaterial mit einer Subapertur kurz die Linsenoberfläche berührt und eine hauchdünne Glasschicht abgetragen wird. Den Abtrag regelt ein Computer anhand der im Interferometer ermittelten Oberflächenstruktur.

Optimierung durch technische Flexibilität

Nach einer sorgfältigen Reinigung in der Multifrequenz-Ultraschallwaschanlage werden die polierten Linsen einer erneuten Kontrolle unterzogen, um sicherzugehen, dass ihre Oberflächen für die nun folgende Beschichtung bestmöglich präpariert sind.

Auch beim Beschichtungsprozess kann Laser Components zwischen verschiedenen Verfahren wählen – jedes mit seinen eigenen Vor- und Nachteilen. So lassen sich zwar mittels Ionenstrahlputtern besonders komplexe Schichtsysteme herstellen; die dadurch induzierten Spannungen können jedoch dazu führen, dass sich die Linsen und Spiegel verformen. Dieser Effekt tritt bei der klassischen e-Beam-Beschichtung kaum auf; dafür können dort in den weniger kompakten Beschichtungen Hohlräume entstehen, die zu Wassereinlagerungen führen und so eine temperaturabhängige spektrale Verschiebung verursachen. Diese Flexibilität bei der Prozessauswahl führt zu einem optimierten Ergebnis.

Der Herstellungsprozess endet mit einer weiteren Qualitätskontrolle, bei der alle Oberflächenunvollkommenheiten in Substrat und Beschichtung von erfahrenem Fachpersonal erfasst und bewertet werden (**Bild 4**). mn ■

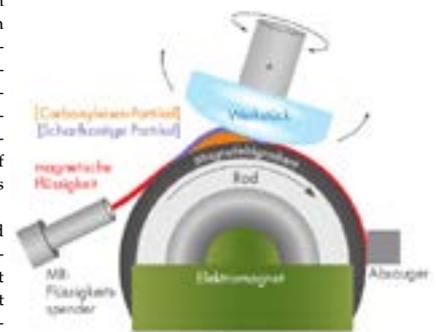


Bild 3: Magnetorheologisches Polierverfahren

photonik 2/3.2020

Fachartikel, photonik 2/3.2020, Seite 52-53, „Laseroptiken für die Innenbeschichtung von Rohren“

Bilder: Laser Components

Copyright AT-Fachverlag GmbH www.photonik.de