Maximale Strahlungsintensität durch endverschmolzene Glasfaserbündel

Bei der flächenorientierten UV-Lichthärtung von Klebzonen werden häufig Glasfaserbündel oder Flüssiglichtleiter zur Strahlungsübertragung eingesetzt. Anwender mussten bisher bei beiden Komponenten spürbare Nachteile in Kauf nehmen. Endverschmolzene Faserbündel ermöglichen es, die volle Leistungsintensität der Strahlquelle zu nutzen.

Carsten Gerth, Bronislav Hracek

In der industriellen Materialbearbeitung wird UV-Licht bereits seit vielen Jahren erfolgreich zum Härten von Klebstoffen, aber auch von Beschichtungen und Vergussmassen eingesetzt. Die Anwendungsbereiche sind vielseitig und reichen von der Möbelherstellung über die Additive Fertigung bis hin zur Automobilbranche. Der wichtigste Vorteil des Verfahrens liegt auf der Hand: Die Härtung kommt ohne Lösungsmittel aus und kann mit Hilfe der Lichtquelle sehr kontrolliert realisiert werden. Um eine sichere und zuverlässige Aushärtung zu erzielen, müssen die ermittelten UV-Härtungsparameter jedoch sehr präzise umgesetzt werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Wahl des Lichtleiters, der die UV-Strahlung von der Lichtquelle zum Werkstück transportiert. Anwendungen, die eine besonders enge Fokussierung erfordern, werden zum Beispiel meist unter Einsatz von Glasfasern umgesetzt. Sie ermöglichen eine verlustarme Leistungsübertragung und eignen sich optimal für eine gezielte punktuelle Bestrahlung.
Beim großflächigen Verkleben transparenter Werkstücke – beispielsweise zur Befestigung von Front- und Heckscheiben im Automobilbau – sind Glasfasern hingegen ungeeignet. Hier kommen acrylatbasierte Klebstoffe zum Einsatz, deren Photoinitiatoren unter UV-Licht-Bestrahlung in freie Radikale zerfallen und so die Bildung vernetzter und thermoplastischer Polymerketten anregen. Dabei gilt: Je höher die Intensität der UV-Strahlung ist, desto schneller entstehen die materialhärtenden Polymerketten. Deshalb müssen die Klebflächen durch eine konzentrierte und homogene Bestrahlung mit UV-Licht aus Deutriumlampen oder LED-Strahlern gehärtet werden. Die Querschnitte her-

Bild 1 > Bündel aus optischen Fasern sind eine gängige Möglichkeit, eine flächige UV-Bestrahlung zu realisieren.

kömmlicher Glasfasern reichen jedoch nicht aus, um UV-Spots von angemessener Größe und mit homogener Intensitätsverteilung zu erzeugen.

Großflächige UV-Härtung bislang nur mit Kompromisslösung möglich

In der UV-Härtepraxis wurden deshalb bisher bevorzugt Faserbündel oder Flüssiglichtleiter eingesetzt, die einen größeren Spot als herkömmliche Glasfasern besitzen und somit eine flächige Bestrahlung ermöglichen (*Bild 1*). Vollends überzeugen konnten indes auch diese beiden Lösungen nicht. Flüssiglichtleiter etwa sind aufgrund ihrer aus Fluorpolymer gefertigten Schläuche sehr biegsam und weisen deutlich höhere Öffnungswinkel als Glasfasern auf. Zudem punkten sie mit hohem Lichtdurchsatz: Die enthaltenen Fluide – Spezialgemische aus Wasser, Salzlösungen, Ölen, Gelen und anderen Bestandteilen – besitzen einen hohen Brechungsindex und verleihen den Fasern dadurch exzellente Transporteigenschaften sowie homogene Ausgangsstrahlungen. Dafür sind Flüssiglichtleiter allerdings zum einen nur in Längen unter 10 Metern verfügbar, und zum anderen tolerieren sie hohe Temperaturen nur für kurze Zeit. Dadurch kann nicht kontinuierlich mit der vollen Leistung der Lichtquelle gearbeitet werden, was die Bestrahlungsintensität und damit die Geschwindigkeit des Härtungsprozesses limitiert.

Faserbündel wiederum eignen sich sehr gut zum Überbrücken großer Distanzen und halten auch hohen Temperaturen länger stand. Im Gegenzug waren sie den Flüssiglichtleitern dann jedoch an anderer Stelle unterlegen, denn beim Einsatz von Glasfaserbündeln mussten die Anwender bisher regelmäßig Schwächen beim Lichtdurchsatz hinnehmen: Durch „blinde“ Faserzwischenräume (*Bild 2*) gehen bei herkömmlichen Faserbündeln rund 25 bis 50 Prozent des eingekoppelten UV-Lichts verloren, was eine verminderte Bestrahlungswirkung beziehungsweise eine verminderte Ausschöpfung der Lichtleistung zur Folge hat. Zudem können Bündel zwar höheren Temperaturen standhalten als Flüssiglichtleiter, die Maximalwerte sind aber auch hier nicht durchweg zufriedenstellend. Da die Bündelungen meist mit Epoxydharz geklebt werden, tolerieren sie nur Maximaltemperaturen zwischen 150 und 250 °C. Daher kann auch von dieser Seite nicht die volle Leistung jeder UV-Lichtquelle ausgeschöpft werden, und manche Prozesse lassen sich nur mit eingeschränkter Intensität durchführen. Dadurch konnten bisher auch mit Faserbündeln keine optimale Prozessgeschwindigkeit erzielt werden. Hinzu kommt, dass im Dauereinsatz die Gefahr von Faserbrüchen durch Materialermüdung zunimmt, da Glasfasern weitaus weniger biegsam sind als die Fluorpolymerschläuche von Flüssiglichtleitern. Ein weiterer Nachteil resultiert aus den unterschiedlichen Positionen der Einzelfaser innerhalb des Bündels: Das UV-Licht kann aufgrund der uneinheitlichen Einkopplungswinkel nicht überall in gleicher Qualität eingespeist werden. In Richtung der Randbereiche des Bündels nimmt die Lichtaufnahme daher immer weiter ab, und eine gleichmäßige Bestrahlung lässt sich nicht umsetzen.

Vor diesem Hintergrund zwischen Stärken und Schwächen von Flüssiglichtleitern und Glasfaserbündeln abzuwägen, war für Anwender wenig befriedigend. Die Entscheidung zugunsten der einen oder anderen Lösung hing davon ab, welche Nachteile man für welche Vorteile in Kauf zu nehmen bereit war. Wer von hoher Bruchfestigkeit, hohem Lichtdurchsatz und homogener Intensitätsverteilung profitieren wollte, wählte Flüssiglichtleiter und musste sich dafür mit kurzer Streckenüberbrückung und niedrigen Betriebstemperaturen abfinden. Wer längere Faserstrecken und höhere Bestrahlungstemperaturen realisieren wollte, wählte Glasfaserbündel und musste dafür mit niedrigerem Lichtdurchsatz, höherer Bruchgefahr und ungleichmäßiger Intensitätsverteilung in der Fokusebene zurechtkommen. Zudem konnte weder mit Faserbündeln noch mit Flüssiglichtleitern eine maximale Prozessgeschwindigkeit erzielt werden. Eine Lösung, welche die Vorteile beider Technologien kombiniert, blieb bisher eine Wunschvorstellung.

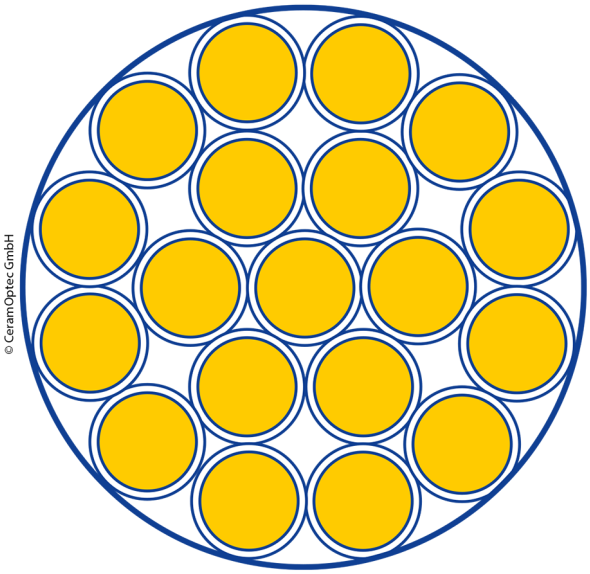
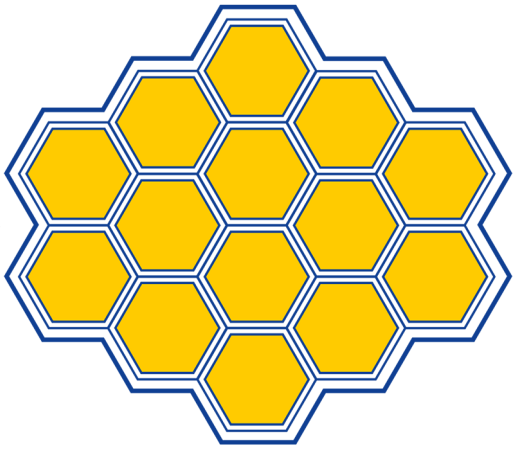


Bild 2 > Verklebte Faserbündel weisen stets „blinde“ Faserzwischenräume auf. Dadurch gehen je nach Bündelungsweise zwischen 25 und 50 Prozent des eingekoppelten Lichts verloren.

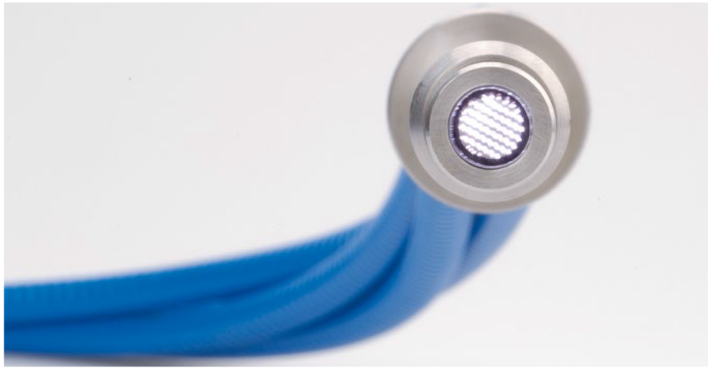
Endverschmolzene Faserbündel verbinden die Stärken herkömmlicher Lichtleiter

Weiterentwicklungen in der Glasfasertechnik könnten diesen unbefriedigenden Zustand jedoch künftig beenden. Der Faseroptikspezialist Ceramoptec etwa stellt lichtübertragende Faserbündel her, deren Transmission den Lichtdurchsatz herkömmlicher Bündel um bis zu 27 Prozent übersteigt. Diese sogenannten „PowerLightGuides“ tolerieren Temperaturen bis zu 500 °C und können bei Lichtleistungen bis zu 500 Watt eingesetzt werden.



© CeramOptec GmbH

Bild 3 > Bei Bündeln aus endverschmolzenen Fasern entfallen sämtliche Faserzwischenräume, da die Fasern im Zuge der Verschmelzung eine hexagonale Außenform annehmen.



© CeramOptec GmbH

Bild 4 > Einzig in den Mantelbereichen der Einzelfasern – hier als dunklere Stellen in der Fläche wahrnehmbar – wird nicht die volle Lichtleistung transportiert. Dieser Nachteil lässt sich jedoch durch geschickte Wahl des Kern-Mantel-Verhältnisses minimieren.

Erreicht werden diese Parameter durch eine neue Bündelungstechnik: Die Faserenden werden nicht mehr mit Epoxydharz verklebt, sondern unter hoher Temperatureinwirkung verschmolzen. Während dieses Verschmelzungsprozesses nehmen die ursprünglich runden Fasern eine hexagonale Form an, wodurch Faserzwischenräume entfallen (*Bild 3*). Lediglich in den Mantelbereichen wird auch hier nicht die volle Lichtleistung übertragen (*Bild 4*). Durch die geschickte Wahl des Kern-Mantel-Verhältnisses lässt sich dieser Nachteil jedoch deutlich verringern. Zudem können die Bündel durch das Entfallen der Faserzwischenräume aus einer Vielzahl sehr dünner Faser konstruiert werden, was ihre Biegsamkeit deutlich steigert. Und auch die ungleichmäßige Bestrahlung infolge uneinheitlicher Lichteinkopplung ließ sich durch eine spezielle Fertigungstechnik verbessern: Bei der Bündelproduktion werden zunächst nur die Fasereingänge verschmolzen und anschließend mit UV-Licht bestrahlt. Anhand der Lichtausgabe in der Fokusebene werden die Einzelfasern dann manuell so angeordnet, dass eine homogene Intensitätsverteilung sichergestellt ist (*Bild 5*). Erst danach werden auch die Faserausgänge verschmolzen und die fertigen Bündel konfektioniert. Mit den „PowerLightGuides“ sind somit erstmals Faserbündel verfügbar, welche die Stärken der Flüssiglichtleiter in Bezug auf Biegsamkeit, Lichtdurchsatz und Strahlungsverteilung in der Fokusebene mit den Pluspunkten herkömmlicher Glasfaserbündel vereinen. Ergänzt wird

© CeramOptec GmbH

Bild 5 > Um eine homogene Bestrahlungsintensität sicherzustellen, werden im Laufe der Bündelproduktion zunächst nur die Fasereingänge verschmolzen und mit UV-Licht bestrahlt. Anhand der Lichtausgabe an den Faserausgängen werden die Fasern dann manuell so angeordnet, dass über die gesamte Fokusebene hinweg eine gleichmäßig starke Bestrahlung garantiert ist.

© CeramOptec GmbH

Bild 6 > Bei Anwendungen, die parallele Punktbestrahlungen erfordern, werden nur die Fasereingänge verschmolzen, die Faserausgänge hingegen anwendungsspezifisch aufgefächert.

das neue Faserkonzept durch eine signifikant gesteigerte Temperaturresistenz, welche die Maximaltemperaturen herkömmlicher Faserbündel deutlich übertrifft. Darüber hinaus bieten die „PowerLightGuides“ mehr Flexibilität bezüglich der Wahl von Fokusgeometrie und Fasertyp: Während sich mit Flüssiglichtleitern ausschließlich runde Brennflächen realisieren lassen, können die Fasern der Bündel beispielsweise auch in einer Reihe angeordnet werden, was die Erzeugung von Linienspots möglich macht. Vorteilhaft ist diese Fokusgeometrie insbesondere für die Härtung von Klebkanten. Darüber hinaus müssen sich Anwender nicht mehr von vorneherein auf bestimmte Fasertypen beschränken. Denn theoretisch eignen sich alle verfügbaren Quarzglasfasern für den Einsatz in endverschmolzenen Bündeln. Die spezifischen Fasereigenschaften lassen sich dabei jeweils nahtlos auf die flächige Anwendung übertragen.

Fazit

Mit den sogenannten „PowerLightGuides“ stehen endverschmolzene Glasfaserbündel zur Verfügung, die für sämtliche Anwendungen der flächigen UV-Lichthärtung eine passende Komponentenlösung mit optimaler Wirkung in der Fokusebene darstellen. Einkopplungsverluste werden auf ein Minimum reduziert, die Bruchgefahr ist gering, und eine homogene Intensitätsverteilung ist sichergestellt. Auch längere Faserstrecken werden ohne nennenswerte Leistungsverluste überbrückt. Aufgrund der deutlich erhöhten Temperaturtoleranz kann zudem erstmals die volle Leistung der UV-Lichtquelle ausgeschöpft und damit die Maximalgeschwindigkeit des UV-Lichthärtens erreicht werden. Diese Vorteile gelten übrigens auch für Anwendungen, die keine flächige Bestrahlung, sondern die Gleichzeitigkeit mehrerer Punktbestrahlungen erfordern. In diesem Fall werden nur die Fasereingänge verschmolzen, sodass das Bündel im Fokusbereich anwendungsgerecht aufgefächert werden kann (*Bild 6*). //

Die Autoren

Carsten Gerth
(carsten.gerth@ceramoptec.com)
Sales Engineer

Bronislav Hracek
(bronislav.hracek@biolitec.com)
Head of R&D medical/industrial

CeramOptec GmbH, Bonn
– a company of biolitec group –
www.ceramoptec.com

BRANCHEN-
VERBUNDEN

Jetzt registrieren:
www.springerprofessional.de/mynewsletters

Der neue Newsletter
„Kleb- und Dichttechnik“
von **adhäsion**
Alle Top-News und Branchen-Highlights aus der Welt der Kleb- und Dichttechnik, regelmäßig in Ihrem Postfach: Bestellen Sie jetzt unseren kostenlosen Newsletter.

adhäsion KLEBEN+ DICHTEN