



OCT für das Schweißen von Hair Pins

Wegen der immer strengeren Anforderungen an den Umweltschutz müssen die Automobilhersteller den Kraftstoffverbrauch ihrer Fahrzeugflotten reduzieren. Der Übergang zur emissionsfreien Elektromobilität ist ein globaler, technologischer Trend. Der schnell wachsende Markt für Elektromobilität erfordert präzise geschweißte Funktionskomponenten. Das Laserschweißen leistet zusammen mit Präzisionsensorsystemen wie OCT (Optische Kohärenztomografie, auf Englisch Optical Coherence Tomography) einen großen Beitrag zur Entwicklung von elektrischen Komponenten für voll- oder teilelektrifizierte Fahrzeuge, aber auch für die Batterien selbst.

Mit OCT ausgestattete Laserbearbeitungsköpfe bieten eine Reihe von technischen Vorteilen, die sich positiv auf die Zykluszeit und die Qualitätssicherung auswirken und damit auch ökonomische Vorteile für den Anwender bringen.

Durch die Erfassung einer 3D-Oberflächentopographie kann das Profil der Stoßfuge mit hoher axialer und lateraler Auflösung aufgezeichnet werden. Somit kann die genaue Schweißposition in Echtzeit erfasst werden.

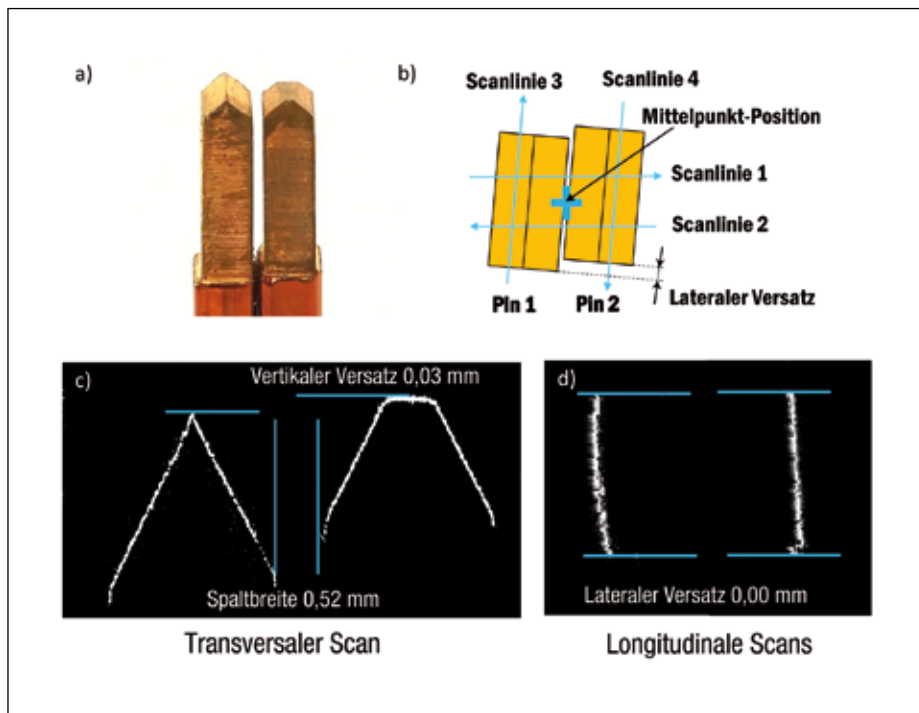
OCT erlaubt erheblich verbesserte Schweißproduktivität auch mit hohen Geschwindigkeiten

Um ein 3D-Bild zu erhalten, ist eine optische Schnellabtastvorrichtung mit großen lateralen Scans erforderlich. Lessmüller Lasertechnik bietet einen kompakten, robusten und leichtgewichtigen OCT Scanner, der einfach zu integrieren und einfach zu bedienen ist. Die Verwendung eines OCT Scanners ermöglicht die freie Wahl

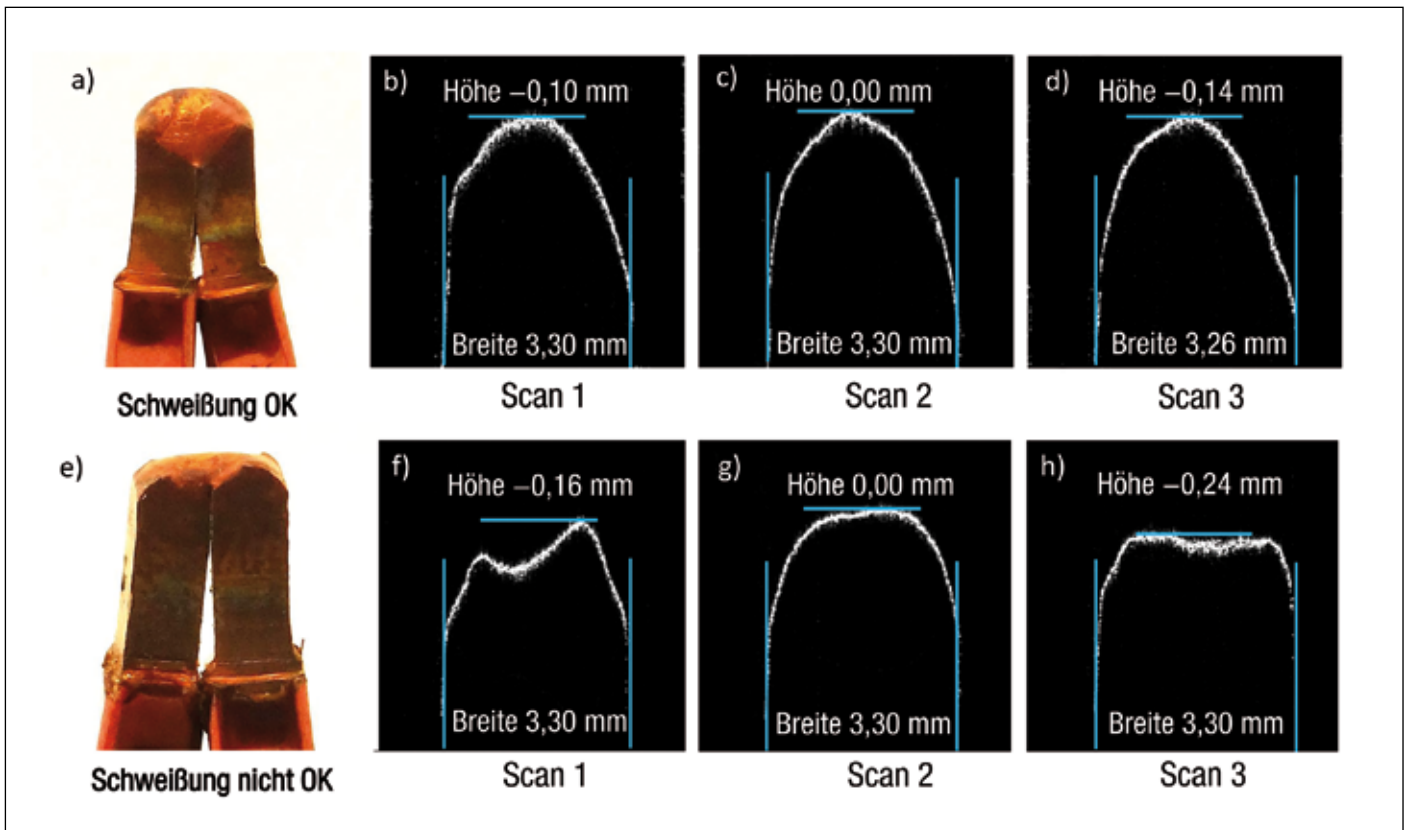
der Messposition. Im Gegensatz zur Lasertriangulation arbeitet OCT in einem koaxialen Messaufbau und ermöglicht damit auch die omnidirektionale Messung bei der Nahtverfolgung oder -überprüfung. Darüber hinaus können auch singuläre Punktmessungen mit benutzerdefinierter Anzahl und Position der Punkte durchgeführt werden, die der jeweiligen Messaufgabe angepasst sind. Störfaktoren wie Niederhalter oder andere Befestigungselemente wirken sich nicht auf die Tracking- und QS-Ergebnisse aus. OCT ist immun gegen weißglühendes Prozesslicht, Störlicht aller Art und Spritzer beim Schweißen. Daher werden die berührungslose Nahtführung und die zerstörungsfreie Echtzeit-Qualitätskontrolle der Schweißnaht mit der Präzision und Zuverlässigkeit realisiert, die mit anderen, herkömmlichen Techniken nicht erreichbar sind. Die Anwendung von OCT ist insbesondere für Geometrien vorteilhaft, die für herkömmliche kamerabasierte Techniken nicht zugänglich sind: Die Schweißstoßfugen oder Schweißfehler, die ein außergewöhnlich hohes oder kleines Seitenverhältnis aufweisen, können dennoch mit OCT erkannt werden.

Das OCT System erkennt und definiert die neue Nahtposition und regelt die Fokussieroptik so, dass der Bearbeitungslaser immer an der Naht bleibt. Es folgt dem Laserstrahl immer in jeder Schweißrichtung, an jeder Schweißposition, auch bei abrupten Positionsänderungen und bietet hervorragende Flexibilität ohne zeitaufwändige Neuorientierung. Es gewährleistet eine korrekte und präzise Strahlpositionierung und damit ein zuverlässiges genaues Laserschweißen, das einen stabilen Langzeitprozess und die Verringerung der Fehleraten ermöglicht.

Die hohen Mess- und Signalverarbeitungsraten der OCT sind mit der



▲ Abb. 1: a) Hair Pins-Paar; b) OCT Scan-Muster zum Vermessen der Hair Pins-Paar Geometrie und Bestimmen der Mittelpunkt-Position; c) und d) OCT Scans entlang mehrerer Linien zum Ermitteln der Spaltposition zwischen den Stiften sowie des lateralen und vertikalen Versatzes der Pins.



▲ **Abb. 2: Qualitätsprüfung der geschweißten E-Powertrain-Hair Pins:** a) und e) Fotos der geschweißten Hair Pins; b) bis d) Nahezu identische OCT Profile auf derselben Schweißnaht weisen auf eine höhere Schweißnahtqualität hin; f) bis h) Unterschiedliche Formen der OCT Profile auf derselben Schweißnaht zeigen eine schlechte Schweißqualität.

hohen Schweißgeschwindigkeit kompatibel, die eine zeiteffiziente Laserbearbeitung im laufenden Betrieb ermöglicht.

Durch die Präzision in Kombination mit der Echtzeitfähigkeit ermöglicht OCT eine flexible, automatisierte Laserbearbeitung mit erheblich verbesserter Schweißproduktivität auch mit hohen Geschwindigkeiten.

OCT erlaubt eine verbesserte Prozesssteuerung unter verschiedenen Bedingungen, einschließlich des automatisierten Remote Schweißens verschiedener Komponenten. Dank des dynamisch einstellbaren Referenzarmes hat das Lessmüller OCT System große und variable Arbeitsabstände bei gleichzeitig hoher Auflösung. Dadurch ist es auch für den Einsatz beim »on the fly« Schweißen geeignet. Die industrielle Implementierung von OCT für das Laserschweißen nimmt kontinuierlich zu, denn die Anwendung von OCT trägt zum technologischen Fortschritt in der Automobilin-

dustrie bei. Die OCT spielt eine wichtige Rolle beim Laserschweißen für die Herstellung von Elektrofahrzeugen. Die Anzahl möglicher OCT Anwendungen nimmt mit dem aufstrebenden Elektromobilität-Markt zu. Dazu gehört nicht nur das Fügen von Komponenten für den Karosseriebau, bei dem eine präzise Nahtführung erforderlich ist, sondern auch das Schweißen von Stromspeicher- und Antriebsstrangkomponenten.

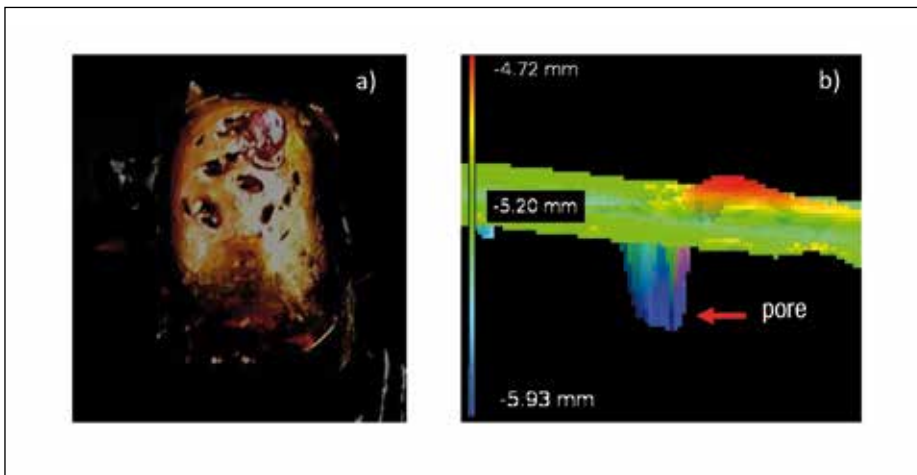
OCT spielt eine wichtige Rolle beim Laserschweißen für die Herstellung von Elektrofahrzeugen

Elektromotoren und Batterien wiegen mehr als moderne Verbrennungsmotoren. Dies erfordert, dass andere Teile leichter sind, um ein insgesamt akzeptables Gewicht des Fahrzeugs auszugleichen. OCT ermöglicht es, größere Toleranzen bei Flansch und Spaltgröße im Vergleich zu anderen Nahtverfolgungstechniken zu erken-

nen und gegebenenfalls den Prozess entsprechend zu korrigieren. Bei Verwendung von OCT als Nahtverfolgungssystem können Flansche auf bis zu 0,3 mm gekürzt werden. OCT kann einen vollständig überwachten und autonomen Betrieb des Verarbeitungslasers gewährleisten.

OCT ermöglicht die exakte und schnelle Lokalisierung von Hair Pins und eine schnelle quantitative Qualitätsbewertung der Schweißnaht

Die Schweißversuche mit OCT wurden auch an Hair Pins im Stator eines Elektromotors durchgeführt. Kupferstifte (Hair Pins) von elektrischen Antriebsmotoren müssen sehr schnell ohne Poren und Spritzer geschweißt werden, um einen guten elektrischen Kontakt zu gewährleisten. Ein kompletter 2D Scan mit 600 x 600 Punkten (wie mit einer Kamera gemessen) braucht mehr als 5 Sekunden, was für die Serienproduktion zu lang ist. OCT



▲ **Abb. 3:** a) Foto der Schweißperle und b) entsprechendes OCT 3D-Bild, das eine offene Pore zeigt.

bietet dagegen eine andere Mess-Strategie. Statt eines kompletten 2D-Scans werden nur die für die Erkennung von Spalt, Höhe und Lage der Pins zueinander notwendigen Einzelscans programmiert, sodass die notwendigen Informationen in ca. 55 ms erfasst werden.

Der Vorteil von OCT gegenüber anderen Nahtführungs- und Überwachungstechniken besteht darin, dass es nicht nur eine dreidimensionale Visualisierung der Hair Pins liefert, sondern auch direkte Höhenmessungen in Echtzeit.

Aufgrund der hohen elektrischen und thermischen Leitfähigkeit und des hohen Reflexionsvermögens, stellt Schweißen von Kupfer eine Herausforderung dar: Der Schweißstrahl muss in seinem Fokus auf die Oberfläche des Hair Pins treffen, um mit maximaler Leistungsdichte die Reflexion der Oberfläche zu brechen. Die genaue Höhe jedes Stifts ist entscheidend für die Einstellung des Fokus und die Leistung des Bearbeitungsstrahls.

Zu diesem Zweck scannt OCT schnell ein Hair Pin-Paar entlang vier Linien (Abb. 1b) zur optimierten Vermessung der gesamten Hair Pin-Paar Geometrie. Mit den Scanlinien 1 und 2 werden die beiden Giebelkanten von Pin 1 und Pin 2 bestimmt. Scanlinien 3 und 4 werden leicht außerhalb der Giebelkante gesetzt. Nach der Auswertung der vier Linien wird der Versatz des

gemessenen Zentrums zum theoretischen Mittelpunkt berechnet. Spaltgröße und Spaltposition zwischen den Stiften sowie die Fehlansrichtung der Stifte zueinander (lateraler Versatz) und Stiftbreite werden identifiziert (Abb. 1c, d). Die genaue Höhe jedes Stifts (Abb. 1c), die für die Einstellung des Fokus und der Leistung des Bearbeitungsstrahls entscheidend ist, wird mit dieser Strategie automatisch mit vermessen.

Die Höhe der Hair Pins wird zur Fokus-Anpassung des Bearbeitungsstrahls und als Referenz für die Post-Prozess-Messung benutzt. Die Gesamtmesszeit beträgt ca. 55 ms. Die Korrekturdaten zur Mittelpunkt-Position werden an die Steuerung der Bearbeitungsoptik gesendet.

Die Qualität der Schweißperle jedes Hair Pin-Paars kann mithilfe der OCT online bewertet werden.

Der OCT Messstrahl tastet die Oberfläche der Schweißstelle ab. Um die Zykluszeit zu beschleunigen, werden nur drei Scans mit einer Länge von 6 mm innerhalb von jeweils ca. 10 ms aufgenommen. Messungen quer oder nebeneinander sind möglich. Höhe, Form, Opazität und Oberflächenprofil der Schweißperle geben Aufschluss über die Geometrie der erfolgten Schweißung des Hair Pin-Paars (Abb. 2 und 3).

Über die Geometrie können Rückschlüsse auf die Qualität der Schwei-

ßung erfolgen, nämlich ein geringer elektrischer Widerstand und die geforderte mechanische Festigkeit. Der Höhenunterschied des Hair Pin-Paares vor und nach dem Schweißen erlaubt eine Abschätzung des aufgeschmolzenen Volumens. Ein solcher numerischer Online-Qualitätsausdruck kann mit kamerabasierten Qualitätskontrollsystemen nicht erreicht werden.

OCT ist eine elegante Lösung für das industrielle Laserschweißen, die hochproduktive und flexible Produktionslinienlayouts mit einem erhöhten Volumen an produzierten Komponenten ermöglicht. Die Ergebnisse zeigen, dass OCT erfolgreich zur exakten und schnellen Lokalisierung von Hair Pins und zur schnellen quantitativen Qualitätsbewertung der Schweißnaht eingesetzt werden kann, die einen schnellen und zuverlässigen Schweißprozess gewährleistet.

Lessmüller OCT System, das an verschiedene Laserbearbeitungsoptiken angepasst ist, garantiert Präzision und Reproduzierbarkeit von geschweißten Bauteilen. Die erfolgreiche Erfahrung des OCT Betriebs in der Automobillinienproduktion macht OCT als Sensortechnologie für die heutigen Laserbearbeitungstrends günstig.

Alle oben genannten potenziellen Vorteile der OCT und die dreidimensionale Natur der OCT Daten machen die OCT den traditionellen Technologien in vielerlei Hinsicht überlegen. OCT macht das Schweißen in der Serienproduktion schneller, genauer und damit kostengünstiger als es derzeit mit heutigen, konventionellen Sensortechnologien möglich ist.

■ INFO

Kontakt:
 Dr. Nataliya Deyneka Dupriez
 Tel.: 089 360 90 48-104
 E-Mail: nd@lessmueller.de
 Lessmüller Lasertechnik GmbH
 Gollierstr. 12
 80339 München
 Tel.: 089 360 90 48-0
 www.lessmueller.de