

# Schweiß- und Löt Nähte automatisch überwacht

## Praxisbeispiele belegen die Funktionalität bei Laserapplikationen

Die heutigen Produktionsprozesse erfordern zunehmend eine automatisierte Prozess- bzw. Qualitätsüberwachung – mit Sicherheit gehört sie zukünftig zur Standard-Ausstattung jeder industriellen Laserapplikation. Da die stetige Prozessanalyse Fehlschweißungen vermeidet, sinkt die Ausschussrate und die Qualität der ausgelieferten Produkte erhöht sich messbar. Die Investitionen wirken sich daher mittel- und langfristig Kosten senkend aus.

In der industriellen Fertigung – und gerade bei industriellen Laserapplikationen – spielt die Bildverarbeitungstechnologie eine Schlüsselrolle, wenn es gilt, die notwendige Prozess- bzw. Qualitätsüberwachung zu automatisieren. Auf dieser Technologie basiert das Mess-System SOUVIS® 5000, in dessen Sensorkopf sich eine CMOS-Kamera mit programmierbarer Kennlinie befindet. Das System eignet sich zur Inspektion von Schweiß- und Löt Nähten. Es arbeitet mit zwei Beleuchtungsarten, was die gleichzeitige Erfassung von Geometriedaten und Oberflächenmerkmalen eines Fügestoßes oder einer Naht ermöglicht.

So erfolgt über das Lichtschnittverfahren eine Profilmessung, wodurch sich dreidimensionale Informationen wie die Konvexität und die Konkavität der Naht berechnen lassen. Weitere Merkmale liefert eine Oberflächenanalyse, die auf der Auswertung eines hochauflösenden Graubildes der Naht basiert. Um die Bewegungsunschärfe zu verhindern, wird das Bauteil mit einem kurzen Lichtblitz beleuchtet.

Zum Identifizieren von lokalen Fehlstellen wie Poren nutzt die Oberflächenanalyse drei parallel arbeitende Bildverarbeitungsverfahren: Nahtstruktur-, Poren- und Rissanalyse. Die Nahtstruktur bei Lasernähten weist ein „Fischgrätenmuster“ auf. Sie kann mit wenigen Größen beschrieben werden. Diese lassen Rückschlüsse auf die Qualität

### DIE AUTOREN

#### JÜRGEN MÜLLER-BORHANIAN

Jürgen Müller-Borhanian ist Vertriebsleiter und Prokurist bei der Precitec KG.

Zuvor arbeitete er als leitender Wissenschaftler an der Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge (FGSW) und am Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) in Stuttgart in den Bereichen Lasermaterialbearbeitung und Prozessüberwachung und promovierte in diesem Themenbereich.



#### MARTIN HALSCHKA

Martin Halschka ist Projektierungsleiter und Produktmanager bei der Precitec Vision GmbH & Co. KG.

Zuvor war er in gleicher Position bei der Soutec Soudronic AG als Leiter Kundenprojekte und Entwicklungsleiter Bildverarbeitung langjährig tätig.



Precitec KG  
 Jürgen Müller-Borhanian  
 Tel.: +49 (0)7225-684-332  
 Fax: +49 (0)7225-684-398  
 E-Mail: j.mueller-borhanian@precitec.de  
 Web: www.precitec.de

Precitec Vision GmbH & Co. KG  
 Martin Halschka  
 Tel.: +41-52-3050-370  
 Fax: +41-52-3050-399  
 Email: m.halschka@precitec.ch  
 Web: www.precitec.ch

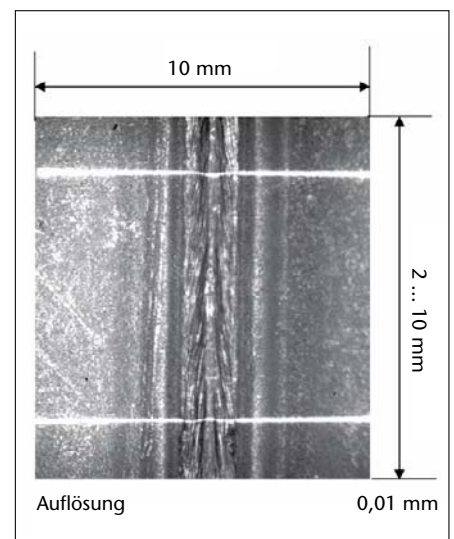
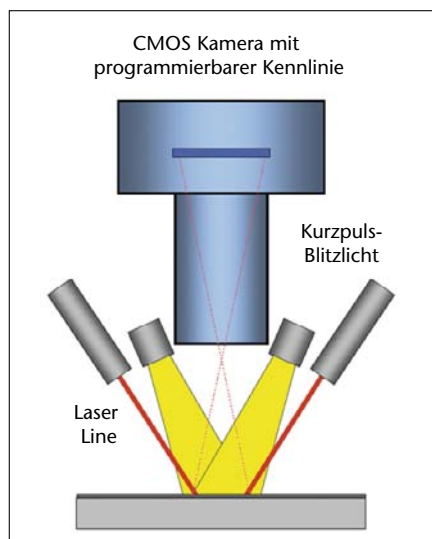
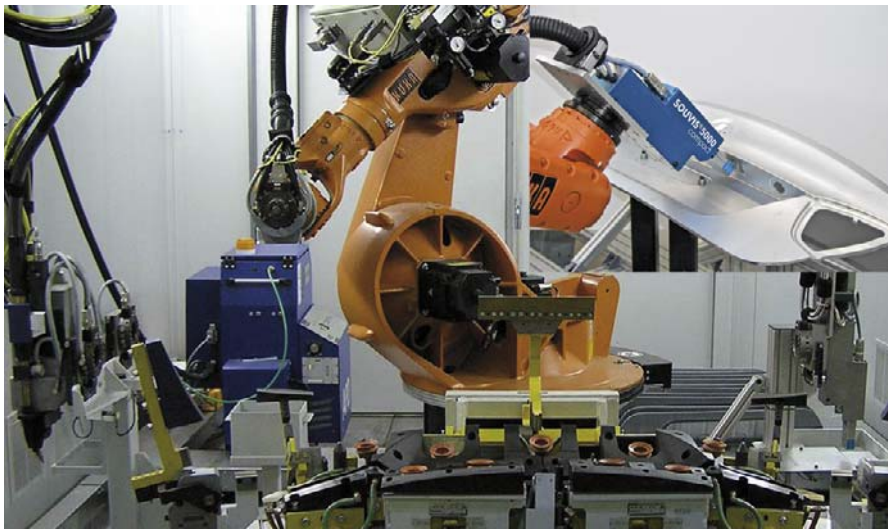


ABBILDUNG 1: Sensoranordnung und Kamerabild des Qualitätsüberwachungssystems SOUVIS® 5000 (links). Der Messkopf mit den Beleuchtungselementen überträgt die Bilder (rechts) der Schweißnaht an einen Bildverarbeitungsrechner.



**ABBILDUNG 2:** Lötzelle mit Dockingstation für den automatischen Wechsel zwischen Lötkopf und Inspektionskopf. Direkt nach dem Löten fährt der Messkopf über den Nahtverlauf.

und Homogenität der Oberfläche zu. Signifikant veränderte Werte deuten auf einen lokalen Schweißfehler hin, beispielsweise auf mangelnde Eindringtiefe oder einen durch Verschmutzung verursachten Auswurf des Schweißbades. Da die Strukturanalyse immer einen ausgedehnten Bereich der Schweißnaht berücksichtigt, bleiben sehr kleine Schweißfehler wie Poren mit dieser Art der Analyse unentdeckt. Es bedarf eines zweiten Algorithmus, der sich besonders zum Auffinden sehr kleiner Fehler ab 100 µm eig-

net. Das als Porenanalyse bezeichnete Verfahren entdeckt Porosität, die hauptsächlich bei lasergelöteten Nähten beobachtet wird. Zum Erkennen von (Kalt-)Rissen, die bedingt durch mangelhaftes Auflegieren und der damit verbundenen Schrumpfspannung entstehen, kommt eine weitere Methode der Grauwertanalyse zum Einsatz. Dazu werden eine alternative Beleuchtungsmethode und spezielle Filteralgorithmen verwendet, mit denen sich Risse bis zu einer Breite von wenigen Mikrometern erkennen lassen.

Die Abbildung 1 zeigt die Sensoranordnung des hier beschriebenen Mess-Systems. Der Messkopf mit den Beleuchtungselementen überträgt die Bilder der Schweißnaht an einen mit Echtzeitbetriebssystem ausgestatteten Bildverarbeitungsrechner. Für den Datenaustausch lässt sich das System über ein TCP/IP Netzwerk mit einem Statistik-PC (Datenbank) verbinden und mit einer SPS über einen Feldbus (CAN, Interbus, Profibus, Device-Net) extern steuern. Die

Steuerung erfolgt durch das NC-Programm der Maschine.

Aufgrund der hohen Kameraauflösung, der präzisen Auswertung der Nahtlage und Nahtbreite, sowie der anspruchsvollen Bildverarbeitungsalgorithmen liegt die Genauigkeit der ermittelten Naht- und Fehlerdaten im Bereich von wenigen hundertstel Millimetern. Die in ISO 13919-1 oder in anderen anwendungsspezifischen OEM-Richtlinien definierten Schweißfehler können daher mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Ein Teil, dessen Qualität die voreingestellten Grenzwerte nicht einhält, wird zur Nacharbeit oder als Ausschuss ausgeleitet.

### Im Fertigungsprozess integriert: die Heckklappe als Beispiel

Moderne Heckklappen mit stark vertieftem Kennzeichenbereich erfordern aus fertigungstechnischen Gründen ein mehrteiliges Design. Dessen Einzelkomponenten werden meist durch Laserlöten verbunden. Die Laserlötnähte sind Teil der Außenhaut des Fahrzeugs und unterliegen hohen Anforderungen hinsichtlich Oberflächenqualität und Dichtheit. Selbst kleinste offene Poren im Sichtbereich müssen ab einem Durchmesser von 0,2 mm nachgearbeitet werden. Nahtunterbrechungen sind nicht zulässig und das Nahtprofil muss strenge Qualitätsanforderungen erfüllen.

Für die vollautomatische Nahtkontrolle von Lötnähten der Heckklappen der neuen 3er Serie von BMW (Abb. 2) wurde das Qualitätsüberwachungssystem an die speziellen Produktionserfordernisse angepasst. Inzwischen ist es an drei Standorten implementiert und bietet dort eine effiziente und sichere Alternative zur manuellen Sichtkontrolle.

Direkt nach dem Lötprozess fährt der Messkopf robotergesteuert über den komplexen Nahtverlauf. Er erfasst dabei gleich-

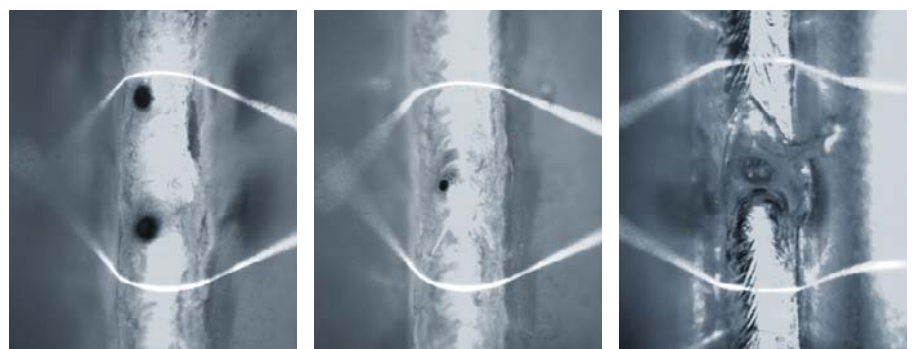
## DAS INSTITUT

### Precitec KG

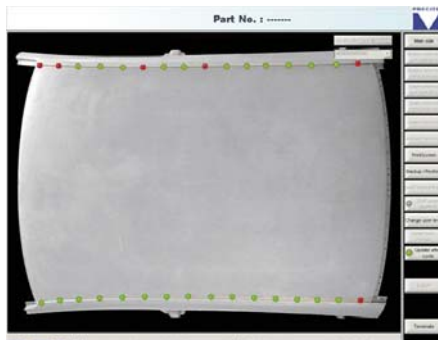
Gaggenau, Deutschland

Die Precitec KG gilt weltweit als Spezialist für komplexe Systemlösungen auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung. Neben vieltausendfach bewährten Schneidköpfen mit integrierter Abstandsensorik verfügt Precitec für den Bereich der Laserschweißtechnik über ein umfassendes Angebot von Bearbeitungsköpfen mit integrierten Sensorsystemen zur Online-Prozesskontrolle sowie zur berührungslosen Nahtverfolgung und Nahtgeometrievermessung.

Mit der Übernahme der SOUTEC SOUNDRONIC Vision im Januar 2008 komplettierte die Precitec KG ihr Produktportfolio. Das vielfach industriell bewährte Löt- und Schweißnahtüberwachungssystem SOUVIS® 5000 wird nun von der Precitec KG vertrieben und weiterentwickelt.



**ABBILDUNG 3:** Beispiele von Lötfehlern: 500 µm Poren, 200 µm Pore, Nahtunterbrechung.



**ABBILDUNG 4:** In der Visualisierung erscheint jedes Nahtsegment als grüner (IO) oder roter (NIO) Punkt. Zusätzlich ist das System in der Lage die unterschiedlichen Fehlerarten zu unterscheiden (z. B. Pore, Nahtunterbrechung oder Geometrieunterbrechung).

zeitig die Oberflächenqualität und die Nahtgeometrie. Typische Nahtfehler (Abb. 3) werden nach dem Erkennen mit eigens für diese Anwendung entwickelten Bildverarbeitungsalgorithmen auf dem Bildschirm visualisiert. Der System-Rechner vergleicht die Messdaten mit voreingestellten, teileabhängigen Grenzwerten und klassifiziert IO-, Nacharbeits- oder Ausschussteile. Der Statistik-PC speichert die qualitätsrelevanten Bauteildaten und visualisiert die Fehler der entsprechenden Heckklappe an der Nacharbeitsstation. Für eine lückenlose Bauteilverfolgung können Bauteilnummern vom System generiert oder eingebunden werden.

Die Naht kann in eine frei parametrierbare Anzahl von Bereichen und Segmenten zur örtlichen genauen Zuordnung aufgeteilt und die Grenzwerte dafür je nach Qualitätsanforderung spezifisch gesetzt werden. Der Statistik-PC visualisiert jedes Segment entsprechend der Messergebnisse (Abb. 4) als grünen (IO) oder roten Punkt (NIO). Zusätzlich unterscheidet das System in einer Übersichtsdarstellung mithilfe unterschiedlicher Farben die einzelnen Fehlerarten (z. B. Pore, Nahtunterbrechung, oder Geometriefehler). Die statistische Auswertung der Fehler hilft, Prozessveränderungen frühzeitig zu erkennen und ermöglicht eine stetige Prozessoptimierung.

Die Integration des Qualitätsüberwachungssystems hängt vom jeweiligen Produktionskonzept ab. Je nach Stückzahl kann entweder der Lötroboter selbst über eine automatische Dockingstation mit dem Messkopf ausgerüstet werden – oder es wird ein eigener Inspektionsroboter eingesetzt. Die Inspektionszeit hängt von der Kontur der Naht und von der Nahtlänge ab. In der Regel reichen 20 s Messzeit aus. Die kurze Messzeit ermöglicht es beim Einsatz eines eigenen

Inspektionsroboters, Heckklappen aus zwei Lötstationen gleichzeitig zu verarbeiten.

### Nahtqualität lasergeschweißter Differentialgetrieberäder vollautomatisch überwacht

Bisher wird bei Differentialgetrieben die Verbindung des Ausgleichsgehäuses mit dem Tellerrad verschraubt. Schweißprozesse waren schwer zu kontrollieren, weil der hohe Kohlenstoffanteil des Ausgleichsgehäuses aus Grauguss eine Schweißung ohne Kaltrisse nicht zuließ. Neue Entwicklungen mit nickelhaltigem Zusatzwerkstoff und geeignete Laserquellen ermöglichen nun, die Verschraubungen durch eine schlanke Laserschweißnaht zu ersetzen. Die Vorteile der neuen Methode sind neben der erheblichen Gewichtseinsparung vor allem die niedrigeren Prozesskosten und die höhere Bauteilqualität bezüglich Festigkeit und Laufruhe.

Bei den hohen Qualitätsanforderungen an die Laserschweißverbindungen speziell im Getriebebau ist vor allem die Wechsellastfestigkeit von entscheidender Bedeutung. Bindefehler sind grundsätzlich nicht zulässig. Neben herkömmlichen Parametrierfehlern können sie beispielsweise durch fehlerhafte Positionierung des Laserstrahls in Bezug auf den Fügestoß, mangelhafte Förderung oder Positionierung des Zusatzwerkstoffes und/oder durch verschmutzte Oberflächen in der Fügestelle entstehen. Eine automatische Qualitätskontrolle der Fügeverbindung ist darum unbedingt erforderlich.

Bei einer Tiefschweißung waren zerstörungsfreie Kontrollen der Naht bisher nur mit zeit- und kostenintensiven Ultraschallprüfungen in speziell dafür vorgesehenen Stationen möglich. Die Werkstücke sind nach dem Prüfen nass und müssen aufwendig gegen Korrosion geschützt werden. Eine rein optische Qualitätsüberwachung ist darum sinnvoll und zulässig, wenn folgende Funktionen abgedeckt werden können:

Eine vorlaufende, sehr genaue Messung der Position der Fügestelle im Bereich von 5% der Schweißnahtbreite und die entsprechende Korrektur der Position des Schweißpunktes stellen sicher, dass bei tiefen, schmalen Schweißungen bis zur Nahtwurzel keine Bindefehler durch Fehlpositionierung entstehen können.

Das Erfassen der Schweißnahtbreite und der Schweißnahtposition in direktem Bezug zu der vorlaufend gemessenen Fügestoßposition überwacht, ob der Laser genau an der richtigen Stelle geschweißt hat.

Die Absolutmessung des Nahtprofils



**ABBILDUNG 5:** Lasergeschweißtes Differentialgetriebe (Hinterachsengetriebe) (Quelle: Emag Laser).

stellt sicher, dass die richtige Menge Zusatzwerkstoff beigefügt wurde. Außerdem könnte besonders beim I-Stoß eine überhöhte Konkavität oder ein Kantenversatz über eine bestimmte Nahtlänge die Festigkeit des lasergefügten Teiles entscheidend beeinträchtigen.

Die Messung der Homogenität der Nahtoberfläche stellt sicher, dass lokale Fehler wie offene Poren, Auswürfe, Drahtkleber, kleine Nahtunterbrechungen oder Risse die Wechsellastfestigkeit nicht schwächen.

Im Karosserierohbau und im Bereich Powertrain sind inzwischen viele verschiedene Applikationen mit dem vollautomatischen Qualitätsüberwachungssystem SOUVIS® 5000 ausgerüstet. Integriert in eine Schweißanlage des Typs ELC 250Duo (Emag Laser Tec, Salach) überwacht es beispielsweise die Nahtqualität an lasergefügten Differentialgetrieberädern (Abb. 5). Hier wird mit dem gleichen System zuerst die Schweißposition detektiert und nach dem Schweißvorgang die Qualität der Schweißraupe überprüft.

Nach exakter Erfassung der Position des Fügestoßes über die Graubildanalyse werden nach dem Schweißen als erstes die Nahtbreite und die Nahtposition bestimmt. Ein wichtiger Vorteil dabei ist das richtige und schnelle Erkennen der Position und der Ränder der Naht. Gerade bei der I-Naht am Stumpfstoß wie im Falle der Tellerräder zeichnet sich die Nahtkontur von den Fügepartnern nicht ab und macht das Erkennen der Naht mit reiner Profilmessung schwierig oder sogar unmöglich. Mit der Oberflächenanalyse lässt sich die Naht aufgrund von Helligkeits- und Kontrastunterschieden hingegen zweifelsfrei lokalisieren. Neben den 3D-Lichtschnittverfahren über Lasertriangulation werden drei weitere, parallel arbeitende Bildverarbeitungsverfahren eingesetzt, um Nahtstruktur, Poren und Risse zu analysieren.