

Finalist des Innovation Award Laser Technology 2016

Laserstrahl-Remoteschweißen von Aluminium für den automobilen Leichtbau



Foto: Dr.-Ing. Jan-Philipp Weberpals (Copyright: Jan-Philipp Weberpals)

Dr.-Ing. Jan-Philipp Weberpals

Teamkoordinator Laserstrahltechnologie / Sensorik
Abteilung Technologieentwicklung Fügen Leichtbau
AUDI AG
Neckarsulm, Germany

Mitglieder des Projektteams

Dr.-Ing. Jan-Philipp Weberpals, AUDI AG, Neckarsulm, D (Teamsprecher)
Dipl.-Ing. Steffen Müller, AUDI AG, Neckarsulm, D
Daniel Böhm, AUDI AG, Neckarsulm, D

Anwendungsfelder

Diverse Branchen wie die Automobil-, Flugzeugbau- und Schiffbauindustrie sowie der Schienenverkehr werden von der Innovation profitieren. Das von Audi entwickelte Laserstrahl-Remoteschweißen von Aluminium wird zum Beispiel in der Serienproduktion der Türen für den Audi A8 verwendet.

Technologische Auswirkung

- Gesenkte Fertigungskosten für bestehende Produkte aus Aluminium
- Verbesserte Qualität in existierenden Produkten
- Neue Produktumfänge an Heckklappen und Anbauteile
- Neue Produkteigenschaften wie kleinere Flansche
- Gesenkte Prozesskosten verglichen mit konventionellen Laserprozessen mit Schweißdraht
- Kürzere Entwicklungszeiten
- Verbesserte Arbeitsbedingungen durch Einsparung von Schulungen für Betriebsgeräte verschiedener Hersteller und einfache Nutzung aufgrund der benutzerangepassten Bedienungsoberfläche
- Verbesserte Qualitätssicherung

Zusammenfassung

Der Kern des zukünftigen Automobil-Leichtbaudesigns liegt in einer flexiblen und gleichzeitig stabilen Technologie für die Verbindung von Leichtbaumaterialien. Ein neuer Ansatz ist insbesondere das Laserstrahl-Remoteschweißen von Aluminium. Die Methode ermöglicht die kontrollierte Steuerung des Wärmeflusses in dem Bauteil. Die genaue Positionierung des Laserstrahls im Verhältnis zur Schweißkante senkt das Risiko von Heißbrissen aufgrund der präzisen Kontrolle der Eindringtiefe. Die Größe der Lücke zwischen den zu schweißenden Teilen kann auch während des Fügeprozesses festgestellt und durch Prozessregelungsstrategien effektiv geschlossen werden. Die Prozesseffizienz wird verbessert, da weder zusätzlicher Schweißdraht noch Schutzgase benötigt werden. Dies senkt die laufenden Fertigungskosten. Damit wird außerdem die notwendige Menge an Wärmezufuhr in das Bauteil um fast die Hälfte gesenkt, was den wärmebedingten Bauteilverzug reduziert und sich somit günstig auswirkt. Die gesteigerte Vorschubgeschwindigkeit und der geringere Energiebedarf des Laserstrahls senken die CO₂-Emissionen um etwa 25 %. All diese Vorteile zahlen sich aus, besonders die Möglichkeit, Leichtbaudesign mit kürzeren Flanschen zu realisieren. Die Schweißnähte im Türrahmen des Audi A8 illustrieren dies sehr gut. Audi ist der erste Automobilhersteller, der in der Lage ist, Laserstrahl-Remoteschweißen einzusetzen, um konventionelle Aluminiumlegierungen zu verbinden.

Die kontinuierliche Herausforderung bei dieser Innovation bestand in der Kombination der bekannten Möglichkeiten des Laserstrahl-Remoteschweißens von Stahlkomponenten mit den materialspezifischen Eigenschaften von Aluminiummaterialien innerhalb eines Prozesses. Bisher erfolgte das Laserstrahlschweißen monolithischer Aluminiumverbindungen - insbesondere bei einer Kehlnahtverbindung im Überlappstoß - nur mittels taktil geführter Bearbeitungsoptiken. Dies führt zu längeren Prozesszeiten. Außerdem wird die Schweißbarkeit im Allgemeinen durch die Zusammensetzung der Legierung bestimmt, die sich aus dem hochlegierten Drahtzusatzwerkstoff ergibt, der in den Laserstrahl eingeführt wird. Die Legierungskomponenten beeinflussen beispielsweise die Härtebarkeit, die Mikrostruktur und die Dynamik des Schmelzbades.

Bei der industriellen Herstellung von Stahlkomponenten hat sich das Laserstrahl-Remoteschweißen zu einer etablierten Fügetechnik entwickelt. Insbesondere ermöglicht die schnelle Strahlpositionierung dank des integrierten Scannerspiegels eine fast vollständige Vermeidung von Prozessunterbrechungen, was somit die Produktionsmenge und dadurch die Effizienz der Großserienproduktion signifikant erhöht. Die Vorteile des Laserstrahl-Remoteschweißens von Stahlkomponenten können jedoch aufgrund der Materialeigenschaften nicht vollständig auf Aluminiumkarosserien übertragen werden.

Eine der größten Herausforderungen bei der Innovation von Audi war der vollständige Ersatz der taktilen Führung. In Abhängigkeit der Form der zu fügenden Komponenten und der Schweißnahtgeometrie erfolgt die genaue Positionierung des Laserstrahls über einen Scannerspiegel mittels einer optischen Kantenerkennung auf Basis der Lasertriangulation. Zusätzlich kann über die optische Nahtführung des Scannerspiegels eine hochfrequente Oszillation gelegt werden, die an die Komponentengeometrie und die Prozessbedingungen angepasst wird. Dies kann beispielsweise genutzt werden, um Spalte zu überbrücken und die Breite der Schweißnaht sowie die Einschweißtiefe der zu fügenden Komponenten zu regeln.

Die gezielte Regelung von Schmelzen und Verfestigung und somit die flexible Bildung der Schweißnaht gemäß der vorgegebenen Fügegeometrie wird somit durch die optische Nahtführung in Kombination mit der spezifischen räumlichen und zeitlichen Laserstrahlmodulation ermöglicht. Der Ersatz des Schweißdrahtes durch eine optische Nahtführung ermöglicht eine signifikante Reduzierung der Roboterzufuhrbewegungen, eine Steigerung der Fertigungsgeschwindigkeiten bei gleichem Prozessergebnis und somit eine signifikante Steigerung der gesamten Prozesseffizienz. Das Laserstrahl-Remoteschweißen weist im Vergleich zum taktilen Laserschweißen Zeitersparnisse von etwa 53% auf. Nach zweieinhalb Jahren innovativer Entwicklung und aufgrund der erfolgreichen Einführung in die Türenproduktion des Audi A8 wird die neue Technologie zukünftig in weitere Fahrzeugprojekte eingebracht.

Fotos

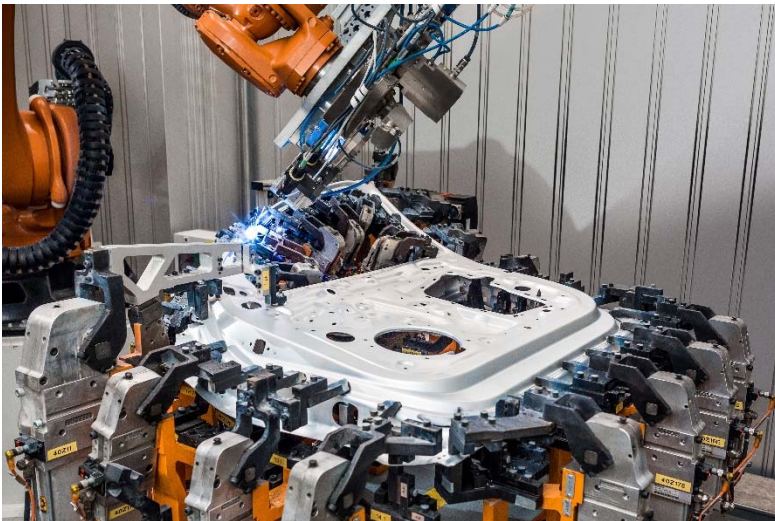


Foto 1: Serieneinführung des Laserstrahl-Remoteschweißens von Aluminium in der Audi A8-Türenfertigung (Copyright: AUDI AG)

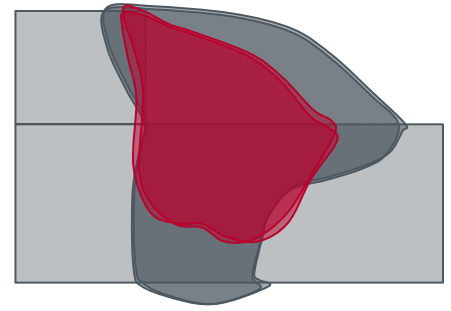
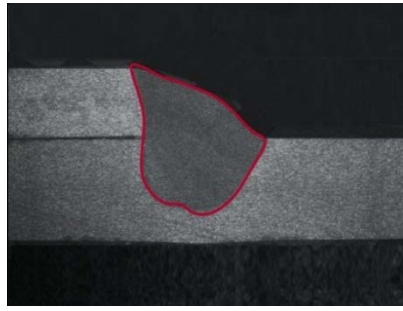
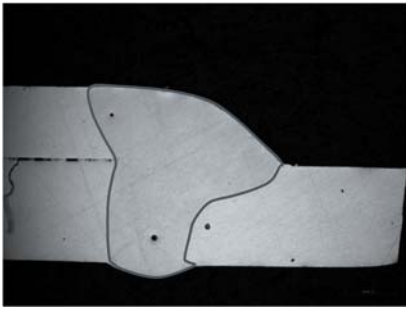


Foto 2: Querschliffe der Schweißnahtausbildung (Copyright: AUDI AG)

links: mit taktiler Prozesskontrolle und einer Streckenenergie von $P/v = 62 \text{ kJ/m}$

Mitte: Laserstrahl-Remoteschweißen mit einer Streckenenergie von $P/v = 33 \text{ kJ/m}$

rechts: Vergleich zwischen den resultierenden Schweißnahtausbildungen beim taktilen Laserstrahlschweißen (grau) und beim Laserstrahl-Remoteschweißen (rot)

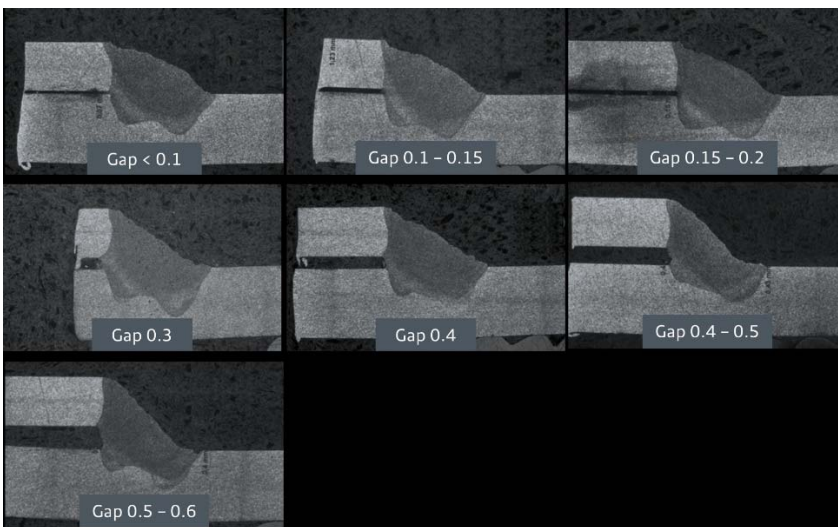


Foto 3: Schweißnahtausbildung als Funktion der vorhandenen Spaltmaße (Copyright: AUDI AG)