

**Schweißen von Mischverbindungen aus
Aluminiumguß- und Knetlegierungen mit
CO₂-Laser unter besonderer
Berücksichtigung der Nahtart**

Von Dr.-Ing. Klaus Thomas Goth
Universität Stuttgart



Herbert Utz Verlag · München

D93

Als Dissertation genehmigt von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Stuttgart

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. Hügel

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. H. Binz

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte
bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, Stuttgart, Univ. 2004

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch
begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des
Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wieder-
gabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der
Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch
bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2004

ISBN 3-8316-0427-4

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Inhaltsverzeichnis	7
Formelzeichen und Abkürzungen	11
Extended Abstract	15
1 Zielsetzung und Lösungsansatz	19
2 Ausgangssituation und Stand der Technik	21
2.1 Aluminium im Automobileichtbau.....	21
2.1.1 Aluminium als Konstruktionswerkstoff	21
2.1.2 Leichtbaukonzepte	23
2.1.3 Aluminiumhalbzeuge	25
2.1.3.1 Aluminiumbleche	25
2.1.3.2 Strangpreßprofile.....	26
2.1.3.3 Gußwerkstoffe.....	27
2.1.4 Wärmebehandlung aushärtbarer Aluminiumlegierungen	29
2.2 Laserstrahlschweißen von Aluminium	34
2.2.1 Verfahrensgrundlagen	34
2.2.2 Prozeßfenster.....	38
2.2.3 Prozeßstabilität.....	40
2.2.4 Schweißbeignung von Aluminiumwerkstoffen	42
2.2.4.1 Einfluß der Schweißwärme bei aushärtbaren Legierungen ..	42
2.2.4.2 Heißrißbildung	44
2.2.4.3 Wasserstoffporosität.....	48

3	Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung.....	52
3.1	Bearbeitungssystem und Prozeßparameter	52
3.2	Verwendete Materialien	53
3.3	Untersuchte Nahtarten.....	55
3.4	Auswertungsmethoden und Beurteilung.....	57
3.4.1	Nahtgeometrie.....	57
3.4.2	Prozeßstabilität.....	58
3.4.3	Wasserstoffporosität.....	59
3.4.4	Heißrisse	59
3.4.5	Mechanische Eigenschaften	59
4	Prozeßsicherheit beim Schweißen von Aluminiumgußlegierungen.....	60
4.1	Schmelzzonenform und Toleranzanforderungen	61
4.1.1	Einfluß der Legierung und Arbeitsparameter	61
4.1.2	Einfluß des Prozeßgases auf die Schmelzzonenform	64
4.2	Auswirkung des Prozeßgases auf die Prozeßstabilität	69
4.3	Nahtqualität	77
4.4	Zusammenfassung zu Kapitel 4.....	79
5	Auswirkung der Nahtart auf die Toleranzanforderungen	83
5.1	Fügespalt	84
5.1.1	Veränderung der Nahtgeometrie	86
5.1.2	Grenzwerte für das Auftreten von Bindefehlern.....	91
5.2	Strahlversatz.....	92
5.2.1	Auftreten von Bindefehlern.....	93
5.2.2	Veränderung der Nahtgeometrie	97
5.2.3	Mechanische Eigenschaften	98
5.3	Zusammenfassung zu Kapitel 5.....	100
5.3.1	Fügespalt.....	100
5.3.2	Strahlversatz.....	102

6	Auswirkung der Nahtart auf die Nahtqualität	104
6.1	Heißrißbildung	104
6.1.1	Legierungszusammensetzung in der Schweißnaht	104
6.1.2	Heißrißverhalten der untersuchten Legierungen.....	107
6.1.3	Heißrißverhalten bei I-Nähten am Überlapstoß.....	107
6.1.4	Heißrißverhalten bei Stumpfstoßverbindungen	117
6.2	Wasserstoffporosität	118
6.2.1	Auswirkung der Oxidschicht auf die Wasserstoffporosität	118
6.2.2	Auswirkung der Nahtart auf die Wasserstoffporosität.....	120
6.3	Zusammenfassung zu Kapitel 6.....	124
7	Zusammenfassung	127
	Literatur	131

1 Zielsetzung und Lösungsansatz

Seit Multi-kW Lasersysteme sowohl als Gaslaser als auch als Festkörperlaser zur Verfügung stehen, haben sich zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten mit dem Laserstrahlschweißen von Aluminiumlegierungen beschäftigt. Die entscheidenden Fragestellungen waren dabei die Prozeßstabilität (Prozeßporen, Schmelzauswürfe), die Heißrißneigung sowie die Wasserstoffporosität und der Prozeßwirkungsgrad.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] lag dabei bisher auf dem Einfluß von:

- Prozeßparametern (Schweißgeschwindigkeit, Strahlleistung, Fokussierbedingungen, Doppelfokustechnik),
- Materialeigenschaften (chemische Zusammensetzung, metallurgische und physikalische Eigenschaften) sowie der
- Strahlquelle (Wellenlänge, Strahlqualität etc.).

Dagegen wurde die konstruktive Gestaltung von Aluminiumverbindungen für die Laserschweißtechnik weit weniger berücksichtigt. Während konstruktive Richtlinien zur geeigneten Wahl von Fugenform, Stoßart und Nahtart im Bereich der traditionellen Schmelzschweißverfahren für Aluminium sowie für das Laserstrahlschweißen von Stahl [9] Stand der Technik sind, fehlen solche Grundlagen für das Laserstrahlschweißen von Aluminium weitgehend. Gerade dieses Fehlen von abgesicherten Konstruktionsempfehlungen erschwert den industriellen Einsatz der Lasertechnik für das Schweißen von Aluminiumlegierungen. Dabei bietet das Laserstrahlschweißen aufgrund des charakteristischen Tiefschweißeffektes eine Reihe von Möglichkeiten zur konstruktiven Gestaltung der Fugestelle, die mit anderen Schweißverfahren nicht zu realisieren sind.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es festzustellen, wie diese konstruktive Gestaltungsfreiheit für das Verbinden von *Mischverbindungen aus Aluminiumguß- und Aluminiumknetlegierungen* genutzt werden kann.

Hierzu wird der Einfluß der *Nahtart* hinsichtlich dreier für das Laserstrahlschweißen von Mischverbindungen entscheidender Fragestellungen beleuchtet:

- Toleranzanforderungen,
- Heißrißbildung und
- Wasserstoffporosität.

Dabei wird auf die Verwendung von Zusatzdraht zur Aufweitung des Toleranzfeldes und Heißrißvermeidung verzichtet. Entsprechend wird auch keine Vorbehandlung der Bauteile zur Verringerung der Wasserstoffporosität durchgeführt, da dies vor allem in der Serienfertigung mit erheblichen Nachteilen verbunden ist.

Wie in Bild 1.1 dargestellt, werden die Ergebnisse dieser Experimente in den Kapiteln 5 und 6 der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

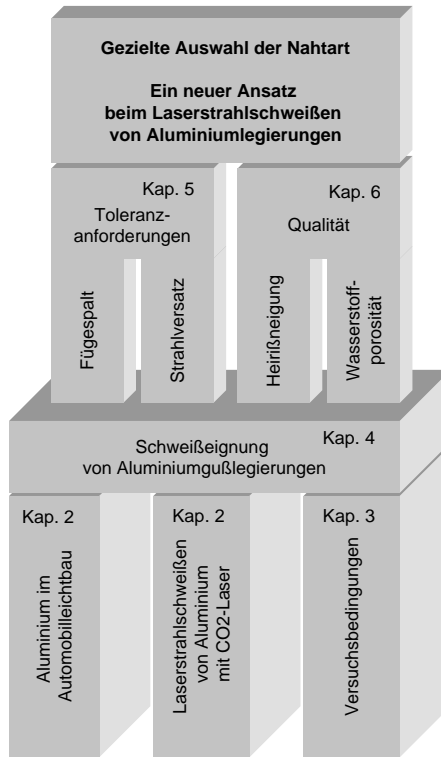


Bild 1.1: Aufbau und Lösungsansatz der Arbeit

Voraussetzung für die Aussagekraft der Untersuchungen ist ein stabiler und reproduzierbarer Schweißprozeß. Daher werden zunächst Studien zur Prozeßsicherheit beim Laserstrahlschweißen der verwendeten Aluminiumgußwerkstoffe durchgeführt. Die in Kapitel 4 (vgl. Bild 1.1) beschriebenen Ergebnisse fließen in die weiterführenden Untersuchungen ein.

Alle im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen erfolgen unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen im Automobileichtbau. Die Ergebnisse sollen damit als Hilfestellung dienen, die Laserschweißtechnik bereits in der Konstruktions- und Planungsphase als alternative Verbindungstechnologie für Aluminium in die Überlegungen mit einzubeziehen und gegenüber anderen Verfahren abzuwägen.