

Qualitätssicherung beim Laserstrahlschweißen

Von Dr.-Ing. Sven Breitschwerdt
Universität Stuttgart



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft
München

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, Stuttgart, Univ., 2001

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2001

ISBN 3-8316-0032-5

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

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

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Vorgehensweise	3
3	Möglichkeiten der Qualitätssicherung	8
3.1	Schweißnahttiefsensoren	12
	3.1.1 Plasma- und Metaldampfstrahlung	13
	3.1.2 Reflektierte Laserleistung	20
	3.1.3 Wärmestrahlung der Schmelzbadeoberfläche	22
	3.1.4 Akustische Emission	23
	3.1.5 Zusammenfassung Schweißtiefsensoren	24
3.2	Fokuslagensensoren	25
	3.2.1 Prozeßsensoren	26
	3.2.2 Taktile Sensoren	29
	3.2.3 Pneumatische Sensoren	31
	3.2.4 Optische Sensoren	32
	3.2.5 Zusammenfassung Fokuslagensensoren	33
3.3	Nahtlagesensoren	34
	3.3.1 Laserscanner	35
	3.3.2 Lichtschnittsensoren	37
	3.3.3 Aufsichtssensoren	40
	3.3.4 Taktile Sensoren	43
	3.3.5 Zusammenfassung Nahtlagesensoren	44
3.4	Fehlerüberwachung	45
	3.4.1 Plasmadetektion	46
	3.4.2 Schalldetektion	49
	3.4.3 Optische Detektion	50
	3.4.4 Kombinierte Systeme	53
	3.4.5 Zusammenfassung Fehlerüberwachung	56
4	Theoretische Grundlagen und Modellierung der Schmelzbadgeometrie	57
4.1	Laserstrahlschweißen	57
4.2	Energieeinkopplung und Keyholeausbildung	58
4.3	Schmelzbadausbildung	60
4.4	Einfluß der Konvektion auf die Schmelzbadform	62
4.5	Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen	66
5.	Versuchsaufbau und –vorbereitung	67
5.1	Aufbau Kamerasystem	67
5.2	Meßgenauigkeit des Sensorsystems	70
5.3	Versuchsaufbau	73
5.4	Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse	74
5.5	Zusammenfassung Versuchsaufbau und –vorbereitung	76

6.	Einflußfaktoren auf die Schmelzbadoberflächengeometrie	77
6.1	Einfluß der Laserleistung auf die Schmelzbadoberfläche	77
6.2	Einfluß der Strahlqualität auf die Schmelzbadoberfläche	79
6.3	Einfluß der Schweißgeschwindigkeit auf die Schmelzbadoberfläche	82
6.4	Einfluß des Werkstoffes auf die Schmelzbadoberfläche	84
6.5	Einfluß der Blechdicke auf die Schmelzbadoberfläche	87
6.6	Einfluß des Fügstellenstoßes auf die Schmelzbadoberfläche	90
6.7	Einfluß des Prozeßgases auf die Schmelzbadoberfläche	92
6.8	Detektierbarkeit von Schweißfehlern	94
6.9	Zusammenfassung der Einflußfaktoren auf die Schmelzbadoberflächengeometrie	97
7	Einfluß der Strahlposition auf die Schmelzbadoberflächengeometrie	98
7.1	Einfluß der Fokusslage auf die Schmelzbadoberflächengeometrie	98
	7.1.1 Kriterium Schmelzbadfläche/delta x	100
	7.1.2 Einfluß der Laserleistung auf das Fokuslagenkriterium	101
	7.1.3 Einfluß der Schweißgeschwindigkeit auf das Fokuslagenkriterium	102
	7.1.4 Einfluß der Fokussieroptik auf das Fokuslagenkriterium	103
	7.1.5 Einfluß von Ein- bzw. Durchschweißen auf das Fokuslagenkriterium	104
	7.1.6 Bestimmung der Fokusslage mittels Triangulation	106
7.2	Einfluß der lateralen Strahlage auf die Schmelzbadgeometrie	107
	7.2.1 Detektion eines Stumpfstoßes in Abhängigkeit vom Fügespalt	108
	7.2.2 Detektion eines Stumpfstoßes mit Anfasung	109
	7.2.3 Detektion eines Stumpfstoßes mit Höhenversatz	110
7.3	Zusammenfassung Einfluß der Strahlposition auf die Schmelzbadoberfläche	112
8.	Regelung der Schweißqualität	113
8.1	Aufbau eines Regelkreises	113
8.2	Regelungseinheit für die Laserleistung	115
8.3	Regelungseinheit für die Fokusslage	119
8.4	Regelungseinheit für die Nahtlage	124
8.5	Erfassung von Schmelzbadunregelmäßigkeiten	126
8.6	Zusammenfassung Regelung der Schweißqualität	128
9	Zusammenfassung und Ausblick	129
10	Literaturverzeichnis	131

1 Einleitung

Seit Anfang der 90er Jahre steht der Wandel weltweiter Wirtschaftsbeziehungen im Zeichen einer Globalisierung der Märkte und einer Internationalisierung der Produktionsstandorte. Die Chancen wachsender Umsätze und Gewinne durch Erweiterung der Absatzgebiete gehen einher mit ständig steigendem Konkurrenzdruck und damit der Notwendigkeit, Produktattraktivität und Kostenstrukturen zu verbessern. Hieraus leitet sich für die Automobilindustrie unter anderem der Zwang ab, die Fertigungskosten, die nahezu 50% der Herstellkosten eines Fahrzeuges umfassen, kontinuierlich zu senken.

Die Einsparungspotentiale durch ständige Verbesserung konventioneller Fertigungstechnologien stoßen dabei in vielen Bereichen an Grenzen, die keine ausreichenden Rationalisierungseffekte mehr erwarten lassen. Unterstützend werden deshalb neue, innovative Produktionsverfahren gesucht und zur Serienreife entwickelt, die Wettbewerbsvorteile für die Gegenwart und Zukunft versprechen. Eine dieser im Wachstum begriffenen Technologien ist die Lasertechnik mit ihrem breiten Einsatzspektrum innerhalb der Materialbearbeitung. Neben dem Laserschneiden, -bohren und -oberflächenbehandeln wird die Schweißtechnik in zunehmendem Maße für einen breiten Einsatz in der Serienproduktion interessant. Dieser Trend zeigt sich besonders signifikant in Europa und USA, wo schon heute, im Antagonismus zum Weltmarkt, ein Großteil der Hochleistungslaser in der Schweißtechnik eingesetzt werden, siehe Bild 1.

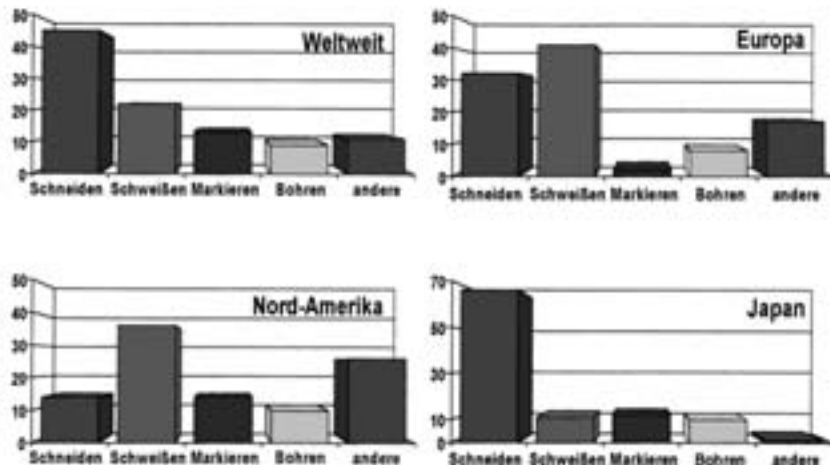


Bild 1: Unterschiedliche Einsatzfelder von Hochleistungslasern zur Materialbearbeitung in % [1]

Die technologischen und wirtschaftlichen Vorteile des Verfahrens werden dabei genutzt, um Konstruktionsanforderungen an Festigkeit, Dichtheit, Verzug und Nahtaussehen von Schweißverbindungen mittels hohen Prozeßgeschwindigkeiten und geringer Wärme-

einbringung zu erfüllen. Allein bei den "Big Three" (GM, Ford und DaimlerChrysler) stehen rund 600 bis 700 Strahlquellen zur Verfügung, die nahezu ausschließlich für Schweiß- und Beschriftungsanwendungen eingesetzt werden [2].

Obwohl die Automobilindustrie mit 11% Marktanteil an den verkauften Lasersystemen nur einen geringen Umsatzanteil am Gesamtlasermarkt in Westeuropa hat [3], ist das Bauteil- und Applikationsspektrum von Schweißanwendungen im Automobilbau sehr breit gefächert, siehe Bild 2. Neben Dünnpblechverbindungen im Karosseriebereich, die vorrangig zur Steigerung der Gesamtsteifigkeit eingesetzt werden, sind eine Vielzahl von Schweißapplikationen im Bereich der Aggregatefertigung in den Serienprozeß eingeführt.

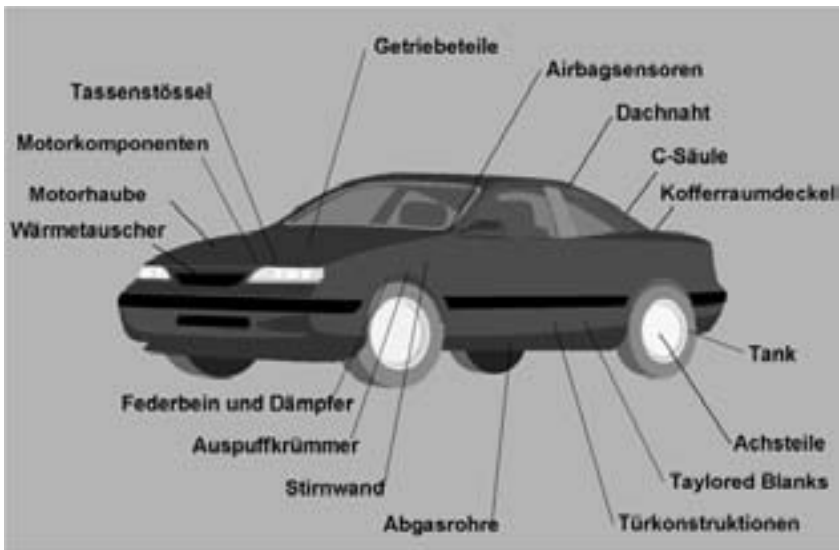


Bild 2: Laserschweißapplikationen im Automobilbau

Die Fülle der Einsatzgebiete und die daraus ableitbare Varianz der Nahtspezifikationen erschweren eine Standardisierung der Prozeß- und Qualitätsanforderungen. Bei einem Großteil der heutigen Serienanwendungen wird deshalb das Bauteil bzw. dessen Funktion statistisch qualifiziert. Diese Art der Qualitätssicherung läßt sich mit modernen Qualitätsmanagementsystemen, wie sie z. B. durch DIN ISO 900X vorgeschrieben sind, nur sehr schwer vereinbaren. Im Mittelpunkt des Interesses wird der reproduzierbare Fertigungsprozeß mit geeigneten Überwachungs- bzw. Regelungssystemen stehen. Die Entwicklung seriengeeigneter Prozeßüberwachungssysteme stellt deshalb ein zukunftssträchtiges Forschungsgebiet dar und leistet einen wichtigen Beitrag, die technologischen Vorteile der Laserschweißtechnik für den industriellen Einsatz in vollem Maße nutzbar zu machen.