

# Bericht 5121/2003

Nr. 07 03/685 60/946/01/1896/02/1897/03

Nr. 07 03/892 60/947/01/1898/02/1899/03

## **Verbesserung der Nahtqualität und Leistungsfähigkeit beim Laserstrahllöten im Vergleich zum Schutzgas- löten an dünnen, beschichteten Blechen**

Der Bericht darf nur ungekürzt und unter Nennung der Urheberschaft der SLV München, NL der GSI mbH, veröffentlicht werden. Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV München.

Der Bericht enthält 158 Seiten.

Dezember 2003

# Verbesserung der Nahtqualität und Leistungsfähigkeit beim Laserstrahllöten im Vergleich zum Schutzgaslöten an dünnen, beschichteten Blechen

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise</b> .....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
<b>3</b>	<b>Stand der Technik / Theorie</b> .....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
<b>4</b>	<b>Experimentelle Randbedingungen</b> .....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.1	Werkstoffe.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.2	Probenvorbereitung und Probenabmessungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.3	Nahtgeometrien bzw. Stoßformen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.4	Schutz- und Prozessgase .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.5	Laserstrahlanlage .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.6	MSG-Anlage .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7	Untersuchungs- und Prüfmethode n .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7.1	Metallografie.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7.2	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7.3	Härteprüfung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7.4	Korrosionsprüfung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7.5	Scherzugversuch.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.7.6	Schwingungsprüfung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>5</b>	<b>Verbesserung der Nahtqualität und Leistungsfähigkeit beim Laserstrahllöten im Vergleich zum Schutzgaslöten an dünnen, beschichteten Blechen</b> .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1	Laserstrahllöten .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.1	Modifikation der Anlagentechnik - Laseranlage..	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.2	Auswirkung der Löt- und Randbedingungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.2.1	Drahtwerkstoffe und reine Schutzgase .....	30
5.1.2.2	Drahtwerkstoff und aktive Schutzgasgemische.....	35

5.1.2.3	Zusammenfassung – Auswirkung der Löt- und Randbedingungen....	39
5.1.3	Untersuchung der Löttrissigkeit .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.4	Einfluß der Beschichtung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.5	Einfluß der Nahtform .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.6	Korrosionstest.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.7	Verbesserung der Leistungsfähigkeit beim Laserstrahllöten durch Heißdrahtzuführung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1.8	Zusammenfassung Laserstrahllöten...	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2	MSG-Löten.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2.1	Auswirkung der Löt- und Randbedingungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2.1.1	Lichtbogenarten .....	61
5.2.1.2	Schutzgaseinflüsse .....	63
5.2.1.3	Spritzervermeidung.....	64
5.2.1.4	Spaltüberbrückbarkeit .....	65
5.2.2	Untersuchung der Löttrissigkeit .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2.3	Einfluß der Beschichtungsdicke .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2.4	Einfluß der Nahtform .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2.5	Dynamische Prüfungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2.6	Zusammenfassung MSG-Löten.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.3	Vergleich Laserstrahl- und Schutzgaslöten..	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
6	<b>Diskussion</b> .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
8	<b>Schrifttum</b> .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
9	<b>Anhang</b> .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
9.1	Tabellen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
9.2	Bilder.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## 1 Einleitung

Das Hartlöten, insbesondere das Laserstrahllöten, bietet gegenüber den konventionellen Schweißverfahren – Widerstands-, Schutzgas- Laserstrahlschweißen – oder auch den mechanischen Fügeverfahren wie Clinchen und Durchsetzfügen einige technische und wirtschaftliche Vorteile. Die Bedeutung des Lötens nimmt in der Fertigung ständig zu. Neue Konstruktionen, höhere Anforderungen an die Blechwerkstoffe und die permanent abnehmenden Blechdicken können mit den heute eingesetzten Technologien immer schwerer erfüllt werden. Das Hartlöten bietet innovative Vorteile, die anstehenden Aufgaben zu einem hohen Maße zu erfüllen /1/.

Die vorliegende Untersuchung ermöglicht eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen und Leistungsfähigkeit beim Laserstrahl- und MSG-Löten. Durch die Erarbeitung wesentlicher Randbedingungen dieser beiden unterschiedlichen Fügetechnologien werden wichtige Voraussetzungen für einen breiten Einsatz auch in kleinen und mittleren Betrieben in Bayern geschaffen. Durch Einbeziehen zweier Verfahren in die Untersuchungen, die aus der modernen Fertigungstechnik nicht mehr wegzudenken sind, werden die Betriebe auch in die Lage versetzt, einen Vergleich anzustellen und für die gestellte Fertigungsaufgabe immer das am besten geeignete Verfahren einzusetzen /1, 2/. Die grundlegenden Ergebnisse lassen sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf das Plasmalöten, ein weiteres Lötverfahren in der Fertigung, übertragen /2/. Die Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit, bei dem die Lötversuche durchwegs mit geregelten Linearantrieben erfolgen, bieten zudem die Möglichkeit, im Falle von Nacharbeit in der Fertigung oder auch im Reparaturfall das MSG-Löten manuell durchzuführen.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt im Bereich der Entwicklung von neuen Produktionsbedingungen. Durch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen und der Fügequalität beim Laserstrahllöten und beim Schutzgaslöten bestehen Möglichkeiten, die wirtschaftliche Situation von kleinen und mittleren Betrieben in Bayern zu stärken. Sie können mit diesen Ergebnissen neue Arbeitsgebiete erschließen und die Wettbewerbssituation verbessern. Positive Ergebnisse aus der Forschungsarbeit werden auf unterschiedlichen Gebieten erwartet:

- Steigerung der Fertigungsqualität durch die Reduzierung von Lötrissigkeit,
- Reduzierung der Ausschussquote bzw. der Nacharbeit durch die Vergrößerung des Arbeitsfensters (Vergrößerung der Toleranzen), Reduzierung der Kosten,
- Steigerung des Arbeitsergebnisses durch die erhöhte Schweißgeschwindigkeit.

Der relativ günstige Investitionsaufwand ermöglicht vor allem auch den KMU's in Bayern, eine bestehende Fügeanlage – Laser oder MSG – nachzurüsten und so neue innovative Fertigungsverfahren mit geringem finanziellen Risiko einzusetzen. Durch die Erarbeitung neuer Kenntnisse, die zu Verbesserung der Produktqualität, kürzeren Fertigungszeiten und weniger Ausschuss führen, werden die Anwender in die Lage versetzt, eine stärkere Position gegenüber dem Wettbewerb einzunehmen.

Dies ist ein wichtiger Schritt zur Sicherung des Wirtschaftsstandortes Bayern. Die Erkenntnisse kommen vor allem den bayerischen Betrieben zu gute, da der Antragsteller durch die vielfachen, regional ausgerichteten Aktivitäten enge Kontakte zu den unterschiedlichen Branchen aus dem Bereich des Anlagen- und Behälterbaues, zum Kraftfahrzeughandwerk, zum Heizungs- und Lüftungsbau sowie Zulieferbetrieben für die in Bayern ansässigen Automobilhersteller unterhält. Die in Bayern tätigen Hersteller von Schweißgeräten und den dazugehörigen Systemkomponenten werden bei der Auswahl der benötigten Hilfsmittel zu Rate gezogen. Durch die enge Zusammenarbeit mit bayerischen Betrieben erfolgt der Kenntnistransfer auf kurzen Wegen schon während der Laufzeit der Forschungsarbeit. Die weitere Verbreitung der Kenntnisse erfolgt über Seminare, Tagungen, Schulungen, Vorführungen und Veröffentlichungen des Antragstellers.

Die Steigerung der Leistungsfähigkeit beziehen sich beim Laserstrahllöten auf das Erproben der Heißdrahttechnologie, d.h. der Zusatzwerkstoff wird über eine externe Stromquelle vorgewärmt und soll ein besserer Einbrand, eine Reduzierung der Fehleranfälligkeit und eine Steigerung der Schweißgeschwindigkeit erreicht /3/.

Beim MSG-Löten soll neben dem Vergleich zum Laserstrahllöten vor allem die Anwendung bei dick beschichteten verzinkten Blechen erprobt werden. Die meisten Erfahrungen liegen derzeit bei Schichtdicken von 7 – 12  $\mu\text{m}$  vor, wie sie bevorzugt im Automobilbereich eingesetzt werden. Moderne Stromquellen bieten aber auch die Möglichkeit, dickere Beschichtungen spritzerarm zu löten. Diese Technologie soll erstmals für das MSG-Löten erarbeitet werden. Die Lötverfahren sind nach derzeitigem Kenntnisstand anfällig durch Risse, die aber häufig durch das Lot sofort wieder geschlossen werden. Die Entstehung der Rissbildung und die Auswirkung auf die Festigkeit sind vergleichsweise unbekannt. Hierzu sollen grundlegende Erkenntnisse erarbeitet werden.