



Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Begriffsbestimmung
- 3 Laser
- 4 Merkmale
- 4.1 Laserbezogene Daten
- 4.2 Werkstoffbezogene Daten
- 4.3 Schmelzzonen
- 5 Verfahrenstechnische Besonderheiten
- 5.1 Werkstückvorbehandlung
- 5.2 Schutzgase
- 5.3 Spannvorrichtungen
- 5.4 Punkt- und Nahtschweißungen
- 5.5 Anwendungen
- 5.6 Strahlführung
- 5.7 Weitere Hinweise
- 6 Schweißung der Werkstoffe
- 6.1 Werkstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit, niedrigem Schmelzpunkt und geringem Reflexionsvermögen
- 6.2 Werkstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit, hohem Schmelzpunkt und geringem Reflexionsvermögen
- 6.3 Werkstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit und hohem Reflexionsvermögen
- 6.4 Werkstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit und geringem Reflexionsvermögen
- 6.5 Metallkombinationen
- 7 Prüfung der Verbindungen
- 8 Festigkeit
- 9 Einschlägige Merkblätter und Normen

1 Einleitung

Laserstrahlen lassen sich in der Verbindungstechnik als Wärmequellen zum Löt- und Schweißen einsetzen. Ziel des Merkblattes ist es, dem Anwender Entscheidungshilfen für den Einsatz des Laserstrahls zum Schweißen von metallischen Werkstoffen zu geben.

Es wird ein Überblick über die Grundlagen, die Anwendungen des Verfahrens und seine Besonderheiten gegeben. Ein weiteres Merkblatt über Anlagen wird später herausgegeben.

Für das CO₂-Laserstrahlschweißen ab 500 W Strahlleistung siehe Merkblatt DVS 3203 Teile 1 bis 4.

2 Begriffsbestimmung

Laserstrahlschweißen ist ein Schmelzschweißverfahren, bei dem ein Laserstrahl als Wärmequelle dient. Es eignet sich bevorzugt zum punkt- oder linienförmigen Verbinden von Werkstücken.

Der Laserstrahl wird beim Auftreffen auf ein Werkstück zum Teil absorbiert und führt zu einer örtlichen Erwärmung des Bauteils. Die Wärme fließt in das Werkstück und erzeugt ein Schweißbad. Das Schweißbadvolumen kann klein gehalten werden, zum Beispiel 1 mm³ bei Punktschweißungen. Bei linienförmigen Schweißungen werden Nahtbreiten bis etwa 1 mm erzielt.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e.V. und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

3 Laser

Man unterscheidet zwischen Festkörper- und Gaslasern, die kontinuierlich oder im Impulsbetrieb arbeiten. Die wichtigsten Festkörperlaser zum Schweißen sind der Neodym-Glas-Laser und der Neodym-YAG-Laser mit einer Wellenlänge λ im nahen Infrarotbereich ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$) sowie der heute weniger gebräuchliche, im roten Spektralbereich arbeitende Rubinlaser ($\lambda = 0,69 \mu\text{m}$).

Gepulste Festkörperlaser erzeugen Laserenergien bis zu 100 J und Impulszeiten bis etwa 20 ms. Die mittlere Leistung [W], definiert als Produkt aus Impulsenergie [Ws] und Anzahl der Impulse pro Sekunde, beträgt bei Nd-Glas-Lasern bis zu 100 W und bei Nd-YAG-Lasern bis zu 400 W. Wegen ihrer Möglichkeit, mit hoher Pulsfolgefrequenz zu arbeiten, werden Nd-YAG-Laser bevorzugt bei Nahtschweißungen mit niedriger bis mittlerer Impulsenergie und hoher Impulsfolgefrequenz eingesetzt.

Bei Neodym-Glas-Lasern ist die maximal erreichbare Impulsfolgefrequenz durch die thermischen Eigenschaften des Glasstabes je nach Impulsenergie auf 1 bis 3 Hz begrenzt. Deshalb werden sie hauptsächlich eingesetzt bei Schweißaufgaben, wo bis zu hohen Impulsenergien nur wenige Schweißpunkte erforderlich sind bzw. die Arbeiten mit höheren Pulsfolgefrequenzen nicht notwendig ist.

Als Gas-Laser werden heute nahezu ausschließlich im mittleren Infrarotbereich ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$) arbeitende CO₂-Laser eingesetzt mit Leistungen bis zu einigen kW. Schwerpunkt der Anwendungen sind Nahtschweißungen an Stählen. Für den feinwerktechnischen Bereich kommen aber nur Laser bis etwa 1 kW zur Anwendung.

In Zukunft könnten auch andere Lasersysteme, wie zum Beispiel UV-Laser mit Wellenlängen um 5 μm , Argon-Ionen-Laser mit Wellenlängen um 0,5 μm , leistungsstärkere UV-Laser mit Wellenlängen um 0,5 μm und Excimer-Laser mit Wellenlängen um 0,25 μm an Bedeutung gewinnen.

4 Merkmale

4.1 Laserbezogene Daten

Der Parameter, der das Schweißergebnis beim Laserstrahlschweißen maßgeblich beeinflusst, ist die auf das Werkstück auftreffende Strahlungsintensität J. Die in dem fokussierten Laserstrahl maximal erreichbare Strahlungsintensität hängt ab von

- der Strahlleistung P_L des Lasers,
- der Wellenlänge λ der verwendeten Laserstrahlung,
- der Brennweite f der verwendeten Fokussieroptik,
- dem Strahldurchmesser d beim Eintritt in die Fokussieroptik,
- der Modenordnung n, m des Lasers (n, m = 1, 2 ... 100 usw.), die die räumliche Leistungsverteilung im Laserstrahl kennzeichnet und durch die Laserresonator-Anordnung bestimmt ist,
- dem Brennfleckdurchmesser r_F .

Die Größen sind über die folgenden Beziehungen miteinander verknüpft:

DVS, Technischer Ausschuß, Arbeitsgruppe „Schweißen in Elektronik und Feinwerktechnik“

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.

DVS-Merkblätter und -Richtlinien - Stand 2008-12

$$J = \frac{P_L}{\pi \cdot r_F^2}; \quad r_F = \frac{f \cdot \lambda}{\pi \cdot d} \sqrt{(2m + 1)(2n + 1)}$$

Diese Gleichungen sind in der angegebenen Form sehr gut geeignet, um die Zusammenhänge bei kontinuierlich strahlenden Lasern zu beschreiben. Beim Impulsschweißen ist es günstiger, anstelle von Strahlleistung und Intensität die Impulsenergie und die Energiedichte zu verwenden. Dann müssen aber Impulsdauer und Impulswiederholfrequenz mitberücksichtigt werden.

4.2 Werkstoffbezogene Daten

Werkstoffbezogene Daten sind das Absorptionsvermögen der Werkstoffoberfläche sowie thermophysikalische Größen wie Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme des Werkstoffes und Wärmediffusionszahl (siehe hierzu Abschnitt 6.3). Diese Größen bestimmen die Energieaufnahme und den Wärmetransport im Werkstoff.

Trifft ein Laserstrahl auf eine metallische Oberfläche, so wird ein kleiner Teil vom Werkstoff absorbiert und der größte Teil reflektiert.

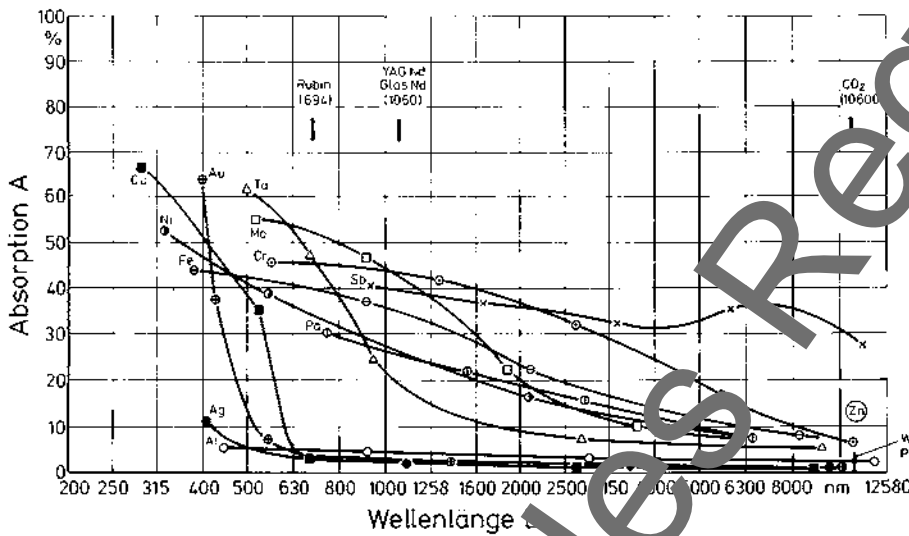


Bild 1. Absorptionsverhalten von Metallen bei verschiedener Wellenlänge. Ag Silber, Al Aluminium, Au Gold, Cr Chrom, Cu Kupfer, Fe Eisen, Mo Molybdän, Ni Nickel, Pa Protaktinium, Pt Platin, Sb Antimon, Ta Tantal, W Wolfram, Zn Zink; YAG Yttrium-Aluminium-Granat, Nd Neodym, CO₂ Kohlendioxid.

Bild 1 zeigt das spektrale Reflexionsvermögen einiger Metalle für niedrige Leistungsdichten bei Raumtemperatur. Absorption A und Reflexion R sind hier durch die Beziehung $A + R = 1$ miteinander verknüpft. Die Absorption kann sich mit der Leistungsdichte ändern und insbesondere bei höheren Leistungsdichten Werte von 90% annehmen. Dazu tragen Oberflächenveränderungen durch das Aufschmelzen und Wechselwirkungen zwischen Laserstrahl und verdampfenden Werkstoffbestandteilen (Plasmabildung) bei.

4.3 Schmelzzonen

Die in Abschnitt 4.1 und 4.2 genannten Schweißparameter beeinflussen entscheidend die Schmelzformen, Bild 2.



Bild 2. Schmelzformen in Metallen nach Laserstrahleinwirkung (schematisch):
 a) Wärmeleitungs-schweißen,
 b) Wärmeleitungs- und Tiefschweißen,
 c) Tiefschweißen

Unter dem Tiefschweißeffekt versteht man die Bildung einer Dampfzylinder aus Werkstoff, durch welche die Absorption der Strahlung in größeren Tiefen erfolgt.

5 Verfahrenstechnische Besonderheiten

5.1 Werkstückvorbereitung

Verunreinigungen wie Fette, Öle, Stäube, Rost oder Walzrückstände sind vor dem Schweißen zu entfernen.

Die Oberflächenrauheit im Schweißbereich sollte in ihrem Toleranzbereich nicht mehr als $R_a = 0,02$ mm betragen, da sie insbesondere bei Mikroschweißungen die Schmelzform beeinträchtigen kann.

Die Oberflächenrauigkeit beeinflusst den Reflexionsgrad der Oberfläche und macht sich nur bis zur Bildung der ersten Schmelze bemerkbar, ist dann aber für das Schweißverhalten ohne Belang.

Durch Aufbringen von absorbierenden Schichten, wie von Graphit, Sulfaten oder Phosphaten, läßt sich das Absorptionsvermögen und damit der Wirkungseffizienter von Laserstrahlenergie verbessern. Die Schweißung darf durch diese Maßnahme nicht wesentlich verschlechtert werden. Beim

Nahtschweißen sollte in der Regel der Stirnflächenabstand der stumpf aneinanderstoßenden Schweißteile nicht mehr als 1/10 der Nahttiefe betragen.

5.2 Schutzgase

Zum Schweißen werden häufig Schutzgase verwendet. Das jeweils eingesetzte Gas, die Strömungsgeschwindigkeit und die Strömungsrichtung bezogen auf die Schweißrichtung können Nahtaussehen und Schweißergebnis beeinflussen. So neigt Argon leichter zur Plasmabildung als Stickstoff, und der Einfluß auf die Oberflächenspannung sowie die eventuell mit der Schmelze auftretenden Reaktionen führen zu unterschiedlichen Erstarrungsformen des Schweißgutes.

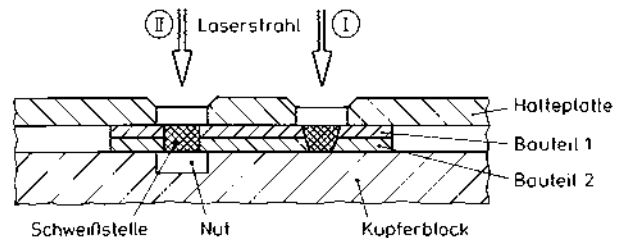


Bild 3. Halterung für dünne Bleche mit I hoher und II geringer Wärmeableitung; in der Praxis hat sich die Methode II durchgesetzt.