

Fügen von Aluminiumlegierungen mit Titan unter Verwendung eines Nd:YAG-Lasersystems

Joining aluminium alloys with titanium with the use of a Nd:YAG laser system

M. Kreimeyer*, F. Wagner, G. Sepold, BIAS Bremer Institut für angewandte Strahltechnik (BIAS), Bremen

Eingang 28. Dezember 2000

Key words

High power laser, joining, titanium, aluminium, intermetallic phases, flux, tensile strength

Abstract

With the use of high power laser sources ($\lambda=1.06 \mu\text{m}$) the joining of aluminium with titanium sheets can be performed. By application of controlled heat input, the temperature-time behaviour can be varied in such a way that intermetallic phases boundary layer will be regulated and the size of the brittle intermetallic layer is minimised. By such minimising of the layer geometry, joints with high tensile strength and good formability, without the use of filler wire metal and flux, can be achieved.

Kurzfassung

Durch Einsatz von Hochleistungslasern mit einer Wellenlänge von $1,06 \mu\text{m}$ ist es möglich Aluminium- mit Titanblechen, im Dünoblechbereich thermisch zu fügen. Durch gezielte Wärmeeinbringung läßt sich das Temperatur-Zeitverhalten so beeinflussen, daß ein

* Dipl.-Ing. Michael Kreimeyer, Dipl.-Ing. Florian Wagner, Prof. Dr.-Ing. Gerd Sepold, Bremer Institut für angewandte Strahltechnik (BIAS), Klagenfurter Straße 2, D-28359 Bremen. E-Mail Michael.Kreimeyer@uni-bremen.de

kontrolliertes intermetallisches Phasenwachstum auftritt und dieses in den Abmessungen auf ein unkritisches Maß beschränkt werden kann.

Durch Minimieren der intermetallischen Phasenbildung ist es möglich, Verbindungen mit guten Gebrauchseigenschaften, ohne Zugabe von Zusatzwerkstoffen und Flußmittel, reproduzierbar herzustellen.

Inhalt

- 1 Einleitung und Problemstellung
- 2 Verfahrensbeschreibung
- 3 Mechanische Eigenschaften
- 4 Zusammenfassung und Ausblick

1 Einleitung und Problemstellung

Im Bremer Institut für angewandte Strahltechnik ist ein Verfahren zum lasergestützten Fügen von Aluminium mit Titan entwickelt worden, mit dem sich eine stoffschlüssige Verbindung der beiden Werkstoffe erzielen läßt. Dieses Verfahren beruht auf den Untersuchungen und Erfahrungen zum Laserstrahlfügen von Aluminium mit Stahl [1,2,3]. Für das lasergestützte Titan-Aluminium-Fügeverfahren sind Anwendungsgebiete im Bereich des Anlagenbaus z.B. Wasseraufbereitungsanlagen (Meerwasserentsalzungsanlagen), Kraftwerkskomponenten (Formstücke, Behälter, Halterungen, usw.), sowie im Bereich der Verkehrstechnik zu sehen. Hier ist besonders der Flugzeugbau (Sitzschienen, Halterungen in korrosionsgefährdeten Zonen) und die Raumfahrt (Bauteile für Satelliten, Raumfahrzeuge) zu erwähnen.

In allen diesen Bereichen bietet sich der Werkstoff Titan aufgrund seiner sehr guten Resistenz gegen korrosive Medien, durch Ausbilden einer dünnen aber dichten Oxidschicht (TiO_2) [4], und seinem guten Verhältnis von Festigkeit zu Dichte, an. Durch Kombination und den Einsatz von Aluminium in weniger korrosionsgefährdeten bzw. mechanisch weniger beanspruchten Bereichen ist eine Materialeinsparung und damit eine Kostenreduktion im Anlagenbau, sowie in der Verkehrstechnik zu erwarten.

Aus Untersuchungen an Aluminium-Stahl-Verbindungen [1] ist bekannt, daß sich zwischen den beiden Werkstoffen bei Temperaturen von $T > 700 \text{ °C}$ intermetallische Phasen ausbilden. Eine vergleichbare Phasenbildung tritt auch bei den Titan-Aluminium-Verbindungen auf.

Dies ergibt sich bei der Betrachtung des Phasendiagramms in *Bild 1*. Im Zustandsschaubild Titan-Aluminium sind die möglichen intermetallischen Phasen zu erkennen. Beginnend von der Aluminium-reichen Seite bildet sich zunächst $TiAl_3$, $TiAl_2$, $TiAl$ und auf der Titan-reichen Seite Ti_3Al .

Die intermetallischen Phasen zeichnen sich durch ihre hohe Härte und Sprödigkeit aus und haben im allgemeinen einen negativen Einfluß auf die Verbindungen, wie schon in [1] nachgewiesen. Daher wurde das Laserschweißen in dieser Arbeit so modifiziert, daß hohe Temperaturgradienten und hohe Abkühlgeschwindigkeiten entstehen. Das diffusionsbedingte Phasensäumwachstum konnte minimiert werden. Die entstehenden Phasensäume sollen eine Dicke von maximal 10 μm aufweisen, um noch gute Gebrauchseigenschaften der Verbindung Aluminium-Titan zu erhalten.

2 Verfahrensbeschreibung

Bild 2 zeigt das Verfahrensprinzip zum lasergestützten Fügen von Titan mit Aluminium. In dieser Verfahrensanordnung werden die Bleche so gespannt, daß das Aluminiumblech vom Titanblech überlappt wird. Desweiteren befindet sich bei dieser Prozeßanordnung der defokussierte Laserstrahl zum größten Teil auf der Titanoberfläche.

Über das Titanblech erfolgt aufgrund des größeren Absorptionskoeffizienten von Titan für Nd:YAG-Strahlung der größte Teil des Energieeintrags. Ein kleinerer Leistungsanteil wird in das hochreflektierende Aluminium eingekoppelt. Die eingebrachte Strahlungswärme fließt aufgrund von Wärmeleitung durch das Titanblech in den Kontaktbereich zwischen dem Aluminium- und dem Titanblech. Dort kommt es zum Aufschmelzen des Aluminiumgrundwerkstoffes. Das durch die Wärmeeinbringung verflüssigte Aluminium benetzt das Titanblech (*Bild 3*). Im Verbindungsbereich bildet sich ein dünner Phasensaum von ca. 2 μm Dicke aus (*Bild 6*). Der Phasensaum ist frei von Rissen und Poren.

Aufgrund der hohen Affinität des Titans zu Atmosphärgasen, kommt es ab Temperaturen von 500°C zu einer unerwünschten Aufnahme von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff [6], was während des Prozesses einen coaxialen Gasschutz, sowie ein Wurzelgasschutz erforderlich machte. Diese Reaktionsfähigkeit des Titans wirkt sich beim Fügen von Titan mit Aluminium positiv aus. Der Sauerstoff, der in der Oxidschicht des Aluminiums (Al_2O_3)

gebunden ist, wird vom Titan aufgenommen und führt zur Zerstörung der Oxidschicht, so daß das flüssige Aluminium die Titanoberfläche benetzen kann. Dadurch sind Fügeverbindungen ohne Verwendung von Flußmittel und Zusatzwerkstoff realisierbar.

3 Mechanisch technologische Eigenschaften

Die mit dem vorgestellten Verfahren gefügten Bleche weisen alle ein gutes Festigkeits- sowie Umformverhalten auf. *Bild 5* zeigt die Spannungs-Dehnungs-Kurve für eine Überlappverbindung aus TiAl6V4-Blech und AlMg0,4Si1,2-Blech. Die untersuchten Zugproben versagten im statischen Zugversuch im Bereich des Aluminiumgrundwerkstoffs etwas außerhalb der Wärmeeinflußzone und nicht im Nahtbereich (*Bild 6*). Dabei wurden mittlere Zugspannungen von 220 MPa erreicht. Die maximal erreichte Zugspannung betrug 226 MPa und die minimale 192 MPa. Die Ergebnisse der Zugversuche sind in *Tabelle 1* wiedergegeben.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe von Hochleistungsfestkörperlasern (Nd:YAG-Laser) ist es möglich, Titan- und Aluminiumbleche im Blechdickenbereich von 1 mm reproduzierbar und mit guten Gebrauchseigenschaften der Verbindung herzustellen. Für den Fügeprozeß sind keine Hilfsstoffe oder Zusatzwerkstoffe erforderlich. Die stoffschlüssige Verbindung weist eine hohe Festigkeit und gutes Umformverhalten auf. Die beim Fügeprozeß entstandenen Phasensäume haben eine Dicke von 2 µm.

Die notwendigen steilen Temperaturgradienten lassen sich jedoch zur Zeit nur an relativ dünnen Werkstücken, mit Blechdicken von 0,8 mm bei Titan und 1,2 mm bei Aluminium, realisieren.

In weiteren Studien soll das Verfahren so modifiziert werden, daß es an größere Bauteilabmessung adaptiert und das Anwendungsspektrum für diese Füge-technik erweitert werden kann. Für die praktische Anwendung in der Produktion wurde bereits ein Rollenandruckverfahren entwickelt [7].

5 Literatur

- [1] [1] C.R. RADSCHIEDT: *Laserstrahlfügen von Aluminium mit Stahl*. Dissertation, Strahltechnik Bd.4 Bremen, BIAS Verlag (1997), Hrsg. G. Sepold, W. Jüptner, ISBN 3-9805011-3-2

- [2] [2] I. ZERNER, E. SCHUBERT, G. SEPOLD: *Laserstahlfügen von Aluminium mit Stahl. Neues zum Schweißen von Leichtbauwerkstoffen*. Erding, 24.-25. März 1998, Tagungsband, Verlag: SLV München GmbH (1998) S. 221-230
- [3] [3] E. SCHUBERT, I. ZERNER, G. SEPOLD: *Proceeding: New possibilities for joining by using high power diode lasers*. ICALEO, November 16-19, Orlando (Florida) (1998) S. 111-120, ISBN 0-912035-58-7
- [4] [4] M. PETERS, C. LEYENS, J. KUMPFERT: *Fortbildungsseminar Titan und Titanlegierungen*, vom 17-19 April 1996. DGM Informationsgesellschaft mbH, Oberursel (1996), ISBN 3-88355-224-0
- [5] [5] G. SCHULZE, H. KRAFKA, G. NEUMAN: *Schweißtechnik: Werkstoffe-Konstruieren-Prüfen*. VDI-Verlag, Düsseldorf (1996), ISBN 3-18-401584-X
- [6] [6] J. BARGEL, G. SCHULZE: *Werkstoffkunde*. VDI-Verlag, Düsseldorf (1988), ISBN 3-18-400823-1
- [7] [7] Vorläufige Mitteilung in BIAS bulletin 2/2000. Zur Veröffentlichung im Vortragsband zur Löt'01, vom Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (Düsseldorf). Der Tagungsband erscheint am 08.05.2001.

Bild 1 Zustandsschaubild Titan-Aluminium nach T.B. Massalski /5/

Fig. 1 Binary phase system of titanium-aluminium according to T.B. Massalski /5/

Bild 2 Verfahrensprinzip zum Fügen von Aluminium mit Titan

Fig. 2 Principle to join aluminium with titanium

Bild 3 Makroschliff einer laserstrahlgefügten TiAl6V4 und AlMg0,4Si1,2 Verbindung; $P_L=1,6$ kW, $v_L=1,0$ m/min; Ätzmittel: 100 ml H_2O , 10ml HF, 10 ml H_2O_2

Fig. 3 Detail view of a TiAl6V4 and AlMg0.4Si1.2 joint, $P_L=1,6$ kW, $v_L=1,0$ m/min, caustics: 100 ml H_2O , 10ml HF, 10 ml H_2O_2

Bild 4 Detailansicht einer laserstrahlgefügten TiAl6V4- und AlMg0,4Si1,2-Verbindung, $P_L=1,6$ kW, $v_L=1,0$ m/min; Ätzmittel: 100 ml H_2O , 10ml HF, 10 ml H_2O_2

Fig. 4 Cross section of a TiAl6V4 and AlMg0.4Si1.2 joint; $P_L=1.6$ kW, $v_L=1.0$ m/min; $P_L=1,6$ kW, $v_L=1,0$ m/min, caustics: 100 ml H_2O , 10ml HF, 10 ml H_2O_2

Bild 5 Spannungs-Dehnungskurve für eine TiAl6V4- und AlMg0,4Si1,2-Verbindung

Fig. 5 Stress-strain diagram of a TiAl6V4 and AlMg0.4Si1.2 joint

Bild 6 Versagen im Zugversuch durch Bruch im Grundwerkstoff

Fig. 6 Mechanical failure in the bulk material

Bild 7 Ermittelte Zug-Spannungswerte

Fig. 7 Detected stress-strain values