高出力 YAG レーザーを用いた溶接技術の研究 －超軽量金属（アルミニウム合金･マグネシウム合金）のレーザー溶接技術に関する研究）－

森山 淳児* 若狭 裕** 長尾 活雄** 宮川 敏夫** 藤岡 順三**

Study on high power YAG laser welding

by

MORIYAMA Junji*, WAKASA Yutaka**, NAGAO Katsuo**,
MIYAGAWA Toshio**and FUJIOKA Junzou**

抄録

Nd:YAGレーザー（以下YAGレーザー）は、優れたビーム品質を維持しながら高出力化が一段と進み、また光ファイバーを利用できるために加工の自由度が大きく、非常に注目されている。

しかし、高出力YAGレーザーは、ここ数年で著しく進んだために、CO_2レーザーを用いた加工技術と比較すると、その特性が十分に理解されておらず、今後の普及のためには、加工技術のデータベース化が急務である。本研究では、YAGレーザー溶接の系統的な技術蓄積のために、昨年度までの軟鋼、ステンレス鋼、純チタン、アルミニウム合金およびマグネシウム合金に引き続き、アルミニウム合金間同一材・異材接合、マグネシウム合金間同一材・異材接合、アルミニウム－マグネシウム合金間異材接合においての最適加工条件データベース化を行った。

１．緒言

近年実用合金上最も軽量であるマグネシウム合金の携帯情報機器や輸送機器への適用が進んでいる。

マグネシウム合金は最密六方構造であることから、室温での塑性加工性が著しく劣るため、主にダイカスト法などの鋳物によって作られており、溶接の検討は進んでいない。しかし近年ではプレス加工技術が大きく進展したため、展伸材の利用も進みつつあり、その場合には溶接技術はキーテクノロジーの一つとなる[1)]。

また大型構造物を作るには、ダイカスト材の溶接も一つの方法であり、そのデータベース化も重要である。

本研究では、6kW YAG レーザーを用いて、主にアルミニウム合金間同一材・異材接合実験、マグネシウム合金間同一材・異材接合実験、アルミニウムーマグネシウム合金間異材接合実験の 3 種類の実験を行い､溶接条件（レーザー出力、溶接速度）と溶接状態の関係を調査した。

２．実験方法

２.１ 実験装置

供試材として、アルミニウム合金とマグネシウム合金を用いた。アルミニウム合金については展伸材 A5052（2㎜、3㎜）とダイカスト材 ADC12（2㎜、3㎜）を、マグネシウム合金については展伸材 AZ31B（1㎜、2㎜ および 3㎜）とチクソモールド材 AZ91D（1㎜、2㎜）を用いた。本研究で使用した 6kW YAG レーザー装置の仕様を表１に示す。

表１ 6kW YAG レーザー装置仕様

ﾚｰｻﾞｰの方式	ＭＯＰＡ (Master Oscillator Power Amplifier)
発振波長	１．０６４μｍ
平均出力	６．０kW以上
ピーク出力	１８kW
ビーム品質	１００mm･ｍｒａｄ以下
光ﾌｧｲﾊﾞｰ	６００μｍ ＮＡ０．１５
周波数	３０～５００Ｈｚ
変調ﾃﾞｭｰﾃｨ	１００～４０%可変

* 長岡技術科学大学
** （株）レーザー応用工学センター

レーザー発振器から出射された光は、光ファイバー（コア径600μm）を用いて伝送し、焦点距離187 mmのコリメートレンズで平行光にした後、同じ焦点距離のレンズを用いて集光して加工に用いた。従って焦点位置でのビーム径は約600μmであり、焦点位置から±2 mm変化させてもビーム径は1割程度しか変化せず、深い焦点深度を持っている。また出力が高いと、焦点でのビーム径はわずかに大きくなるが、CO_2レーザーで見られたような焦点位置の変動はない。これはレンズ素材である石英の熱膨張係数が1×10^{-6} /K以下と非常に小さいことが大きく影響している。

２.２ ビードオンプレート溶接

溶込み深さやビード形状などの溶接特性を調べるため、ビードオンプレート溶接を行った。溶接する面の酸化膜を予めステンレス鋼製ワイヤーブラシを用いて除去し、さらに全ての試験で溶接前に表面をアセトンで洗浄した。またレーザー出力、溶接速度、シールドガス、ノズル径や焦点位置など変化させて、その影響を調査した。

２.３ 突合せ溶接

突合せ端部近傍の酸化膜をワイヤーブラシを用いて除去後、全ての条件で端部を十分にアセトン洗浄して、機械加工した端面を突合せて溶接した。レーザー出力、溶接速度を変化させて調べた。シールドガス及び焦点位置はビードオンプレート溶接と同じ条件で試験した。シールドは、センターガスシールド以外にバックシールドも必要に応じて併用した。

突合せ溶接の評価方法は、溶接表裏面の外観観察、断面のマクロ・ミクロ観察、ビッカース硬さ試験方法による硬度測定、引張試験及び曲げ試験とした。ビッカース硬さ試験、引張試験及び曲げ試験はJISに準じて行った。

３. 実験結果及び考察

３.１ アルミニウム合金間同一材・異材接合実験について

この実験では、出力形態を連続波とし、同一材突合せ溶接（A5052-A5052、ADC12-ADC12）と異材突合せ溶接（A5052-ADC12）を行った。

A5052-A5052では、溶接速度間でばらつきもなく、継手効率が安定していた。しかし、ADC12-ADC12やA5052-ADC12では、ビード形状や継手効率にばらつきが生じた。マクロ・ミクロ観察によりこの原因を追求したところ、ADC12を含んだ溶接では、ビード部にポロシティが生じていることがわかった。また、ADC12を含んだ溶接では、A5052-A5052の時と比べ曲げ性が劣っていることがわかった。

ビード部のポロシティの発生原因は、鋳造時に巻き込まれた空気や潤滑材、離型材中のCH_X、H_2などが溶接時の加熱による膨張や溶融による固液の溶解度差による放出によって残留することにある。

これを改善するため、Twin-Beamによる溶接実験を行ったところ、気泡の回復（溶融金属による気泡部の再充填）が見られた。

３.２ マグネシウム合金間同一材・異材接合実験について

この実験では、出力形態を連続波とし、同一材突合せ溶接（AZ31B-AZ31B、AZ91D-AZ91D）と異材突合せ溶接（AZ31B-AZ91D）を行った。

マグネシウム合金の突合せ溶接では、同一材・異材突合せ溶接をそれぞれ行うと、ビード部に常に穴が空いてしまい、最適加工条件を得ることができなかった。これは、レーザー溶接時に溶融池が表面張力などの影響によって穴が広がり、そのまま残留することに原因があると考えられる。

これを改善するため、突合せ間に間隙を0.05mmtだけ入れると、2mmtではビード部の穴が改善された。しかし、アルミニウム合金の時と同様、溶接速度条件間で継手効率やビード形状にばらつきが生じた。また、1mmtでは間隙を入れてもビード部の穴は改善されなかった。

３.３ アルミニウム合金－マグネシウム合金間異材接合実験について

この実験では、出力形態として連続波及びパルス波を用いて、厚さ3mmtのA5052-AZ31Bの突合せ接合を行った。

レーザー入射位置が溶接結果に大きく影響することが確認され、シールドガスとしてArを用いてA5052側に入射し、パルス波を用いて加工ヘッド傾斜を後退角とすると溶接品質良好となり、レーザーピーク出力13.5kW(PW)、溶接速度2m/minで最大引張強度20.3MPa（母材強度比9.7%）が得られた。破断位置は溶融部で、溶融部には、Al_3Mg_2、$Mg_{17}Al_{12}$の金属間化合物の存在が確認された。

４．結言

（１）高出力YAGレーザーを用いてアルミニウム合金及びマグネシウム合金の突合せ溶接を行い、溶接条件と溶接結果との関係を明らかにした。

（２）今後展伸材の溶接構造やダイカスト材の大構造物など溶接の必要性が広がると考えられる。更なるレーザー溶接の技術の進展が重要である。

参考文献

1)K. Haferkamp, I. Burmester, N. Niemeyer, E. Doege and K. Droeder.: Innovative production technologies for magnesium light-weight constructions-Laser beam welding and sheet metal forming. Proc. Int. Symp. Automot. Technol. Autom. 30th, (1997) p247.