

AZ31 マグネシウム合金薄板のパルスミグアーク溶接による溶接継手の形成

藤江 正嗣*, 全 紅軍**, 村上 太一***, 中田 一博***

Joint Formation of AZ31 Magnesium Alloy Sheet by Pulsed MIG Arc Welding

Masatsugu Fujie*, Hongjun Tong**
Taichi Murakami*** and Kazuhiro Nakata***

Weldability of AZ31 magnesium alloy sheet with 1.6 mm in thickness was investigated by DC pulse MIG welding with AZ61 magnesium alloy wire of 1.2 mm in diameter at bead-on-plate and lap joints. The appropriate welding condition range was determined by changing parameters of welding current and welding speed as well as joint gap and torch aiming. In lap joint, it was possible to obtain weld bead of good quality at welding speed up to 170 cm/min. The maximum joint gap to be welded was 0.8 mm at the welding current of 58 A and welding speed of 80 mm/min at the adequate torch aiming. The tensile strength of the lap joint, which fractured at HAZ near fusion boundary of lower sheet, was the range from 145 to 165 MPa, 62 to 65% of that of the base metal.

Key word: MIG arc welding, AZ31 magnesium alloy, lap joint, jointing gap

1. 緒 言

マグネシウム合金は実用金属中で最も軽量であり、かつ高い比剛性、電磁波遮蔽性、熱伝導性、リサイクル性などの利点を持っているため、光学機器、コンピュータ、音響機器などの筐体材料等に適用されている¹⁾²⁾。また、軽量化による燃費向上のために自動車産業にも構造・部品材料等に適用されており、省エネルギーや環境公害規制などの問題に対しても有効である³⁾⁴⁾。このように

マグネシウム合金は構造材料として様々な用途が可能である。しかし、現状ではマグネシウム合金の使用頻度は決して高くない。その主な原因の1つとして、構造材料への適用に必要な不可欠な溶接・接合法が確立されていないことが挙げられる。マグネシウム合金は基本的にアルミニウム合金と同様の溶接法が適用可能とされている⁵⁾⁶⁾にもかかわらず、現在実用的に用いられている溶接法のはほとんどはティグ溶接法である⁷⁾。いっぽう、アルミニウム合金の溶接には溶融溶接法としてティグ溶接とともにミグ溶接が高能率溶接法として多用されている。しかし、マグネシウム合金についてのミグ溶接法の適用性に関する検討はまだほとんどなされていないのが現状である⁸⁾⁹⁾。特に、マグネシウム合金を軽量構造材料として用

* 大阪大学大学院 Graduate School of Engineering, Osaka University

** 株式会社ダイヘン DAIHEN corporation

*** 大阪大学接合科学研究所 Joining and Welding Research Institute, Osaka University
原稿受付 2003年6月27日

いるためには、その薄板の溶接・接合法の確立が早急の課題となっている。

このため本研究では溶接電流のパルス化による低入熱溶接が可能なパルスミグ溶接法に着目し、マグネシウム合金薄板へのミグ溶接法の適用性を検討し、溶接継手の形成及び得られた溶接部の機械的特性を検討したものである。

2. 実験方法

供試材料は、厚さ1.6 mmのマグネシウム合金AZ31板と直径1.2 mmのAZ61マグネシウム合金溶接ワイヤである。マグネシウム合金の組成及びその融点¹⁰⁾をTable 1に示す。マグネシウム合金部材は酸化皮膜に覆われており、溶接時に悪影響を及ぼすため¹¹⁾、溶接直前にワイヤブランによりこれを除去し、その後アセトンにより母材表面を洗浄した。

まず、重ね継手との比較のために、溶接電流と溶接速度をパラメータとしてビードオンプレート溶接を行い、得られた溶接部の外観検査及び溶接部断面の溶込み形状より適正条件範囲を選定した。

次に、溶接電流と溶接速度をパラメータとして重ね継手溶接を行い、溶接部の外観検査ならびにX線透過写真及び溶接部断面の溶込み形状より適正条件範囲を選定した。さらに適正条件範囲内の溶接電流、溶接速度から継手ギャップとトーチねらい位置をパラメータとしてそれぞれの裕度を検討した。なお、継手ギャップ及びトーチねらい位置の配置図はFig. 1に示すとおりである。ねらい位置は0.6 mm間隔とし、また、継手ギャップは0.25, 0.5, 0.8及び1.0 mmと変化させた。

直流パルスミグ溶接のパルス条件は、ピーク電流：360 A、ベース電流：30 A、ピーク期間：1.5

msで、パルス立ち上がり時間：1.0 ms、パルス立ち下り時間：1.0 msの台形パルス波形であり、平均電流はパルス周波数を変化させることにより52～114 Aと変化させた。またワイヤ送給速度は600～1200 cm/minであった。シールドガスにはAr(20l/min)を用いた。また、下向き姿勢でトーチ前進角は6度とした。

溶接部断面のミクロ組織観察のために溶接部断面はエミリー紙及びダイヤモンドバフ研磨により鏡面仕上げを行い、研磨後5%ナイトールで腐食した。硬さ試験はマイクロビッカース硬さ試験機により、荷重0.49 Nで行った。硬さ分布の測定位置はFig. 2に示すとおりである。上板は中心軸から上板方向へ、下板は中心軸から左右両方向へ向かって測定した。また、溶接継手の機械的性質を評価するために、最適溶接条件より得られた良好な溶接継手を用いて、溶接線に対して引張方向が垂直となるように引張試験を行った。引張試

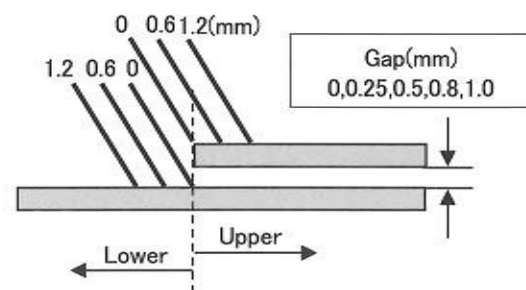


Fig. 1 Set up of joint gap and torch aiming positions at lap joint welding

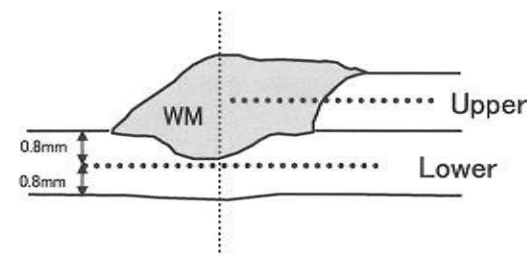


Fig. 2 Measurement of position of micro vickers hardness at the half of sheet thickness.

Table 1 Chemical composition and melting point of Mg alloys

Material	Alloy	Chemical composition (mass%)				Melting point (K)
		Al	Zn	Mn	Mg	
Base metal	AZ31	3.01	0.81	0.51	Bal.	900
Filler wire	AZ61	6.48	0.69	0.35	Bal.	891

試験片には20 mm×180 mm×1.6 mmの短冊形の試験片を用いた。引張試験後、走査型電子顕微鏡(SEM)による破断面観察を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 ビードオンプレート溶接による適正条件の検討

溶接速度の変化による溶接ビード外観及び断面形状の違いを、溶接電流78 Aを例に取りFig. 3に示す。一般的にアーク溶接では、単位溶接長あたりの溶接入熱によってビード幅や断面形状が変化する。溶接速度120 cm/minでは入熱量過大なために断続的に大きな溶落ちが見られた。溶接速度200 cm/minでは入熱量が過小なため安定した溶接ビードは得られたものの余盛が大きく、溶込みはほとんど得られなかった。溶接速度150 cm/minではビード外観、溶込み形状共に良好なものが得られており、この条件は適正なビードを得るために十分な入熱量であると確定できる。

Fig. 4にビードオンプレート溶接における溶接電流及び溶接速度をパラメータとした時の適正条件範囲を示す。適正条件範囲は、大きな溶落ちとなる溶接ビード、良好な溶接ビード及び溶込み不足となる溶接ビードの3段階に区分して選定した。溶接入熱の関係より適正条件は溶接電流が増

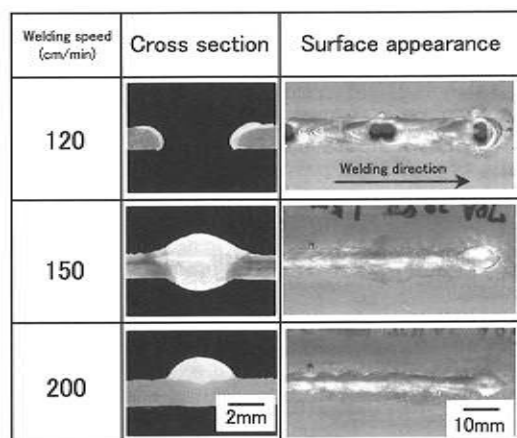


Fig. 3 Macrostructure of cross section and surface appearance of bead-on-plate weld bead at welding current 78 A.

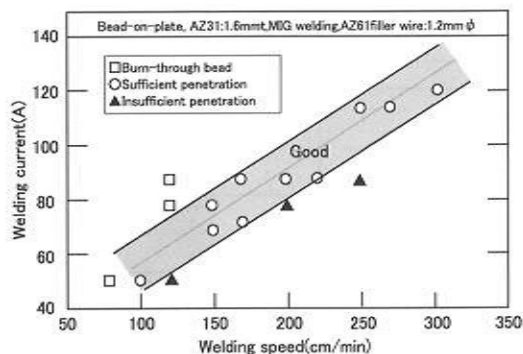


Fig. 4 Effect of welding speed and welding current on the formation of weld bead at bead-on-plate welding.

加するに従って高溶接速度側に移行し、両者の間には次式の実験式が得られた。

$$\text{溶接電流 (I)} = 0.37 \times \text{溶接速度 (V)} + 17 \pm 5 \quad (1)$$

このことは一定の入熱量に対しては良好なビードが得られることを示している。

3.2 重ね継手溶接による適正条件の検討

3.2.1 適正条件の評価

溶接速度の変化による溶接部の断面形状、溶接ビード外観及びX線透過写真による溶接欠陥の影響を溶接電流58 AについてFig. 5に示す。継手ギャップ及びトーチねらい位置は基本的な条件としてそれぞれギャップ0 mm及びねらい位置下板0 mmとした。溶接速度60 cm/minでは入熱過大となるために過度の溶込みが見られた。溶接速度150 cm/minでは溶着量不足のために断続的なビードとなり、下板への溶込みはほとんど得られなかった。溶接速度80 cm/minではビード外観、溶込み形状共に良好なものが得られた。また、X線透過写真からわかるように溶接ビード部での気孔及び割れはいずれも認められなかった。溶接速度60 cm/min及び150 cm/minで見られる欠陥はそれぞれ溶落ち及び不連続ビードによるものであり、いずれもビード外観からも確認することができる。

Fig. 6に重ね継手溶接における溶接電流及び溶接速度をパラメータとした時の適正条件範囲を示

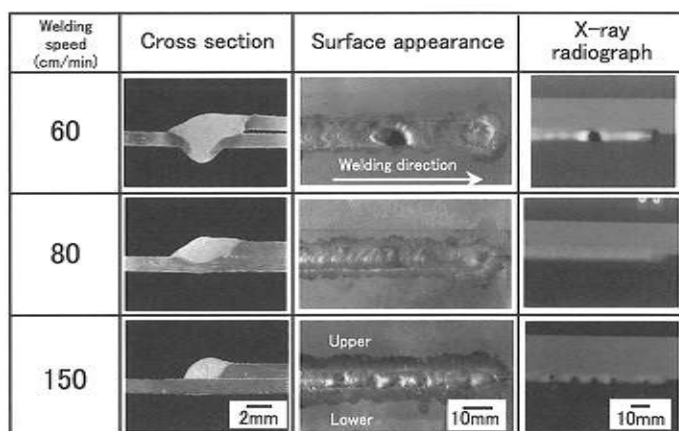


Fig. 5 Macrostructure of cross section, surface appearance and X-ray radiograph of lap joint weld bead without joint gap at welding current 58 A.

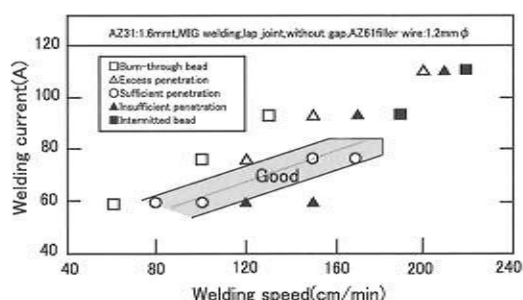


Fig. 6 Effect of welding speed and welding current on the formation of weld bead at lap joint without gap.

す。適正条件範囲は大きな溶落ちとなる溶接ビード、過度の溶込みとなる溶接ビード、良好な溶接ビード、溶落ち不足となる溶接ビード及び溶着量不足による不連続ビードの5段階に区分して選別した。重ね継手溶接においてもビードオンプレート溶接と同様の傾向を示し、適正条件はほぼ次式の直接関係にあった。

$$\text{溶接電流 (I)} = 0.32 \times \text{溶接速度 (V)} + 29 \pm 6 \quad (2)$$

溶接電流93 A以上ではアークが不安定となるためにいずれの速度でも適正条件を得ることができなかった。ビードオンプレート溶接の適正条件

範囲と比較して、重ね継手溶接の適正条件範囲の方が許容される入熱範囲が高入熱側で広いことがわかる。重ね継手は上板エッジを溶かしつつ下板に溶融池を形成するため、アーク熱が下板に集中しない。よって裏ビードも形成しにくく、溶落ちも起こりにくいため、より大きな入熱でも良好なビードを形成することができると考えられる。

次に、ギャップ0 mmの適正条件である溶接電流58 A、溶接速度80 cm/minにおける継手ギャップ変化の溶接ビード形成への影響をFig. 7に示す。継手ギャップ0.8 mmまでではアークが若干不安定となるものの良好なビードが得られた。継手ギャップを1.0 mmまで広げると上板エッジへの溶込みが不十分となり、継手が断続的となる不連続ビードが形成された。

Fig. 8に溶接電流58 A、溶接速度80 cm/minとして、継手ギャップ及びねらい位置をパラメータとした時の適正条件範囲を示す。トーチねらい位置を上板に定めた場合は、全ての条件において溶込み不足となった。これはアーク熱が上板のみに集中し、下板まで溶込みが達しなかったためである。つまり上板にねらい位置を定める時はギャップ0 mmよりも大きな入熱にすれば下板まで溶込みが達し、良好なビードが得られる。トーチねらい位置を下板に定めた場合はねらい位置が中心部からはずれるにしたがって、ギャップ裕度は減

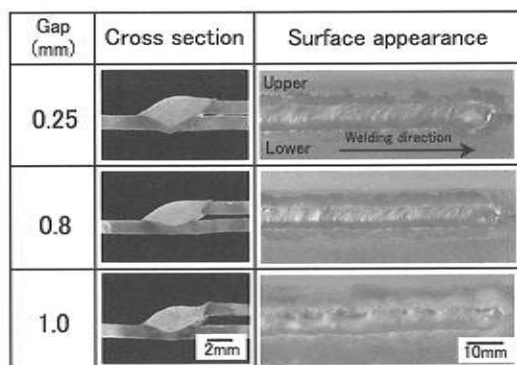


Fig. 7 Macrostructure of cross section and surface appearance of weld bead at torch aiming position of lower 0 mm.

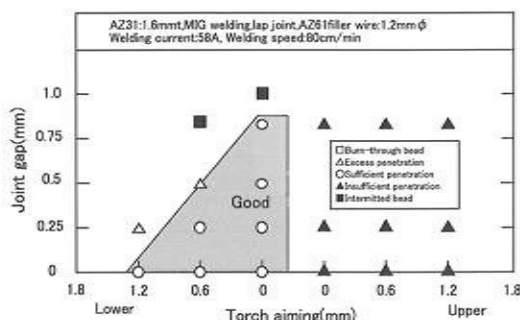


Fig. 8 Effect of torch aiming position and joint gap on weld bead formation at welding current 58 A and welding speed 80 cm/min.

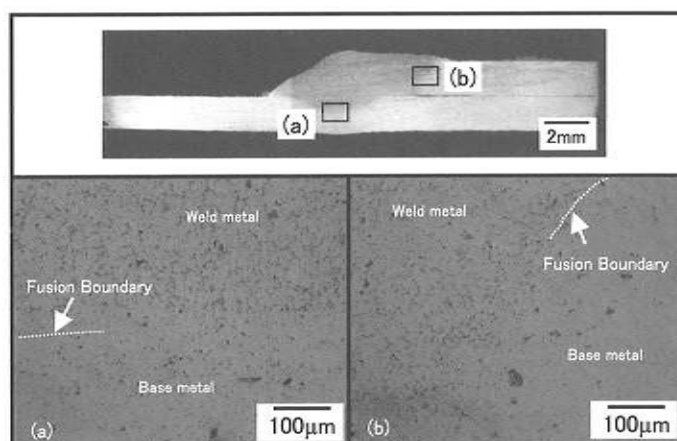


Fig. 9 Microstructure of cross section at fusion boundary of MIG lap joining weld at welding current 75 A and welding speed 150 cm/min; (a) Lower sheet side, (b) Upper sheet side.

少した。これはアークが下板に集中するために上板エッジを十分に溶かすことができなかったためである。

3.2.2 継手断面組織

溶接電流75 A、溶接速度150 cm/min及び溶接電流58 A、溶接速度150 cm/minの条件での溶融境界部の断面ミクロ組織をFig. 9及びFig. 10にそれぞれ示す。(a)が下板側の溶融境界部であり、(b)が上板側の溶融境界部である。溶接金属中では凝固組織のサブ粒界に非平衡凝固により晶出した β 相($Al_{12}Mg_{17}$)が認められた¹²⁾。また、溶融境界部は組織観察により容易に識別できた

が、熱影響部と母材との境界は不明瞭であった。

また、Fig. 10では入熱量不足のために下板の溶込み不足が発生し、(a)のように融合不良部分も見られた。

3.2.3 硬さ分布

溶接部断面での硬さ分布を溶接電流58 A、溶接速度80 cm/minの条件を例に取り、Fig. 11に示す。硬さ測定位置は上板及び下板それぞれFig. 2に示すとおりとした。Fig. 11(a)より溶接金属部は β 相が晶出した凝固組織のために硬さ分布に大きな変動が見られるとともに、母材よりも若干高い値を示した。これは溶融金属のMg量の増加

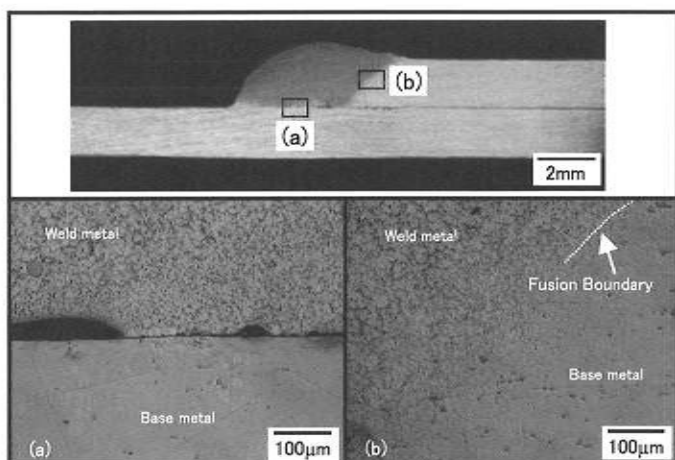


Fig. 10 Microstructure at fusion boundary of cross section of MIG lap joint weld with insufficient penetration at welding current 58 A and welding speed 150 cm/min; (a) Lower sheet side, (b) Upper sheet side.

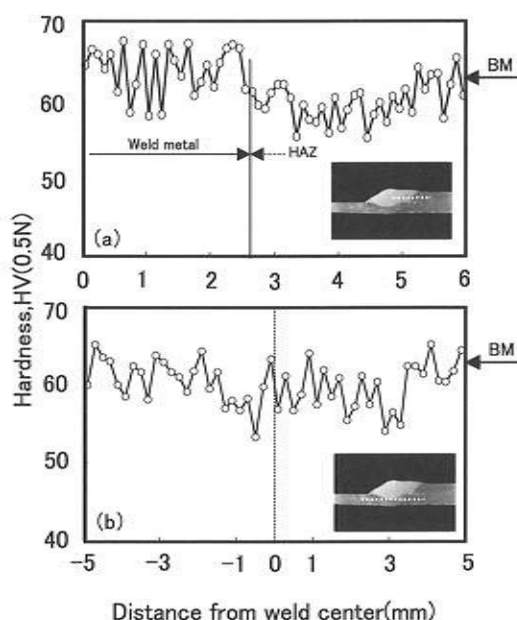


Fig. 11 Hardness profiles of MIG lap joint at welding current 58 A and welding speed 80 cm/min.

に伴うものである。また、熱影響部は母材よりもわずかではあるが硬さは低下した。

Fig. 11(b)より下板側の熱影響部も上板側の熱影響部と同様に母材と比較して硬さは若干低下し

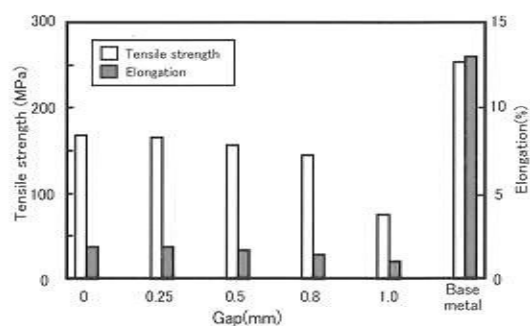


Fig. 12 Effect of lap joint gap on tensile strength and elongation of weld joints at welding current 58 A and welding speed 80 cm/min with torch aiming 0 mm on lower sheet.

た。AZ31 マグネシウム合金の溶接における熱影響部の硬さ低下が比較的小さい傾向は摩擦圧接継手や電子ビーム溶接においても同様に報告されている^{(13),(14)}。

3.3 継手引張強さ

引張強さと伸びに及ぼす継手ギャップの影響を Fig. 12に示す。ギャップなしでは引張強さ165 MPaと母材の65%の継手効率を示し、ギャップ裕度が大きくなるにつれて継手強度は低下する傾向にある。ギャップ0.8 mmでは引張強さ145

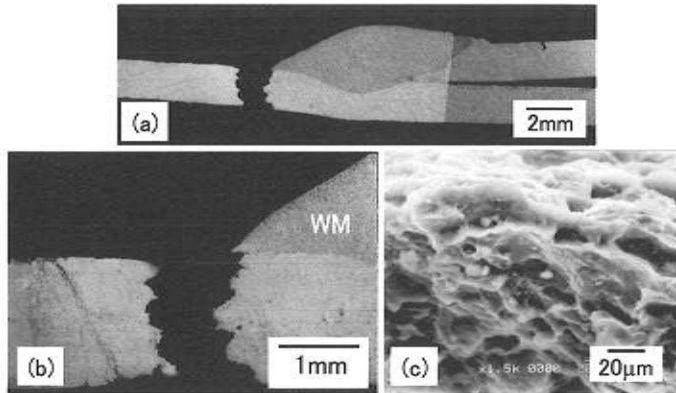


Fig. 13 (a) Macro-and (b) microstructure of cross section of MIG lap joint welds after tensile test and (c) SEM fracture surface at HAZ; Welding current 58 A, Welding speed 80 A.

MPaまで低下し、継手効率は母材の62%であった。また、伸びはギャップ0~0.8 mmにおいていずれも2%以下と低い値を示した。

Fig. 13にギャップなしでの引張試験後の試片破断状況を示す。(a)が破断位置のマクロ断面、(b)が破断位置のミクロ写真及び(c)は破断面のSEM観察結果である。良好なビード形状である継手ギャップ0~0.8 mmの範囲ではいずれも破断位置は下板側の境界部から熱影響部にそっており、この部分に変形が集中したことが伸びの値が小さい原因と考えられる。また、破面は延性破壊を示すディンプルパターンであり、ギャップによるディンプル形状には明瞭な相違は認められなかった。しかし、ギャップ1.0 mmでは接合不十分である上板側の溶接継手部から破断した。

4. 結 言

マグネシウム合金薄板(板厚1.6 mm)のパルスミグ溶接性について適正溶接条件範囲を実験的に求めるとともに得られた溶接継手の引張強度特性を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 適正溶接条件範囲を選定することにより、AZ31マグネシウム合金薄板(1.6 mm)のビードオンプレート溶接及び重ね継手溶接は溶接ワイヤAZ61(1.2 mmφ)を用いたパルスミグ溶接により可能であることを示した。
- 2) ビードオンプレート溶接及び重ね継手溶接の

いずれにおいても、溶接電流の増加とともに溶接速度を増加させることにより、一定の溶接熱範囲内で良好なビード及び溶込み形状を得ることができた。

3) 重ね継手溶接において適正条件範囲内で、重ね継手ギャップ及びねらい位置を変化させた場合、ねらい位置は下板ねらいで最大0.8 mmのギャップ裕度を得られた。また、上板にねらい位置を定めた場合はギャップの有無に関わらず、良好な溶込みを得ることはできなかった。

4) 重ね継手溶接の引張強さは母材の62~65%の継手効率が得られた。また伸びは母材約13%に対して2%と低い値を示した。

参 考 文 献

- 1) 高谷松文: 表面技術, 44 (1993), 874
- 2) 小島 陽: 表面技術, 49 (1993), 866.
- 3) 松井 彰: マグネシウム, 20 (1991), 1
- 4) 李 斗勉, 李 俊瑞, 李 智喚: 軽金属, 47 (1995), 391.
- 5) Arthur L. Phillips: Welding Handbook, 6th Ed., AMERICAN WELDING SOCIETY, (1973).
- 6) Dow magnesium company: Joining Magnesium, 1990
- 7) 朝比奈敏勝, 時末 光: 軽金属, 45 (1995), 70.
- 8) LLOYD F. LOCKWOOD: Welding Journal, 49 (1970), 464.
- 9) H. Wohlfahrt, M. Rethmeier and S. Wiesner: Joining of lightweight magnesium alloys by MIG welding, proc. of the 7th Int. Symp., JWS, 2001, Kobe, 375.

- 10) 中田一博, 他: Mg合金の交流ティグ溶接性に及ぼす電極極性比率の効果, 溶接学会春期全国大会講演概要集, 66 (2000), 22-23.
 11) 溶接学会: 溶接便覧, (1977), 1033.
 12) 中田一博: 軽金属溶接, 39, 12 (2001), 583.
 13) 朝比奈敏勝, 加藤数良, 時末 光: 軽金属, 41 (1991), 676.
 14) 朝比奈敏勝, 時末 光: 軽金属, 50 (2000), 512.

執筆者の紹介



藤江正嗣



全 紅軍



村上太一



中田一博

お知らせ

溶接構造シンポジウム2004の御案内
—「インフラを支える構造化技術」—

主催: (株)溶接学会 溶接構造研究委員会
 日程: 平成16年11月15日(月), 16日(火)
 会場: 大阪大学銀杏会館(吹田キャンパス)
 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2)

プログラム:

◆特別講演

『東京港臨海道路Ⅱ期事業について』

国土交通省 佐々木宏

『原子力設備の補修技術開発とその傾向』

関西電力(株) 亀山雅司

◆ホット・トーク

○サハリンパイプライン構想について

日本サハリンパイプライン(株) 千葉一元

○建築鉄骨の規格についての最近の動き

(1) 鉄骨梁端溶接・接合部の脆性の破壊防止
ガイドラインについて

(株)日本溶接技術センター 岡本晴仁

(2) 溶接協会規格 WES2808「動的繰返し大
変形を受ける溶接構造物の脆性破壊性能
評価方法」の紹介とソフトのデモンスト
レーション

大阪大学

JFE スチール(株)

○最近の高速車両および通勤車両の動向

川崎重工(株)

○レーザ加工の現状と展望について

名古屋大学

○超微細粒鋼の創製と新しい展開

(株)物質・材料研究機構

○溶接プロセスシミュレーションソフト“Vir-
tual Weld”の開発

大阪大学

◆一般セッション(講演時間20分)

講演申込締切: 平成16年6月25日(金)

原稿提出締切: 平成16年9月24日(金)

申込先および問合せ先:

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘11-1

大阪大学接合科学研究所

溶接構造シンポジウム2004幹事 芹澤 久

TEL. 06-6879-8665 FAX. 06-6879-8645

E-mail: serizawa@jwri.osaka-u.ac.jp

南二三吉

伊木 聡

小河原誠

杵名宗春

鳥塚史郎

黄地尚義