



抵抗シーム溶接した1050/5052の継手の材料評価

ハメド アブデル-アリーム*, 加藤 光昭*
西尾 一政*, 山口 富子*, 古川 一敏**

Joining of 1050/5052 by Resistance Seam Welding and Materials Evaluation of Joints

Hamed Abdel-Aleem*, Mitsuaki Katoh*
Kazumasa Nishio*, Tomiko Yamaguchi* and Kazutoshi Furukawa**

We tried to apply resistance seam welding to weld 1050/5052 and performed materials evaluation of joints. We confirmed a good welding at lower welding current than conventional methods. Nugget penetration increased with increasing exhausting pressure at the same welding current. The increase in the exhausting pressure at the same welding pressure means the decrease in the pressure during the welding. A segregation layer, at which Mg was rich, was developed in heat affected-zone of 5052 in all welding conditions. In tensile shear tests of joints the fracture occurred near fusion boundary of 1050 side and tensile strength was almost the same for all the welding conditions independently on number of blowholes developed in the nuggets.

Key words: Resistance seam welding, Nugget, Blowhole, Segregation layer

1. 緒 言

アルミニウム合金のスポット溶接は広く行われているが、抵抗シーム溶接は最大で30万A程度の大容量の電源が必要とされ¹⁾、低電流での適用はあまり行われていない。しかし、最近開発された溶接機を用いることにより20数kA程度の低電流で容易に接合が可能になったため、1050/5052に対して溶接を行い、その継手の材料評価を行った。

まず、ナゲットの断面マクロ組織を観察した。次に、1050側と5052側のナゲットの溶込みの差異

について検討した。また、ナゲット近傍のミクロ組織観察を行った結果、5052側の熱影響部には偏析層が観察され、EPMAによる分析の結果、この領域にはMgが濃化していることが明らかになった。さらに、継手の放射線透過試験を行って、溶接条件とブローホールの形成の関係について検討するとともに、溶接部の硬さ試験及び引張せん断試験を行い、機械的特性についても検討した。また、5052/5052及び1050/1050の組合せについても溶接を行い、1050/5052の組合せとの比較を行った。

2. 使用材料及び実験方法

使用材料は、市販の工業用純アルミニウム1050及びアルミニウム合金5052($t1.5 \times w100 \times L250$)

* 九州工業大学 Kyushu Institute of Technology

** 愛知産業株式会社 Aichi Sangyo Co, Ltd.

原稿受付 2003年12月17日

Table 1 Chemical composition (mass%) and tensile strength of materials used

Materials	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	Tensile Strength σ_B (MPa)
1050	0.10	0.31	0.01	—	—	—	—	—	Bal.	90
5052	0.08	0.20	0.02	0.04	2.41	0.23	0.01	0.015	Bal.	220

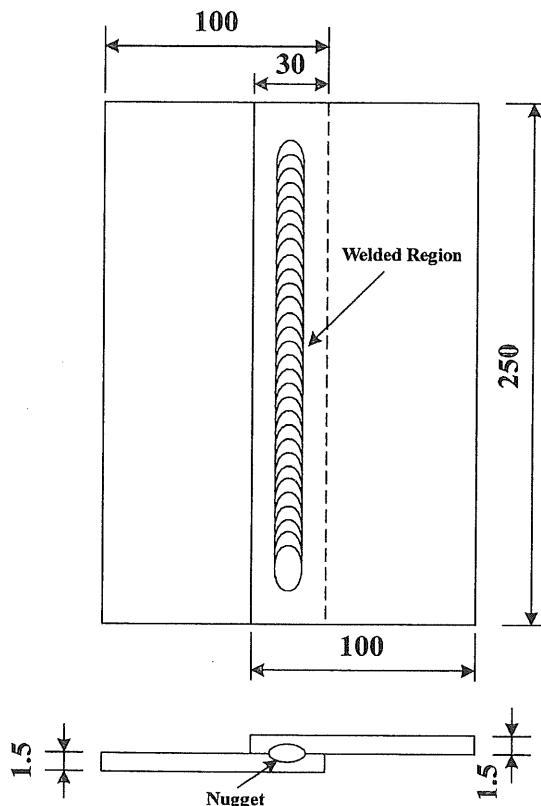


Fig. 1 Shape and dimensions of a specimen to be welded

mm)である。それぞれの材料の化学成分及び引張強さを Table 1 に示す。

溶接は、アルミニウム用に開発された単相直流式横シーム溶接機（愛知産業株式会社製 ACE-150）を用いて行った。これは、発熱効率が高いため、交流式に比べて40%以上少ない電流値で溶接が可能であり、また、約2倍の高速度溶接が可能であるなどの特長を有している。溶接に際しては、溶接圧力 P （これは上部からの加圧である）及び溶接速度 v を、それぞれ0.35 MPa 及び800 mm/min と一定にした。溶接電流 I は23, 24及び25 kA と変化させ、また排気圧力 P_e （これは下部からの加圧であり、溶接圧力との差が試験体に作

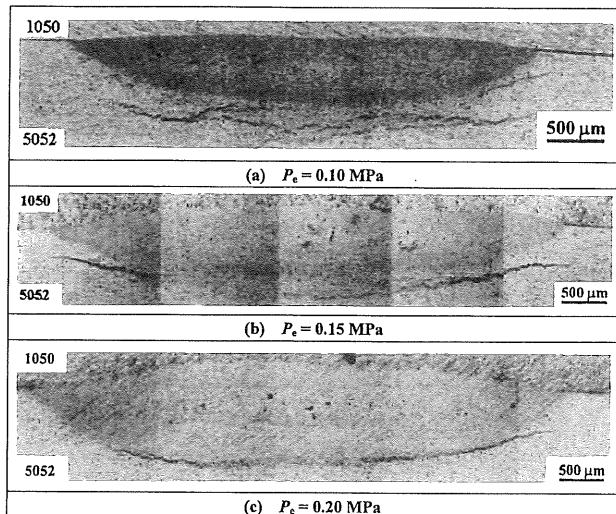


Fig. 2 Examples of macrostructures of weld nuggets for 1050/5052 combination when $I = 23$ kA
 (a) $P_e = 0.10$ MPa
 (b) $P_e = 0.15$ MPa
 (c) $P_e = 0.20$ MPa

用する加圧となる）を0.10, 0.15及び0.20 MPa と変化させた。溶接は、1050/5052, 1050/1050及び5052/5052の3種類の組合せについて行った。溶接に際しては、まず接合面を#200のエメリー紙で磨き、Fig. 1 に示すように30 mm の重ね代を設け、この中央部付近を約230 mm の長さに渡って溶接をした。

溶接部の評価として、放射線透過試験によるブローホールの形成状況、ナゲット部付近のマクロ及びミクロ組織の観察並びにEPMAによる元素分析、そして硬さ試験及び引張せん断試験による機械的性質の検討を行った。

3. 実験結果とその考察

3.1 ナゲットの形成

Fig. 2(a)～(c)に、 $I = 23$ kA と一定にして、 P_e を0.10, 0.15及び0.20 MPa とそれ変化させた

ときのナゲットのマクロ組織を示す。これにより、次の現象が観察される。まず、 P_e が増大するとともにナゲットの大きさ及び溶込みが増大している。これは、 P_e が増大することにより溶接部への加圧力が減少し、抵抗が増大し、これに伴うジュール発熱量が増大したことに起因している²⁾。次に、溶込みは1050側に比べて5052側の方が大きい。また、5052側のボンド近傍の熱影響部においてはナゲットの輪郭に沿って黒い線状の組織（割れでないことは確認した）が認められる。

Fig. 3(a)～(c)に、 $P_e=0.20$ MPaと一定にして、 $I=23, 24$ 及び 25 kAとそれぞれ変化させたときのナゲットのマクロ組織を示す。 I が増大するとともに、ナゲットは大きくなり溶込みも増大している様子が認められる。また、いずれの場合にも5052側のボンド近傍の熱影響部においてはナゲットの輪郭に沿って黒い線状の組織が認められる。

Fig. 4(a)～(c)に、 $I=25$ kAそして $P_e=0.10$ MPaと同一条件で、1050/5052, 5052/5052及び1050/1050と材料の組合せを変化させたときのナ

ゲットのマクロ組織をそれぞれ示す。1050/5052の組合せにおいてはFig. 2と同様に、溶込みは1050側に比べて5052側の方が大きい（ナゲット中に黒く点々と粒状に認められるものはブローホールである）。5052/5052及び1050/1050の組合せにおいては、もちろんそれぞれのナゲットにおいて溶込みの差異は認められないが、両者の溶込みには大きな差異が認められる。すなわち、5052/5052の場合に比べて1050/1050の方がかなり溶込みは小さい。また、5052/5052においてはナゲット形状はほぼ橿円形をしているが、1050/1050においては場所によって溶込みが異なり、ナゲットも不規則な形状をしている（これは、 P_e を増大させると、ほぼ橿円形に近づいた）。

Fig. 5に1050/5052の組合せにおけるナゲットの溶込みの測定結果を示す（測定場所は、ナゲットの幅の中央部である）。(a), (b)及び(c)は、それぞれ1050側、5052側及び両者を含めた値を示す。一部データにばらつきが認められるが、全体的には P_e の増大とともに溶込みは増大した。しかし、 I が変化してもはっきりした傾向は認められなかった。また、1050側と5052側を比較すると、5052側の方が2～5倍程度溶込みは大きい。これ

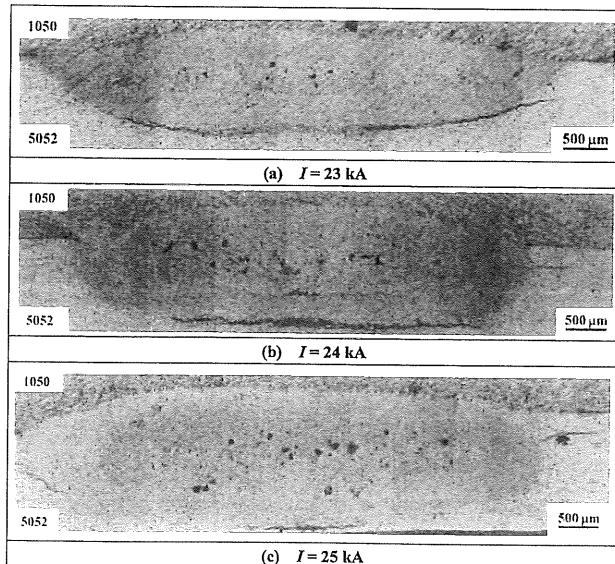


Fig. 3 Examples of macrostructures of weld nuggets for 1050/5052 combination when $P_e=0.20$ MPa
 (a) $I=23$ kA
 (b) $I=24$ kA
 (c) $I=25$ kA

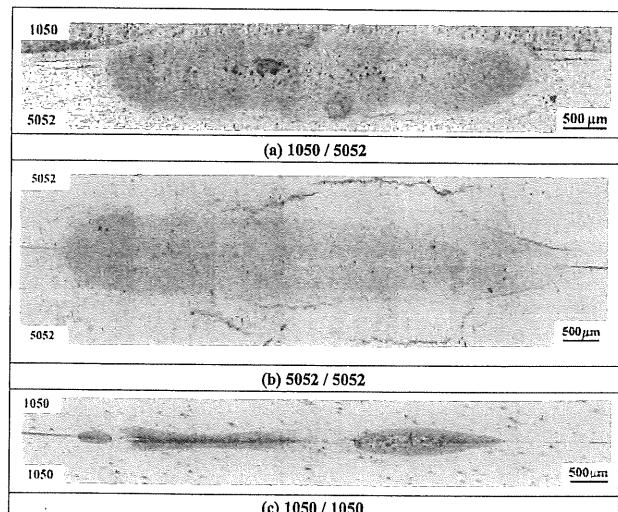
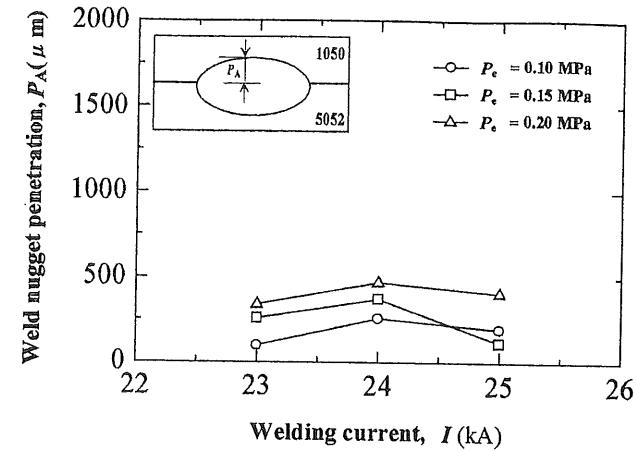
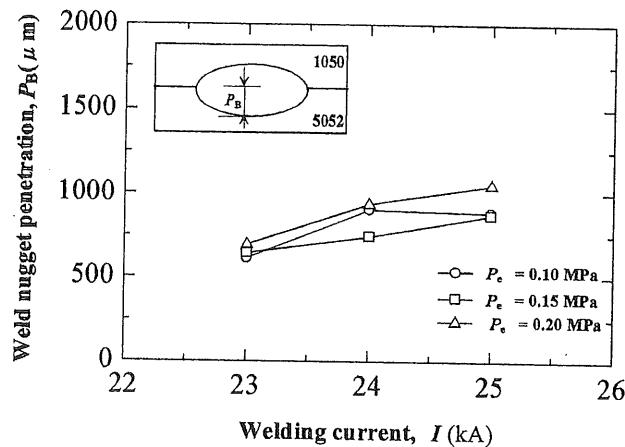


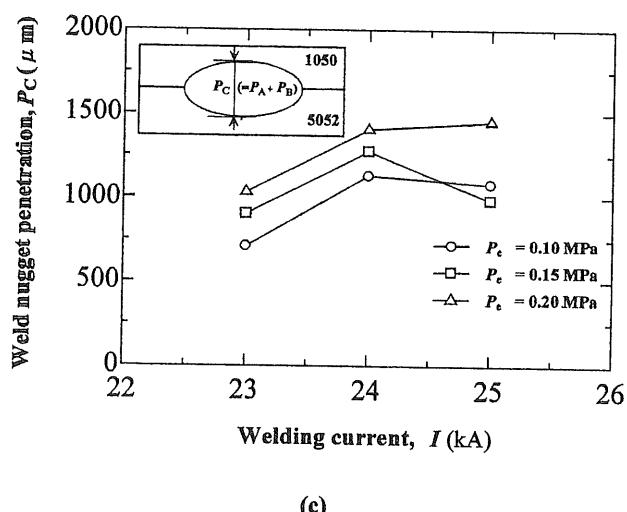
Fig. 4 Examples of macrostructures of weld nuggets for different combinations when $I=25$ kA and $P_e=0.10$ MPa
 (a) 1050/5052 joint
 (b) 5052/5052 joint
 (c) 1050/1050 joint



(a)

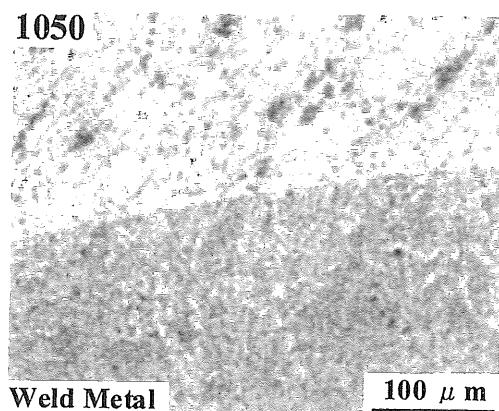


(b)

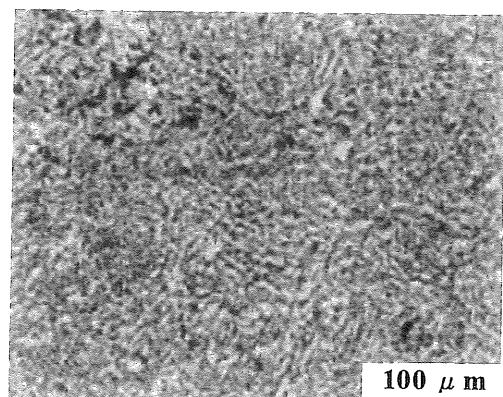


(c)

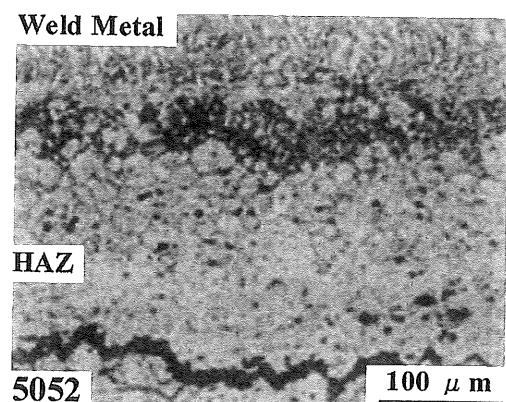
Fig. 5 Influence of welding conditions on weld nugget penetration
 (a) 1050 side
 (b) 5052 side
 (c) Total nugget penetration



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Examples of microstructures when $I = 24 \text{ kA}$ and $P_e = 0.15 \text{ MPa}$
 (a) Near fusion boundary of 1050 side
 (b) Inside of the nugget
 (c) Near fusion boundary of 5052 side

は、電気抵抗が1050と5052においてそれぞれ28及び49(20°C)と5052の方が大きいためにジュール発熱量が大きいことと、熱伝導率が1050と5052においてそれぞれ231及び137(20°C)と5052の方が小さいことも影響している³⁾。

3.2 ミクロ組織の検討

Fig. 6(a), (b)及び(c)に、それぞれ1050側の溶融境界部近傍、ナゲット部及び5052側の溶融境界部近傍のミクロ組織を示す($P_e = 0.15 \text{ MPa}$, $I = 24 \text{ A}$)。1050及び5052側の溶融部並びにナゲット部のいずれにおいても明瞭なセル状デンドライトが認められることから、ナゲット中において1050と5052は十分に攪拌が行われたと考えられる。一方、5052側の溶融境界部から熱影響部に少し入ったところには、黒い線状の組織が認められる(1050側には認められない)。

次に、この黒い組織の性状について検討した。

Fig. 7(a)及び(b)に、それぞれ黒い組織の部分の面分析(Mg及びAl)及び黒い組織を横切った線分析結果を示す。この黒い領域はMgが濃化(5 mass%程度)していることが分かったため、偏析層と呼ぶ。このような偏析層は、これまで抵抗溶接した際には報告されておらず、今回認められた特異組織である(同様の組織は1050/Al-1%及び2%Mg2元合金においても確認され、また、1050/Al-1%, 2%及び3%Cu2元合金においてはCuの濃化が確認できた)。現在のところ、この形成機構は不明であり、その解明は今後の課題である。

3.3 繼手の機械的性質

Fig. 8(a), (b)及び(c)に、 $P_e = 0.10 \text{ MPa}$ と一定にして、 $I = 23, 24$ 及び 25 kA と変化させたときの1050/5052の継手部の硬さ分布を示す。1050の溶融境界部を境に硬さは急激に増大し、ばらつきはあるがナゲット部の硬さは5052母材の硬さにはほぼ等しい。このことは、ナゲット中においては1050と5052は溶接時に十分に混合・攪拌が行われたことを意味している。

次に、継手の引張せん断試験を行った。すでに述べたように、ナゲット中にはブローホールが認められたため、まず放射線透過試験を用いて検討した。Fig. 9に得られた放射線透過試験の結果の

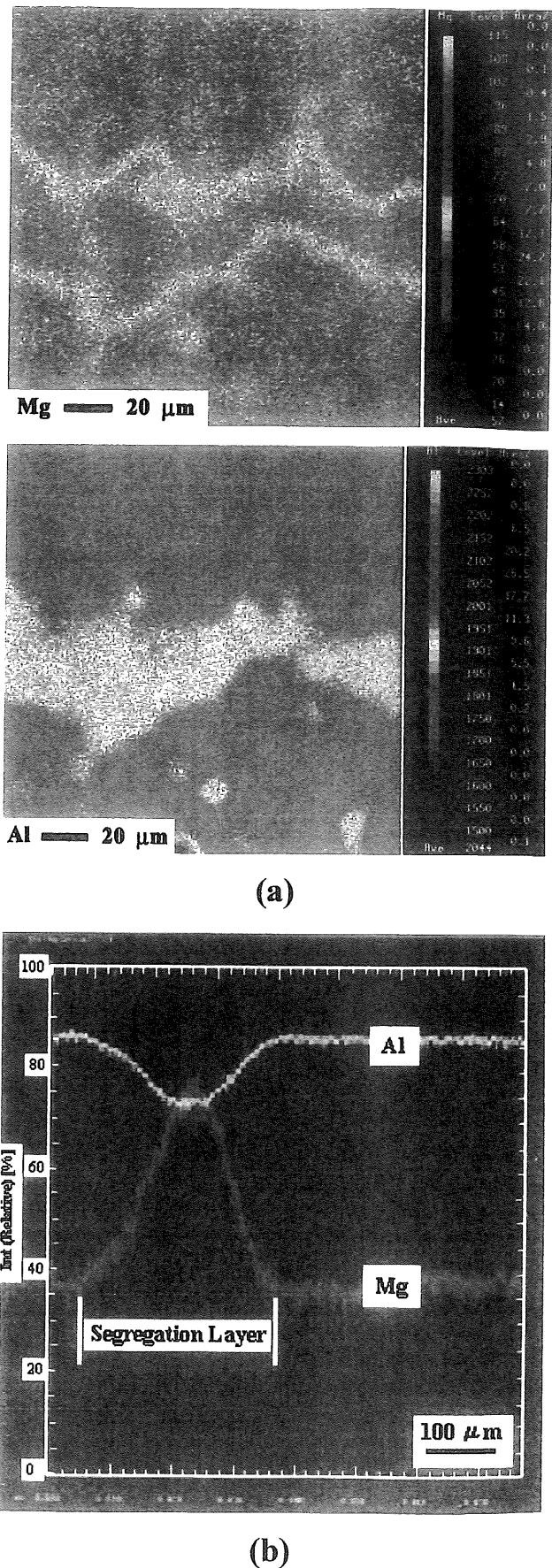


Fig. 7 Result of EPMA near segregation layer
(a) Area analysis
(b) Line analysis

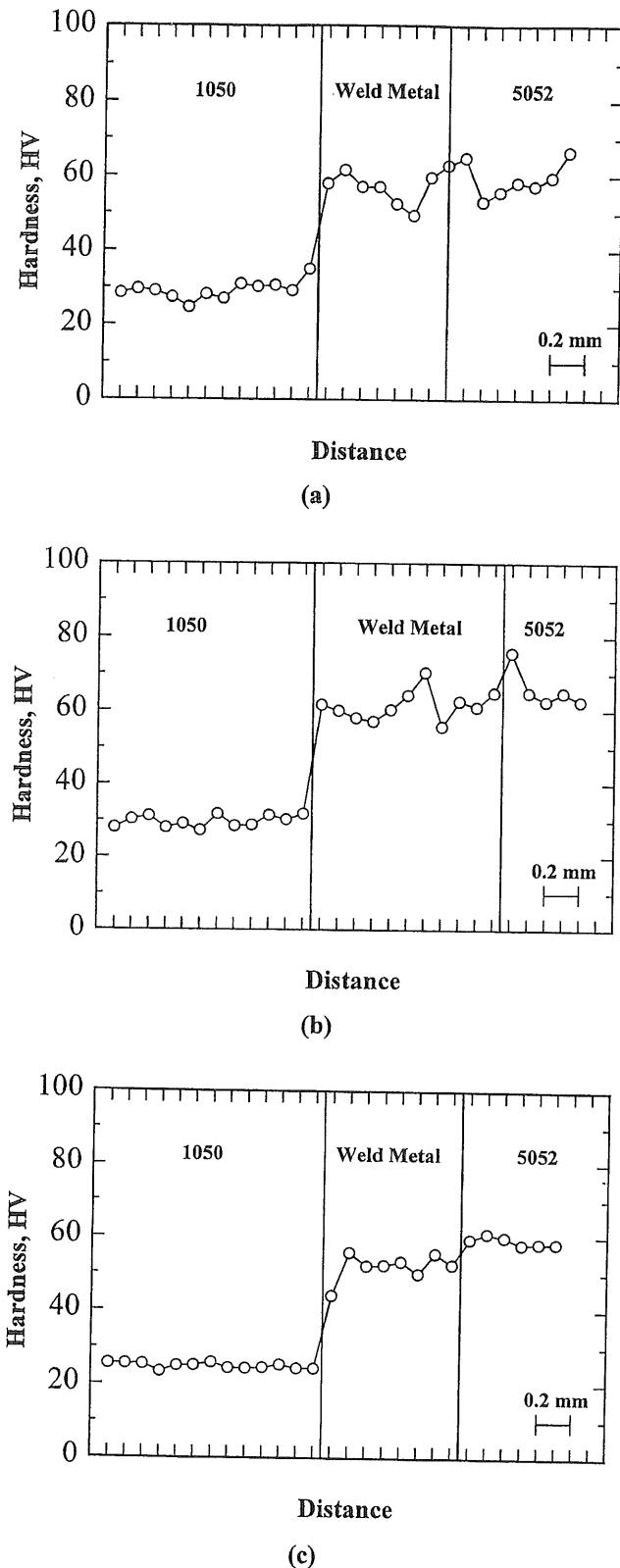


Fig. 8 Hardness distribution of the joints when $P_e = 0.10 \text{ MPa}$
 (a) $I = 23 \text{ kA}$
 (b) $I = 24 \text{ kA}$
 (c) $I = 25 \text{ kA}$

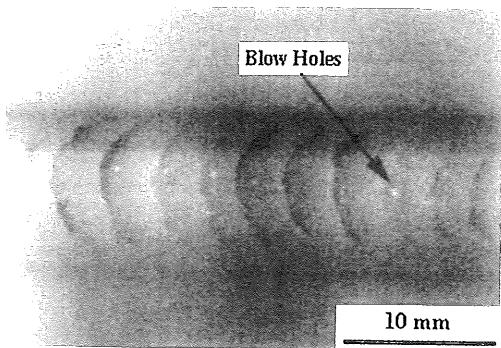
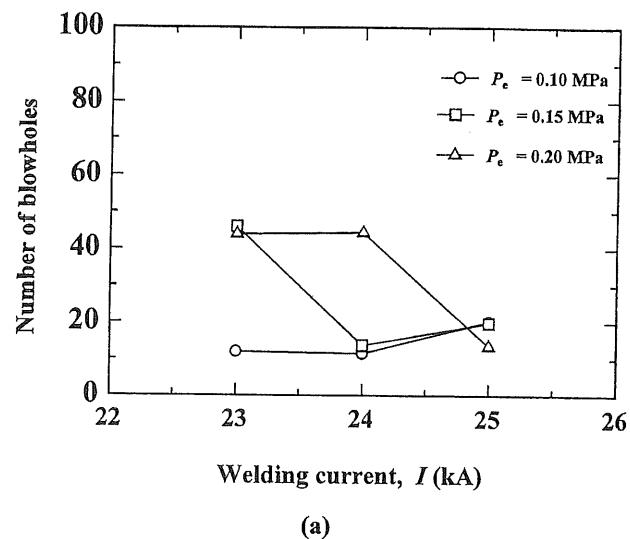


Fig. 9 An example of the results of radiographic testing

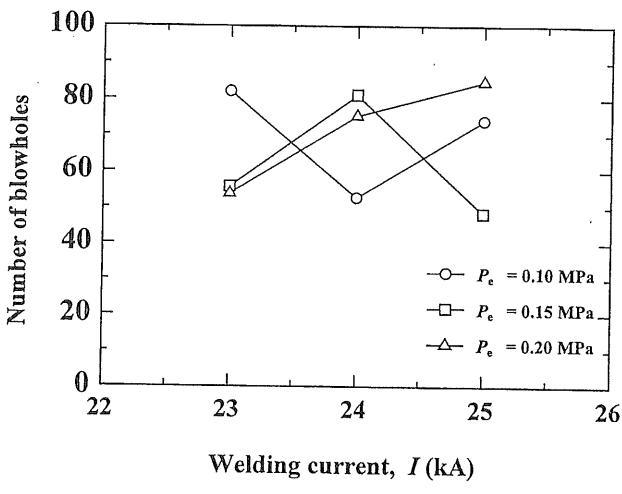
例を示す。図中で白く粒状に認められるものがブローホールである。溶接条件とブローホールの個数（シーム溶接部の全長）との関係を調べた（ブローホールは大きさが0.3 mm 以上のものを対象とした）結果を Fig. 10に示す。(a)は1050/5052, (b)は5052/5052, そして(c)は1050/1050に対する結果である。得られた結果にはばらつきが大きいため、ブローホールの個数と溶接条件との関係は明瞭ではないが、材料によってブローホールの発生個数には大きな差異が認められた。すなわち、ブローホールの発生個数は1050/1050に比べて5052/5052の場合の方がかなり多く、1050/5052においては両者の中間程度であった。

溶融溶接においては、Al合金中のMg量が増すと水素の固溶量が増加し、また溶接金属中の水素吸収速度が遅くなるため、ブローホールは純アルミニウムに比べてわずかではあるが形成されにくくなるとされている⁴⁾。本研究で得られた結果はこれとは逆であり、Mg量を変化させた材料を用いた検討が必要である。

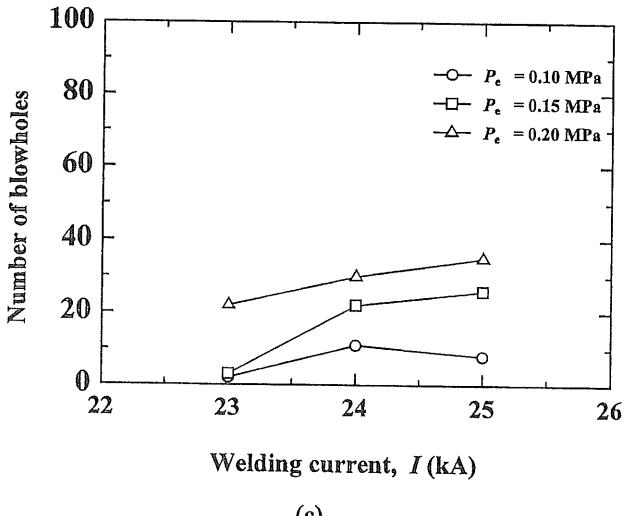
Fig. 11(a), (b) 及び(c)に、それぞれ1050/5052, 5052/5052及び1050/1050の継手に対して引張せん断試験をした結果を示す。また、試験後の1050/5052継手の試験片の外観を Fig. 12に示す。引張せん断試験を行ったが、継手部でせん断されず、1050側の溶接境界部付近での破断が生じた。これは、継手部の面積が1050部の断面積よりも大きいことに起因している。このため、Fig. 11においては最大荷重を破断部の断面積で除した値を強さとして表した。



(a)

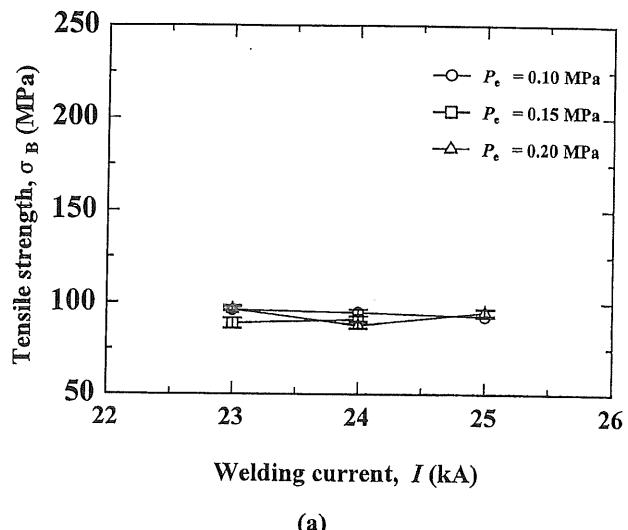


(b)

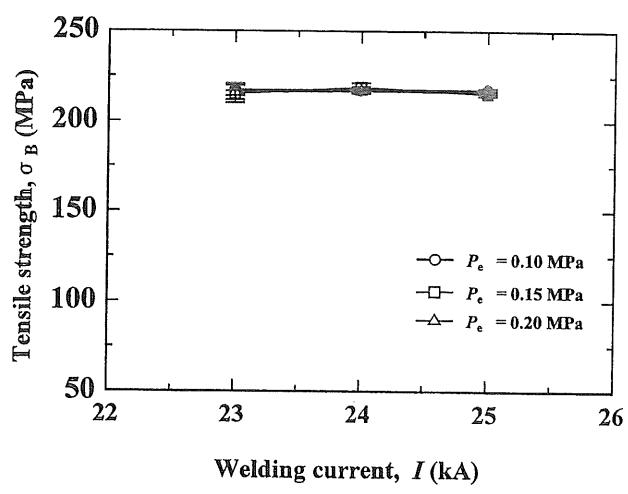


(c)

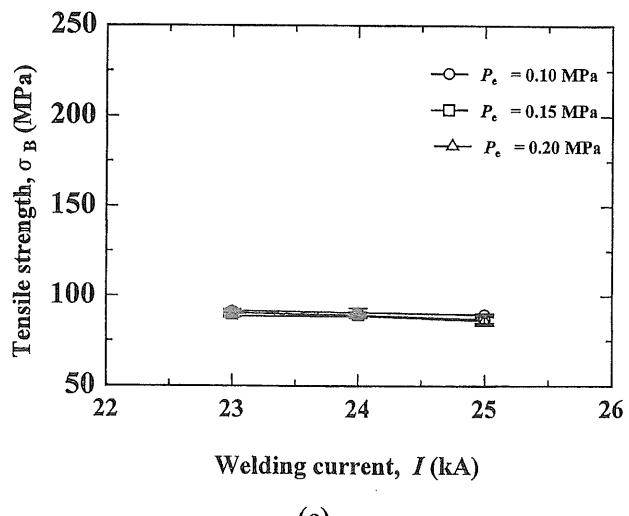
Fig. 10 Relation between number of blowholes and welding conditions
 (a) 1050/5052 joint
 (b) 5052/5052 joint
 (c) 1050/1050 joint



(a)



(b)



(c)

Fig. 11 Relation between tensile strength and welding conditions
 (a) 1050/5052 joint
 (b) 5052/5052 joint
 (c) 1050/1050 joint

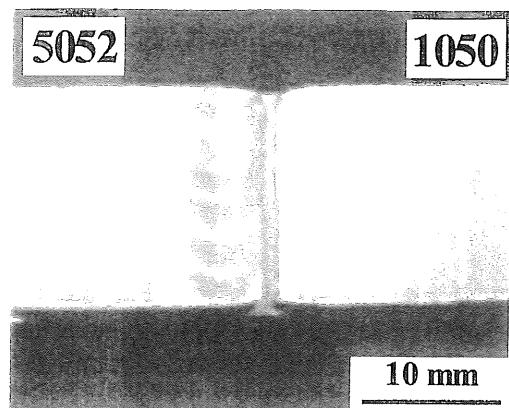


Fig. 12 Macroscopic feature of a 1050/5052 joint after tensile shear test ($I=24\text{ kA}$, $P_c=0.10\text{ MPa}$)

Fig. 11に示した結果によると、1050/5052及び1050/1050の継手においてはほぼ同じ引張強さが得られており、1050/5052継手においても1050の溶融境界部近傍で破断したため、1050の引張強さに対応している。また、5052/5052継手においては、5052の引張強さに対応する値が得られた。さらに、ナゲット中にはブローホールが形成されていたが、引張せん断試験した際の破断は1050側の溶融境界部付近で生じたことから、本実験で形成された程度のブローホールの断手強さへの影響は無視できる。

4. 結論

- (1) 抵抗シーム溶接により、良好な1050/5052継手を得ることができた。
- (2) ナゲット部の溶込みは、同一の溶接電流においては排気圧力が増大するとともに増大した。これは、試験体に作用する圧力が減少し、ジューク発熱が増大したことによる。
- (3) 5052側の溶融境界部近傍の熱影響部においては、Mgの濃化した偏析層が形成された。
- (4) 1050の溶融境界部を境に硬さは急激に増大し、ばらつきはあるがナゲット部の硬さは5052母材の硬さにほぼ等しい値が得られた。このことは、ナゲット中においては1050と5052は溶接時に

十分に混合・攪拌が行われたことを意味している。

(5) 継手の引張せん断試験を行った結果、1050側の溶融境界部近傍で破断が生じ、1050の引張強さに対応した強さが得られた。ナゲット中にはブローホールが形成されたが、継手の強さへの影響は認められなかった。

参考文献

- 1) 軽金属協会編：アルミニウムハンドブック，朝倉書店（1972），pp. 714
- 2) 軽金属協会編：アルミニウムハンドブック，朝倉書店（1972），pp. 713
- 3) Metals Handbook, Vol. 2, ASM (1979), pp. 63, 101
- 4) 水野政夫, 萩田和之, 阪口章：アルミニウムとその合金の溶接，産報出版（2002），pp. 60

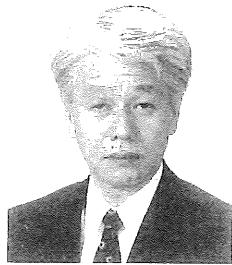
執筆者の紹介



ハメド アブデルーアリーム



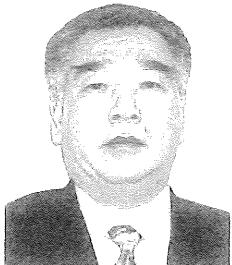
加藤光昭



西尾一政



山口富子



古川一敏