

アルミニウム合金の拡散接合強度に及ぼす接合面間摺動の効果

林 忠 夫*・大 島 聰 範**・林 朋 幸***

Effect of Mutual Scrubbing with Mating Surfaces on the Joint Strength of Diffusion Welded JIS5056 Aluminum Alloy

Tadao HAYASHI, Toshinori OSHIMA and Tomoyuki HAYASHI

Abstract

Mutual scrubbing under compression with mating surfaces of the joint has been conducted prior to heating for diffusional welding process. Strength of the scrubbed joints increased with the product of scrubbing stroke and compressive load against welded interface. Oxidized layer that should be confined into the interface has been dispersed and disappeared through the scrubbing.

Key words : Diffusion welding, Scrubbing with mating surfaces, Joint strength

1. 緒 言

拡散接合は、金属の接合面を密着させて加圧し、その金属の固相線以下の温度域に加熱して、接合面間に生じる原子拡散によって接合する方法である¹⁾²⁾。したがって、通常の溶接のように、接合部の熔融凝固に伴う形状変化や母材への熱影響、急激な温度変化に伴う熱応力変形などを生じることがない。また、接合面間に適当な金属箔をインサートとして挿入することによって、異種金属やセラミックス等の異種材料との接合を行うことも可能である³⁾。しかし、接合すべき材料の表面に存在する酸化皮膜が、接合界面に取り込まれた状態で残留すると、接合は不完全となり強度は低下する。とくにアルミ合金のように、強固な酸化皮膜が存在する材料では、この点に留意しなければならない³⁾。

このような問題に対して本報で提案する方法は、接合面を密着加圧した状態で互いに摺動させて酸化皮膜を破壊し、接合面の密着性を高めたのち加熱拡散処理を行うことによって、接合界面における酸化皮膜の残留を低減して健全性を高め、接合強度を増加させようとするものである。この方法によって市販の快削アルミ合金 JIS 5056を

用いた基礎的な実験を行った結果、所定の成果が得られたので報告する。

2. 実験方法

供試材は表 1 に示す成分組成の市販の快削アルミ合金 JIS5056押出材のφ25丸棒であり、機械加工によって、図 1 に示す形状、寸法の拡散接合試験片を作成した。試験片は中空円筒状で、一端を接合面として他端にネジを切り、引張試験用のホルダーを取り付けるようにしてある。一対の試験片の接合面をワイヤブラシでブラッシングしたのち、試験片の端面形状に合わせたドーナツ形のアルミ箔をインサートとして接合面間に挿入し、図

表 1 供試材の化学成分 (wt %)

Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	その他	Al
≤0.10	≤0.30	≤0.40	0.05~0.20	4.50~5.60	≤0.10	0.05~0.20	≤0.15	残部

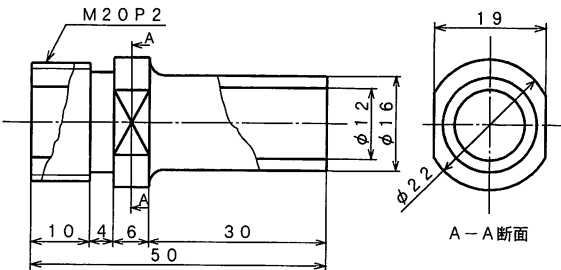


図 1 拡散接合試験片の形状と寸法

* 技 官 (技術専門職員・機械実習工場)
** 教 授 機械工学科
*** 岩手大学 大学院

2のようにロングボルトを通してナットを締付ける形式のホルダーに装着して、接合面に所定の圧縮荷重を与える。負荷の大きさは、トルクレンチで測定されるナットの締付けトルクで調節した。この状態で、試験片の一方を固定し、図3に示すように他方を所定の角度 θ だけ回転させることによって、接合面間に摺動変位を与える。拡散処理はさらにこれを電気炉中で $450^{\circ}\text{C} \times 120\text{min}$ の加熱を行った。この加熱過程における、試験片のクリープ変形およびホルダーのリラクゼーションによる圧縮荷重の減少を補償するため、表2のような特性を持ったセラミックス製のコイルバネを介して締付けを行った。加熱雰囲気は大気中および真空中とした。また、大気中加熱拡散処理の場合については、熱間摺動で行った。これは、 360°C の拡散接合処理温度に加熱した試験片を炉中から取り出して、自然放冷過程での 340°C から 300°C までの温度範囲で摺動を与えるものである。拡散接合強度の評価は引張試験によって行い、破断後の接合面を実体顕微鏡で観察した。

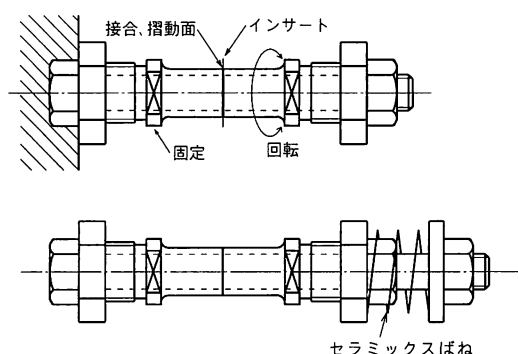


図2 拡散接合ホルダーと試験片の装着方法

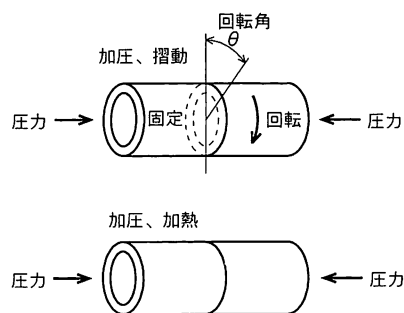


図3 摺動方法と摺動回転角

表2 セラミックスばねの特性

外径	$43.1 \pm 1.73\text{mm}$
線径	$\phi 4.10\text{mm}$
最大たわみ時の荷重	$137 \pm 19.6\text{N}$

3. 実験結果および考察

図4は種々の摺動回転角 θ において、圧縮荷重を変化させた場合の接合強度の変化を示す。 $\theta = 0^{\circ}$ すなわち無摺動接合の場合は、荷重 8.1kN で強度はやや増加するが、それ以上ではむしろ減少し、荷重を増加させても接合強度は増加しない。これに対して、摺動接合では回転角 $\theta = 60^{\circ}$ の場合、荷重 4kN では接合強度は約 60MPa であり、 $\theta = 0^{\circ}$ すなわち無摺動の場合をわずかに上回る程度で、摺動の効果は少ないが、荷重 8.1kN では 10MPa に上昇して摺動による接合強度の増加が現れ、それ以降は荷重 16.2kN まで、ほぼ一定の接合強度を示す。また、 $\theta = 210^{\circ}$ の場合は、荷重 4kN で接合強度は 85MPa に達し、それ以上の荷重においては、ほぼ一定の約 $95 \sim 100\text{MPa}$ の接合強度で推移する。これらの結果より、いずれの回転角においても、荷重 4kN から 8.1kN において摺動の効果が顕著に現れ、接合強度は大幅に上昇し、それ以上の荷重の増加においては、接合強度はほぼ一定であることがわかる。

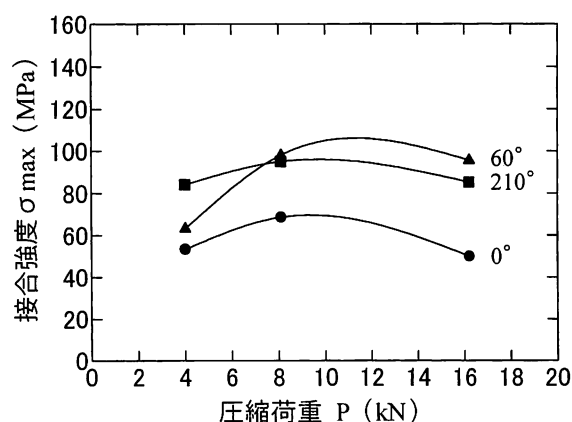


図4 接合強度と圧縮荷重の関係

図5は、種々の圧縮荷重における摺動回転角と接合強度の関係を示す。荷重 4kN の接合強度は、 $\theta = 0^{\circ}$ すなわち無摺動接合における 50MPa から $\theta = 60^{\circ}$ の摺動接合で 60MPa 、 $\theta = 150^{\circ}$ で 95MPa と増加し、 $\theta = 210^{\circ}$ ではやや減少して 85MPa となる。荷重 8.1kN では、無摺動における 70MPa から $\theta = 60^{\circ}$ で 100MPa へ増加するが、 $\theta = 150^{\circ}$ から 210° ではやや減少して 95MPa となる。荷重 16.2kN では、無摺動における 50MPa から $\theta = 60^{\circ}$ で 100MPa へと急激に増加し、 $\theta = 150^{\circ}$ で 110MPa に達するが、 $\theta = 210^{\circ}$ では減少して 85MPa となる。

すなわち、荷重 8.1 kN 以上、摺動回転角 $\theta = 60\text{deg}$ 以上の条件で良好な接合状態を得ることが出来る。

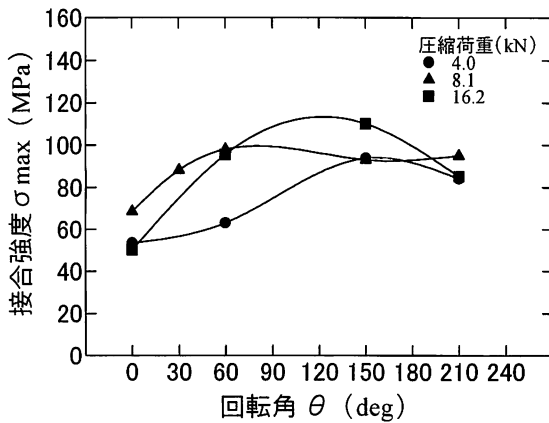


図5 接合強度と摺動回転角の関係

図6に摺動回転角 θ と接合強度 $\sigma_{\max}$ の関係を、大気中加熱および真空中加熱について示す。圧縮荷重は 8.1 kN である。 $\theta = 0\text{deg}$ すなわち無摺動接合の場合、大気中加熱の接合強度は 45 MPa で真空中加熱の 70 MPa の約 3/5 であるが、摺動を与えることによって大幅に増加し、 $\theta = 30\text{deg}$ においては 95 MPa に達して真空中加熱とほぼ同等の接合強度が得られる。さらに摺動回転角 θ を増加させると、真空中加熱の接合強度はほぼ一定で推移し、大気中加熱の接合強度はやや低下する傾向が見られる。

ここで、接合強度に及ぼす主要因は圧縮荷重および摺動回転角すなわち摺動距離であることから、この両者の積を求め、接合強度との関係を図7に示した。ややばらつきはあるが、接合強度は摺動距離と圧縮荷重の積に比例して増加する傾向が明確に認められる。

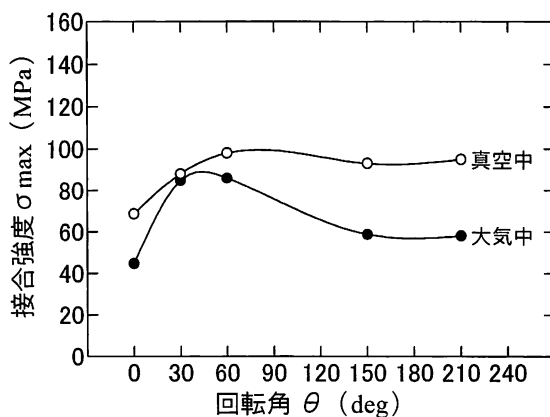


図6 大気中接合と真空中接合の接合強度

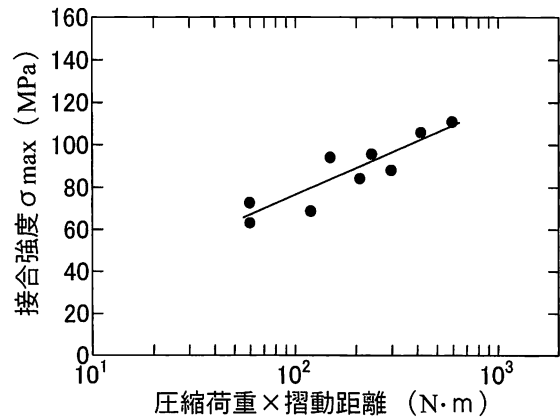


図7 接合強度と(圧縮荷重)×(摺動距離)の関係

以上の結果は、接合面に回転摺動変位を与えることによって、接合面における初期酸化膜が破壊されて接合界面の密着度が増大し、拡散接合過程における接合界面の酸化膜の形成が阻止され、良好な接合状態が得られることを示している。

図8は引張試験による接合部の破断面を示す。回転角 $\theta = 0\text{deg}$ すなわち無摺動の破面は、真空中および大気中加熱のいずれにおいても、前処理のワイヤブラシあるいはエメリーペーパーの條痕が残っており、接合が不完全であることを示している。これに対して摺動回転角 $\theta = 60\text{deg}$ では條痕は消失し、破面全体に延性破壊による凹凸が形成され、良好な接合状態となっている。 $\theta = 150\text{deg}$ の破面も $\theta = 60\text{deg}$ の場合とほぼ同様な状態で、延性破断を示す凹凸が形成されている。

図9は接合部の断面を示す。(a)は無摺動接合の場合で、接合界面に酸化皮膜が残留し、接合は不完全である。(b)は摺動接合の場合で $\theta = 150\text{deg}$ であるが、酸化皮膜は完全に消失して良好な接合状態となっている。図10は、接合部の組織形態の変化を明確に観察するために、共晶組織の Al-7%Si 合金鑄造材を用いて接合した場合の接合部の断面を示す。無摺動接合の (a) は、接合界面が明瞭に現われ、インサートの形態がそのまま残っている。これに対して $\theta = 150\text{deg}$ で摺動接合を行った (b) は、接合部の組織が摺動に伴う塑性変形によって微細化し、接合界面のインサートも完全に消失して、良好な接合状態となっている。

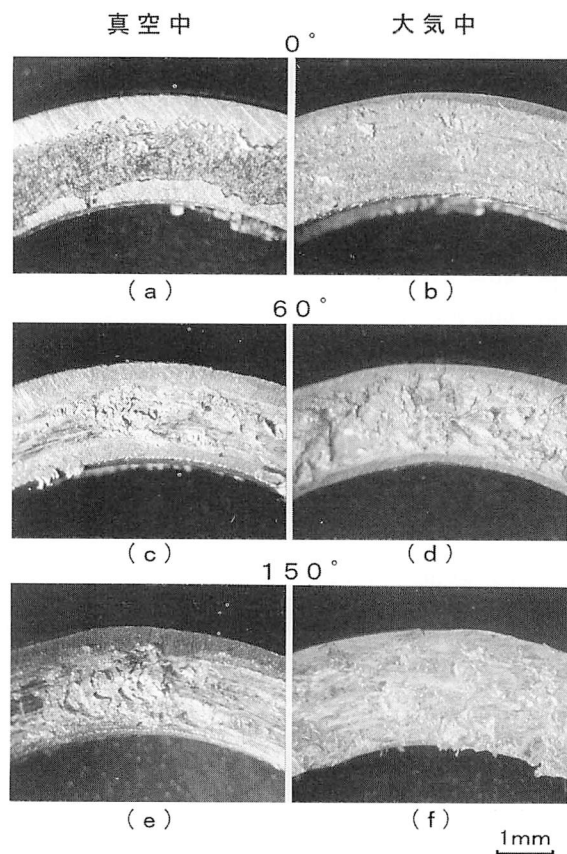


図8 接合部の引張り破断面

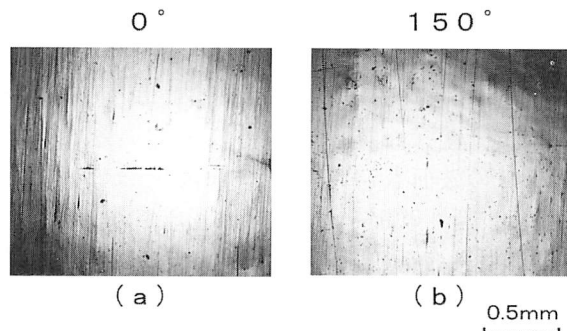


図9 接合部の断面 (5056アルミ合金)

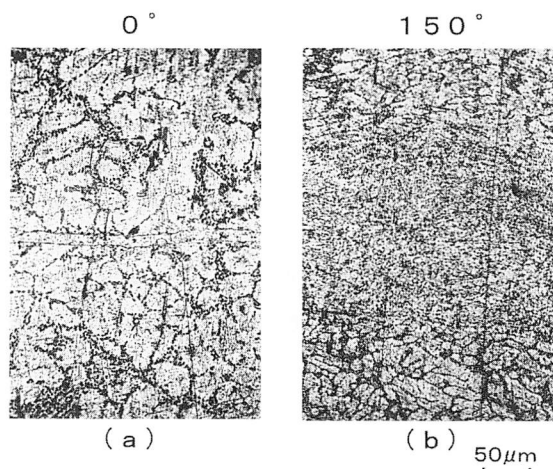


図10 接合部の断面 (Al-7%Si合金)

4. 結 言

アルミニウム合金の拡散接合強度に及ぼす接合面間摺動の効果について検討し、次のような結果を得た。

- (1) 接合面間に摺動を与えることによって、拡散接合強度は増加した。
- (2) 接合強度は、摺動距離と圧縮荷重の積に比例して増加した。
- (3) 熱間摺動を行うことによって、大気中の拡散接合においても、真空中の拡散接合と同等の接合強度が得られた。

謝 辞

本研究の実験の一部を担当した卒業生、斎藤裕史氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 益本功, 玉置維昭, 寺井清, 永井義夫: 日本金属学会会報 vol. 9, No. 10 (1970) p 653
- 2) 円城敏雄, 池内健二: 日本金属学会会報, vol. 21, No.12 (1982) p 959
- 3) 桃野正, 小林雅之, 及川和俊, 井川克也: 鋳物, vol. 60, No. 7 (1988) p 448

(平成11年11月30日受理)