

プロジェクト 1

5056Al および AZ31Mg 合金の摩擦圧接継手の高温変形挙動

金子 純一, 久保田 正広 (機械工学科)

1. 緒言

溶融溶接や固相接合で作製されたアルミニウムやマグネシウム合金製の軽量構造物を種々の環境下で使用する際、常温ばかりでなく、高温下や極低温下での機械的特性を把握する必要がある。しかし、そのようなデータは現在きわめて不十分な状態にある。われわれは、このような状態を考慮に入れて、軽金属材料の溶接継手の高温下での機械的特性について種々評価を行ってきたが、今年度は固相接合によるアルミニウムおよびマグネシウム合金継手を対象にして実験を行った。種々の固相接合法の中から、技術的に信頼性の高い摩擦圧接を取り上げ、代表的な軽量構造用合金である 5056 アルミニウム合金と AZ31 マグネシウム合金を母材に選んで、その摩擦圧接継手を作製した。これより試験片を機械加工して、種々の条件下で高温引張試験と高温クリープ試験を行って、高温変形挙動を母材との比較において評価した。

2. 実験方法

供試材として、直径 20mm の 5056-O 及び AZ31-F 押出丸棒材を用いた。5056 および AZ31 合金の標準組成を Table 1 に示す。予備実験を行って、継手効率が高く、組織的に健全な継手が得られる最適摩擦圧接条件を選定した。Table 2 に選定した最適接合条件を示す。長さ 70mm の母材同士をこの条件下で摩擦圧接を行って継手試料を作製した。得られた継手から引張試験片とクリープ試験片を機械加工した。この際に継手試験片は、接合面が平行部中央に位置するように採取した。

引張試験片は平行部直径 5mm、標点間距離 25mm のもの、クリープ試験には、平行部直径 10mm、標点間距離 50mm のつば付き試験片を使用した。引張試験は種々の温度と速度で、クリープ試験は種々の温度と初期荷重下で、それぞれ 1 条件 3 本の試験を行い、中央値のデータを採用した。クリープ試験機は、レバー比が 10:1 の一定引張荷重方式のものを使用し、試験中のクリープ伸びをダイヤルゲージにより測定した。試験中の試験片温度の変動は 5°C 以内に保った。また、継手試料の組織観察や硬さ分布の測定を必要に応じて行った。

Table 1 Standard composition of 5056 aluminum and AZ31 magnesium alloys (mass%)

Alloy	Al	Mg	Zn	Mn	Cr
5056	bal.	4.5-5.6	—	0.05-0.20	0.05-0.20
AZ31	2.5-3.5	bal.	0.5-1.5	>0.2	—

Table 2 Friction welding conditions

Alloy	5056Al	AZ31Mg
Rotational speed, (1/s)	58.3	33.3
Friction pressure, (MPa)	20	25
Friction time, (s)	2	4
Upsetting pressure, (MPa)	40	50
Upsetting time, (s)	5	5

3. 実験結果と考察

3.1 5056 アルミニウム合金

摩擦圧接継手の光学顕微鏡組織を Fig. 1 に示す。圧接継手では、導入される塑性変形と動的回復により、接合部は母材に比べて微細な結晶粒組織が観察された。しかし、高温での引張試験やクリープ試験後には、接合部で粒成長が優先的に起こる傾向が観察された。圧接継手の中心部と周辺部の硬さ分布を Fig. 2 に示す。これより周辺部の接合部は、母材より HV5 以上硬くなっており、わずかな加工硬化が認められた。中心部では

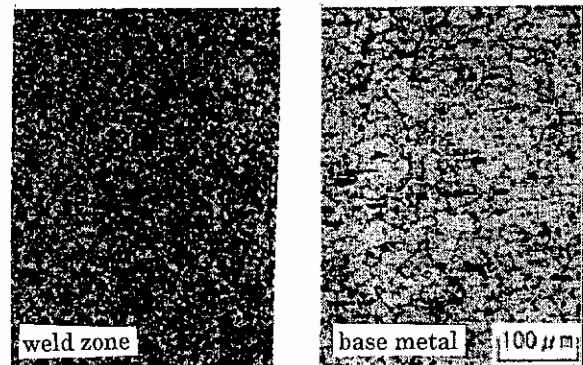


Fig.1 Microstructure of friction welded joint of 5056 alloy.

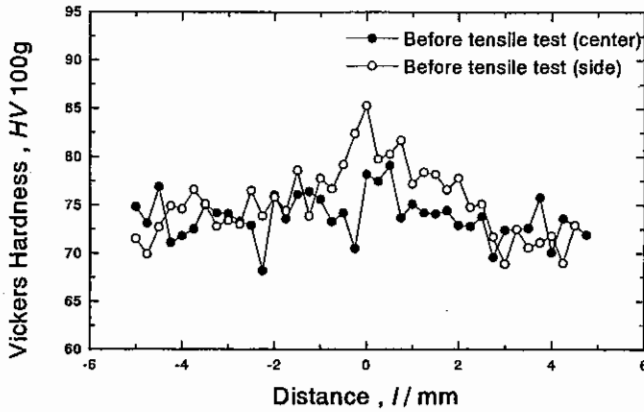


Fig.2 Hardness distribution of friction welded joint of 5056 alloy.

摩擦熱による温度上昇のため加工硬化はほとんど認められない。また、母材はO材であることから、熱影響による軟化は認められなかった。

3mm/minの引張速度での母材と摩擦圧接継手の常温における引張強さは、それぞれ281及び272MPaで、両者に差はほとんど認められなかった。しかし、継手の伸びは19%で、母材の36%に対して低い値を示した。継手試験片の破断箇所は接合部であった。なお、常温では引張強さの引張速度依存性はほとんど認められなかった。

高温引張試は、各温度で引張速度0.03, 0.3, 3.0mm/minにおいて行った。得られた試験結果として、母材と継手の引張強さをFig.3に示す。各試験温度及び各引張速度において、母材と継手の引張強さはほぼ等しいことがわかる。初期ひずみ速度について求めたひずみ速度指数(m値)は、母材と継手でほぼ等しく、試験温度とともに増加して、723Kでは0.37に達した。溶質Mgの存在が、このように高いm値をもたらしていることがわかる。

Fig.4に573Kで18.73MPaの初期応力下での母材と継手のクリープ曲線を示す。定常クリープ速度には母材と継手で顕著な差はないが、クリープ破断時には大きな差が認められた。継手では加速クリープ段階を伴わずに、すなわち、くびれを伴わないで破断に至っている。この場合の継手のクリープ破断箇所は接合界面であった。しかし、試験温度の上昇とともに継手の母材部でクリープ破断が起こる傾向を示し、それとともにくびれを伴ってクリープ破断が起こるようになった。そのような場合、継手のクリープ破断時間は母材の値に近づいた。

クリープ破断時間の応力依存性を示したのがFig.5である。クリープ破断寿命は、試験温度の上昇とともに、またクリープ荷重の減少とともに、母材と継手の差が小さくなる傾向が認められた。これは、高温低応力下ではクリープ破断が継手母材部で起こるようになると、くびれを伴って破断

するため、クリープ曲線に明瞭な加速クリープ段階が認められるようになることと対応している。一方、接合部で破断する場合はくびれをほとんど伴わずにクリープ破断が起こった。

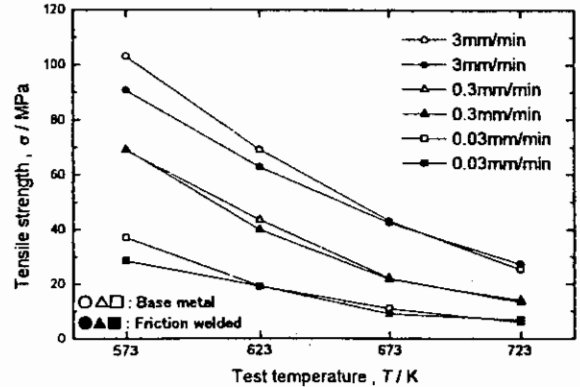


Fig.3 Tensile strength of base metal and welded joint of 5056 alloy.

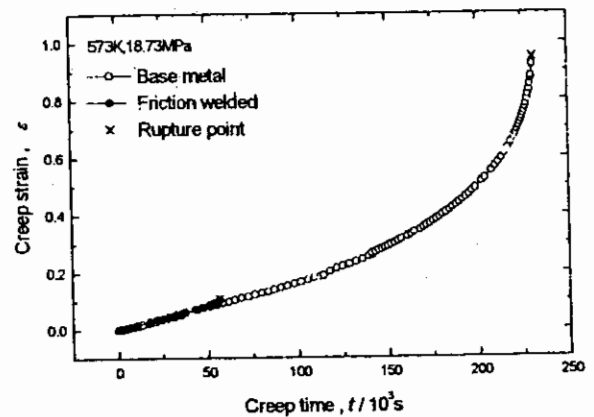


Fig.4 Creep curve of base metal and welded joint of 5056 alloy at 573K and 18.7MPa.

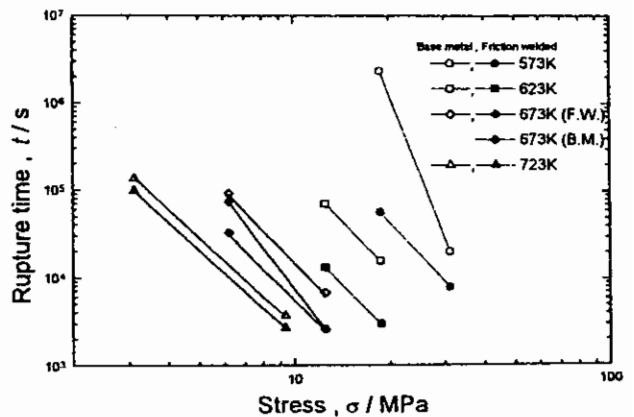


Fig.5 Creep rupture time of base metal and welded joint of 5056 alloy.

3.2 AZ31 マグネシウム合金

摩擦圧接継手では、導入される塑性変形と動的回復により、接合部は母材に比べて微細な結晶粒組織が観察された。しかし、高温での引張試験やクリープ試験後には、接合部で粒成長が優先的に起こる傾向が観察された。圧接継手の中心部の硬さ分布を Fig. 6 に示す。これより接合部は、母材より HV15 以上硬くなっており、加工硬化していることがわかる。また、5056Al に比べると接合部での硬さの増加量が大きい。熱影響による軟化部はやはり認められなかった。

各試験温度における母材と継手の引張強さを Fig. 7、伸びを Fig. 8 に示す。試験温度の上昇とともに、母材と継手の引張強さは低下している。室温における引張強さは、両者でほぼ一致しており、ほぼ 100% の継手効率を示した。試験温度の上昇とともに継手効率は低下して、473K 以上では約 80% になった。伸びは、継手が母材よりも常に低い値となった。また、523K 以上では継手の伸びに大きなばらつきが認められた。継手試験片の破断位置は接合部であったが、ある程度のくびれを伴って破断した。

一例として、Fig. 9 に 423K、56.19MPa での母材と継手のクリープ曲線を示す。両者とも遷移クリープ段階はほとんどなく、大部分は定常クリープと加速クリープになっている。継手は、母材に比べて、定常クリープ速度が大きく、クリープ破断伸びが小さく、クリープ破断時間が短い。また、母材と継手のクリープ挙動の差異が 5056 合金に比べて顕著である。継手のクリープ破断箇所は接合部であった。クリープ破断時間は、試験温度やクリープ応力のいかにかわらず、継手が母材よりも常に低い値を示している。

クリープ破断時間の応力依存性を示したのが Fig. 10 である。クリープ破断寿命は、試験温度やクリープ荷重のいかにかわらず、継手が母材に比べて 1 桁以上短くなっている。これは、クリープ破断が継手母材部で常にくびれを伴って起こっているため、常に接合部のクリープ強度が母材に比べて低いとと考えられる。高温クリープ変形中に観察された動的再結晶による結晶粒の粗大化の関与によって、母材に比べて早いクリープ速度で変形が進行するためと考えられる。

なお、母材試験片と継手試験片のクリープ破断後のひずみ分布の測定結果を示したのが Fig. 11 である。573K で初期クリープ応力 18.73MPa の場合であるが、母材では一様伸び変形後にくびれを生じて破断している。これに対して、継手ではクリープ強度の低い接合部に初期から変形が集中しており、母材部ではほとんど変形せずに破断に至っていることがわかる。つまり、AZ31 合金の圧接継手の高温クリープ強度は、母材に比べて低下していることになる。そのため、常に接合部

でクリープ破断が起こった。このようなことは A5056 では見られなかった興味ある現象である。

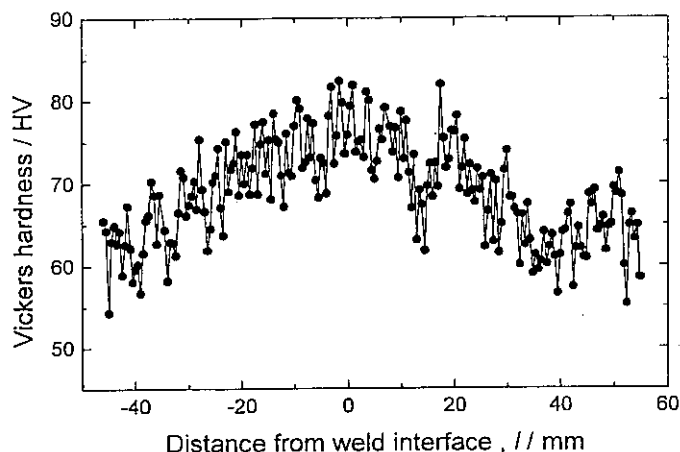


Fig.6 Hardness distribution of friction welded joint of AZ31 alloy.

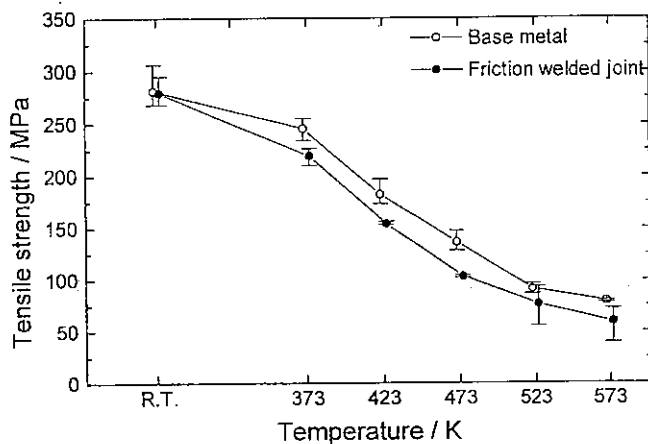


Fig.7 Tensile strength of base metal and welded joint of AZ31 alloy.

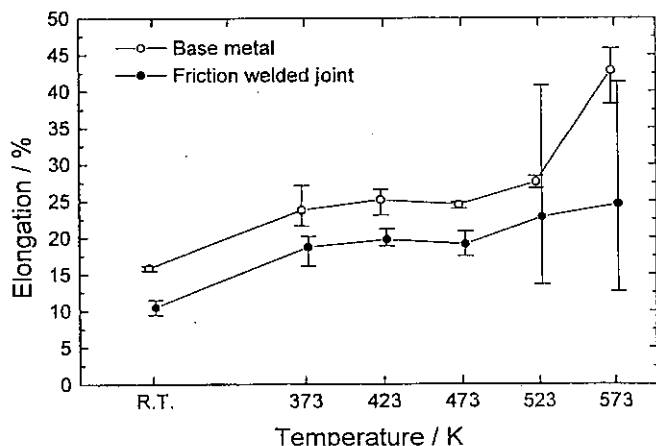


Fig.8 Elongation of base metal and welded joint of AZ31 alloy.

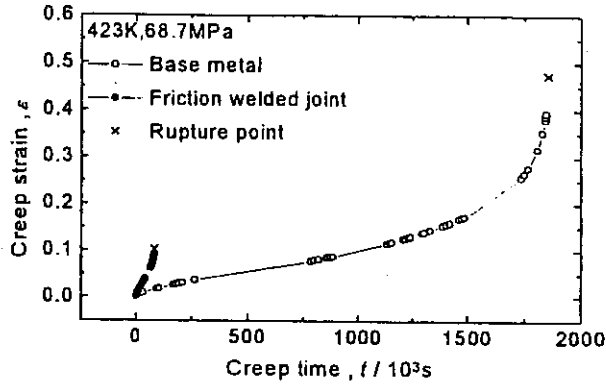


Fig. 9 Creep curves of base metal and welded joint of AZ31 alloy at 423K and 68.7MPa.

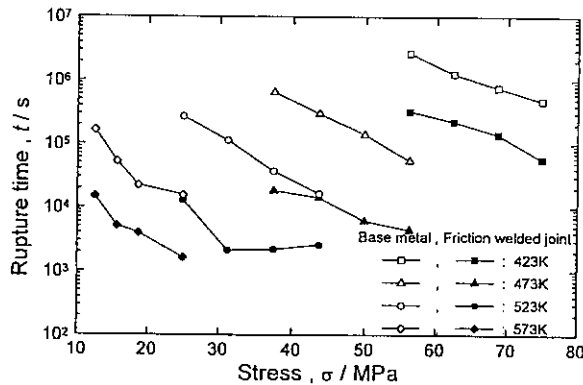


Fig. 10 Creep rupture time for base metal and welded joint of AZ31 alloy.

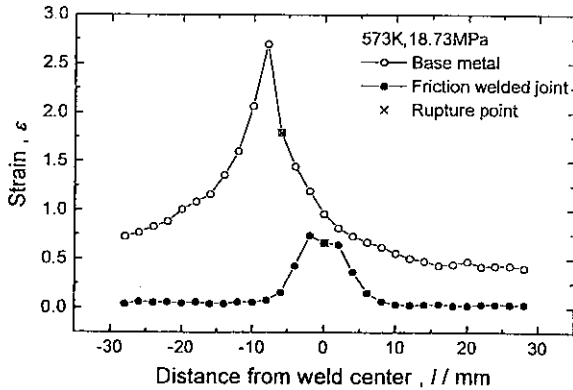


Fig. 11 Distribution of elongation in base metal and welded joint of AZ31 alloy creep-ruptured at 573K.

3.3 両合金の比較

5056Al 合金では、母材と継手の定常クリープ速度はほぼ等しい。しかし、クリープ破断時間では継手のほうが明らかに短い。一方、AZ31Mg 合金では、母材と継手の定常クリープ速度に大きい差が認められ、温度や応力のいかにかわらず、継手のクリープ変形抵抗が明らかに低い。また、AZ31 ではクリープ破断は常に接合部で起こった。これは、AZ31 の摩擦圧接部においては耐高温クリープ性が低下しており、その結果このような差をもたらせたと考えられる。このような両合金の対照的な差異は何によってもたらされたかは興味ある研究課題と思われる。今後さらに検討を加えていく予定である。

4. 結 言

摩擦圧接による継手の高温強度を引張試験とクリープ試験によって評価した結果、AZ31 マグネシウム合金継手では高温強度の低下が起こることがわかった。一方、5056 アルミニウム合金では継手の高温強度の低下はほとんど起こらない。マグネシウムとその合金の摩擦圧接継手からなる構造物を高温において使用する際に十分な注意が必要であると考えられる。