

AZ31B マグネシウム合金と微細 SiC 粒子の複合化による 機能強化材料の開発

長田貢一^{*1}、彦坂武夫^{*1}、木村與司雄^{*2}

Developments of the Functional Reinforced AZ31B-Magnesium Alloy by Compounding with Fine SiC Particles

Kohichi OSADA, Takeo HIKOSAKA and Yoshio KIMURA

Industrial Technology Division, AITEC^{*1}

Food Research Center, AITEC^{*2}

溶湯攪拌法¹⁾により AZ31B マグネシウム合金中に平均粒子径 0.6 μm の SiC 粒子を最大粒子体積率 18% まで複合化することができた。本複合材料は、マグネシウム合金に近い軽量さ (2.03Mg/m³) でありながら、強度、硬さ、弾性率、高温強度及び耐摩耗性を母材に比べ、それぞれ、ほぼ 2 倍に向上させることができた。また、高温 3 点曲げ試験により、クラック等のない 180 ° 曲げ加工が可能であることを確認した。

1. はじめに

実用金属材料で最軽量のマグネシウム(Mg)合金は、比強度、比剛性、寸法安定性に優れるため、ノートパソコン、携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラ等の電子精密機器の筐体に広く用いられている²⁾。

一方、自動車産業においては、省資源、省エネルギーの観点から軽量化が期待できるMg合金の構造部材への用途開発が期待されている。しかし、Mg合金は、鉄鋼材料やアルミニウム(Al)合金に比べ、強度、弾性率及び耐摩耗性が不十分であり、また、Mg合金は、最密六方の結晶構造であるため、室温での塑性加工性等に問題があり、自動車用構造部材にはあまり用いられていないのが現状である。

そこで、低コストで大量生産が可能な溶湯攪拌法により、微細SiC粒子を強化したMg複合材料の創製を試み、強度、弾性率、耐摩耗性、耐熱性などの向上を検討した。また、本複合材料の高温での塑性加工性を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材の作製

2.1.1 複合材料の溶製

実験に用いたAZ31B-Mg合金の化学組成を表1に示す。素材の溶湯に燃焼・酸化防止剤1wt%Ca及び結晶粒微細化剤0.2wt%Sbを添加した母材のAZ31B合金溶湯を調整した。溶湯攪拌法によって、この溶湯に平均粒子径0.6 μm のSi

C粒子を0~20vol%添加し、903Kの一定温度下で攪拌羽根により回転速度10 s⁻¹で7.2ks攪拌を行い、複合材料溶湯を作製した。次に、この複合材料溶湯を973Kに昇温し、溶湯鍛造装置により金型温度573K、100MPaの条件下で加圧鋳造し、65×120mmの鋳造材を得た。

表1 AZ21B マグネシウム合金の化学組成(wt%)

	Al	Zn	Ca	Sb	Mg
AZ31B(素材)	2.950	0.733	0.003	0.001	Bal
Ca,Sb添加(母材)	2.867	0.707	0.852	0.118	Bal

2.1.2 加工熱処理

(1) 熱間押し

この鋳造材を60×100mmのピレットに切削加工した。熱間押し加工は、ピレットを723Kにプレヒートした後、金型コンテナ温度593K、押し比16、56で、それぞれ、厚さ6mm×幅30mmの板材及び8mmの丸棒に成形した。なお、押し丸棒材は、T6熱処理を行った。

(2) 等速圧延

押し丸棒を7×45mmに切削加工した後、パック圧延法³⁾により等速圧延加工装置を用いて熱間圧延を行った。

試料をマuffle炉中で623Kに加熱して1.8ks保持し、1回のパスにおいて加工ひずみは、ほぼ0.1と一定とした。1パス加工するごとに、所定温度に300s加熱・保持した後に加工する操作を、最終圧下率88%として試料厚さが0.7mmになるまで繰り返した。

(3) 異周速圧延

異周速圧延加工装置を用いて押し出し材板（厚さ6mm×幅30mm×長さ100mm）を押し出し方向と直交する方向に加工し、加工温度623K、673K、748K、1パスひずみ0.05として最終圧下率83%とした。なお、上下のローラ周速比を1:1.3とした。

2.2 材料評価

T6熱処理した8mmの押し出し丸棒材を加工して塑性加工性以外の材料評価を行った。

2.2.1 引張、硬さ試験

引張試験は、平行部径6mm、標点距離21mmの引張試験片を作製し、インストロン型万能試験機を用い引張速度0.033m/sで行った。

硬さ試験は、荷重196.1N(HV20)の条件でピッカース硬さ試験機を用いて行った。

2.2.2 ヤング率測定

ヤング率は、切削・研磨により厚さ2.5mm×幅7mm×長さ50mmの試験片を作製し、共振法により測定した。

2.2.3 摩耗試験

摩耗試験は、平行部厚さ5mm×長さ45mmの板材を作製し、60HRCの炭素鋼を相手材として荷重3.3N、摩擦速度0.2m/s、摩擦距離67mの条件で、大越式迅速摩耗試験機を用いて行った。

2.2.4 熱膨張量測定

熱膨張量の測定は、5×20mmの試験片を作製し、室温から723Kの温度範囲で熱機械分析装置により行い、線膨張率を求めた。

2.2.5 組織試験

複合材料の組織及び試験後の破面観察は、光学顕微鏡及びSEMにより観察した。

2.2.6 密度及び粒子体積率の測定

複合材料の密度及び粒子体積率は、アルキメデス法により算出した。

2.3 高温における塑性加工性

2.3.1 高温引張試験

等速圧延材から圧延方向と平行に平行部長さ6mm×幅4mmの高温引張試験片を作製した。高温引張試験は、インストロン型万能試験機により、ひずみ速度 $0.12s^{-1}$ かつ試験温度473～823Kの条件下で行った。

2.3.2 高温3点曲げ試験

高温3点曲げ試験は、異周速圧延材から厚さ1×幅17×長さ60mmに切出して（長さ方向は、圧延方向に平行及び垂直な方向とした）試験片を作製し、曲げポンチ半径 $r=5mm$ 、曲げスパン距離=13、20mm、曲げ角度=160、180°、温度473～773Kで行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 組織及び機械的性質

図1は、熱間押し出し材のSiC粒子体積率12.6及び17%の複合材料の組織を示す。いずれの試料もSiC粒子がほぼ一様に分散している。特に、SiC粒子体積率17%材（以降17%材と記す）ではSiC粒子のより均一な分散状態が得られ、また、白色部のマトリックスも微細化している。すなわち、単位面積あたりの粒子数の増加により、粒子同志の距離が狭まり、相対的に粒子の分散状態が向上したものと考えられる。

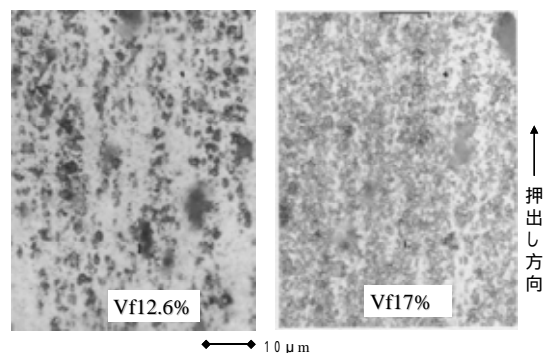


図1 熱間押し出し加工したSiCp/AZ31B-Mg合金複合材料の組織

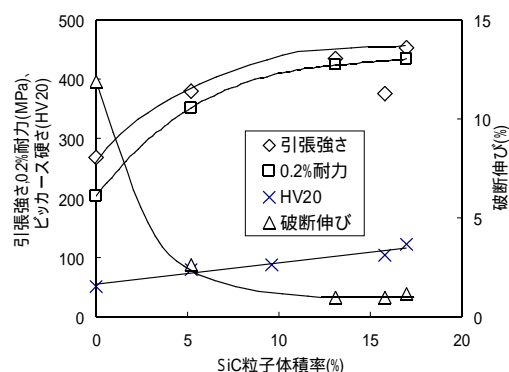


図2 引張強さ、0.2%耐力、ピッカース硬さ及び破断伸びとSiC粒子体積率との関係

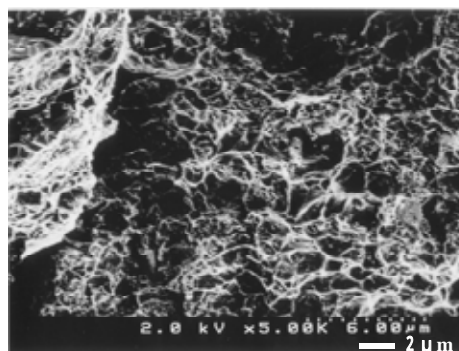


図3 引張試験後の破面（複合材：粒子体積率17%）

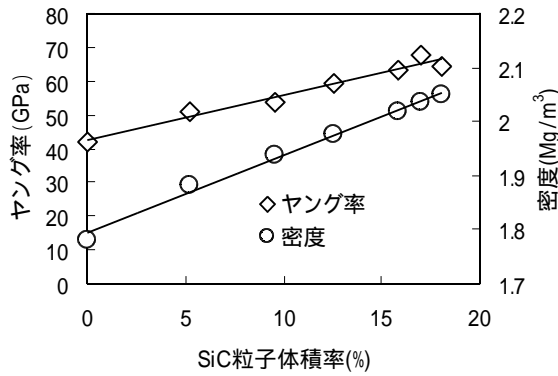


図4 ヤング率及び密度とSiC粒子体積率との関係

SiC粒子体積率と引張強さ、0.2%耐力、破断伸び及びビッカース硬さ（HV20）の関係を図2に示す。引張強さ及び0.2%耐力は、SiC粒子体積率の増加とともに増大し、17%材では引張強さ454MPa、0.2%耐力434MPaと、それぞれ母材の1.7倍、2.1倍の値が得られた。また、ビッカース硬さは、母材が66.3であるのに対し、SiC粒子の体積率とともに直線的に増大し17%材では123とほぼ2倍の値を示した。一方、破断伸びは、複合化により減少した。これは複合化によるSiC粒子の増加とともに、相対的に延性の大きなマトリックスのMg合金が減少したためと考えられる。

図3は、17%材の引張試験後の破面を示す。破面は、延性破壊を示すディンプルパターンであった。SiC粒子を含めた複合材料の結晶粒の大きさは、破面のディンプルパターンから非常に微細であることが推察される。これは17%材に分散しているSiC粒子間の距離が接近し、加工熱処理を経て、粒子のピン止め効果によってマトリックスの微細化が促進した結果であると考えられる。また、図2で示された複合化による引張強さ、0.2%耐力及び硬さの増強は、0.6μmと微細なSiCの粒子強化並びに上述のマトリックスの微細化によるものと考えられる。

SiC粒子体積率とヤング率及び密度の関係を図4に示す。SiC粒子体積率とヤング率及び密度の関係は、双方とも直線的な関係が得られた。素材の41.7GPaに比べ、SiC粒子体積率17%で1.6倍の67.4GPaとAl合金に近い値が得られ、密度は2.03Mg/m³であった。なお、密度は、Al合金の3/4であり、Mg合金より14%重いAl合金よりは25%軽いことが分かった。

3.2. 摩耗特性及び線膨張率

一般にMg合金は、切削抵抗が小さいため切削性が良好で、鉄鋼材料の1/6～1/7、Al合金の1/2といわれ⁴⁾、実用合金中最も切削し易い合金の一つである。それゆえ、耐摩耗性はAl合金に比べて一般的に悪いと考えられる。

図5は、SiC粒子体積率と比摩耗量の関係を示す。粒子体積率の増加とともに比摩耗量は減少し、18%材では

母材の半分の値を示し、耐摩耗性の向上が図られた。

図6は、各温度におけるSiC粒子体積率と線膨張率の関係を示す。各温度において、SiC粒子体積率の増加とともに線膨張率は漸減し、18%材ではすべての試験温度においてMg合金の70～80%と低い値を示した。このことから、SiC粒子体積率を変化させることにより線膨張率を一定範囲内で制御できることが分かった。

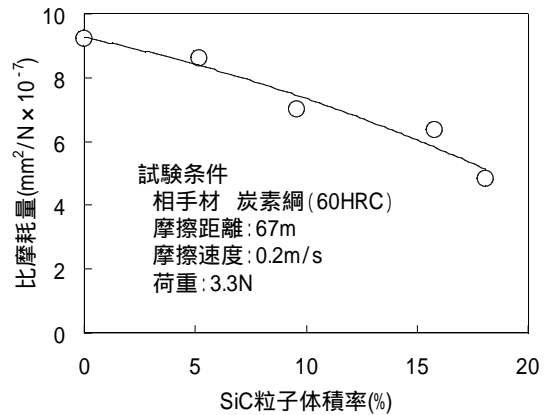


図5 比摩耗量とSiC粒子体積率との関係

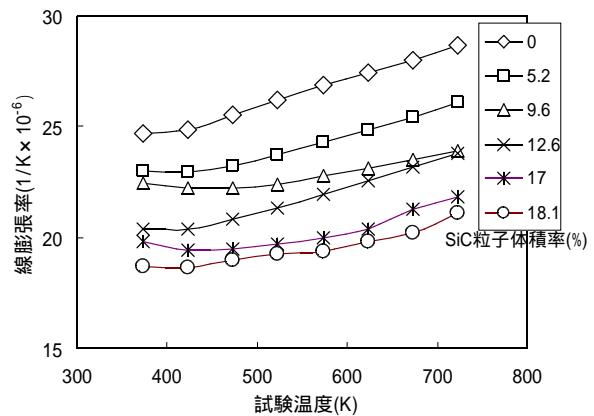


図6 線膨張率とSiC粒子体積率との関係

3.3 塑性加工性

マグネシウム合金を母材とした複合材料は、常温では塑性加工が非常に困難であるため、高温での塑性加工性を検討した。図7は、17%材の圧延材の試験温度と引張強さ、伸びの関係を示す。引張強さは温度とともに漸減しているが、伸びは増大し、特に573K以上で急激に増大しているのが分かる。そこで、この温度領域における塑性加工性を高温3点曲げ試験により調べた。その結果を表2に示す。曲げスパン距離20mm、曲げ角度160°の条件では、9.6%材では548K、17%材では623K以上で曲げ加工が可能であった。また、スパン距離13mm、曲げ角度180°の条件で、いずれの試料も648K以下では、曲げ部に微細クラックが発生したが、17%材では破断した。しかし、いずれの材料も673、723Kの温度下では容易に曲げ

加工が可能で、クラックの発生は認められなかった。さらに、高温の773Kでは、いずれの材料も表面の酸化が著しく、17%材は破断した。図8に高温曲げ試験した試料の外観を示す。これらのことから673Kが最適温度と考えられた。また、いずれの材料も圧延方向及びその直角方向の曲げ試験の差異は認められなかった。

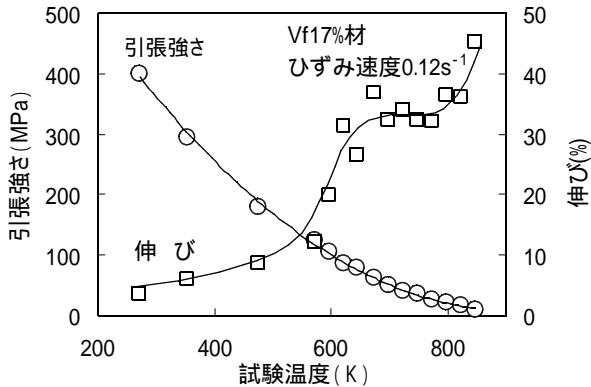
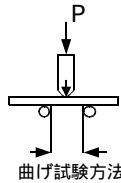


図7 圧延材の引張強さ及び伸びと試験温度の関係

表2 曲げ試験結果

試験条件 スパン=20mm、曲げ半径r=5mm、 曲げ角度=160°		試験温度(K)					
体積率	523	548	573	598	623	673	
9.60%							
17%	x	-	-	-	-	-	



試験条件 スパン=13mm、曲げ半径r=5mm、曲げ角度=180°		試験温度(K)							
体積率	473	523	573	593	623	648	673	723	773
0%									
17%	-	-	x	-	x	x			x

評価 :クラックなし :小さなクラック x:破断

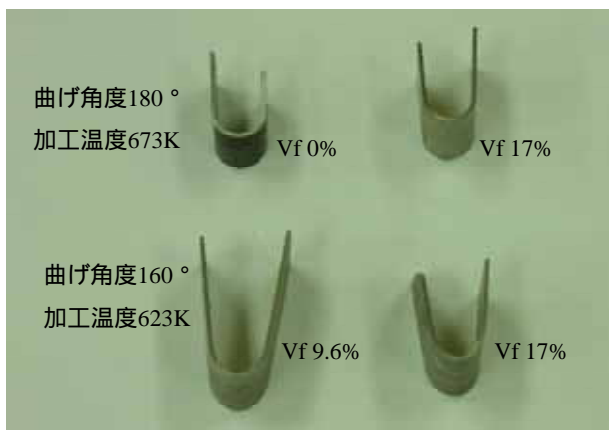


図8 曲げ試験片の外観

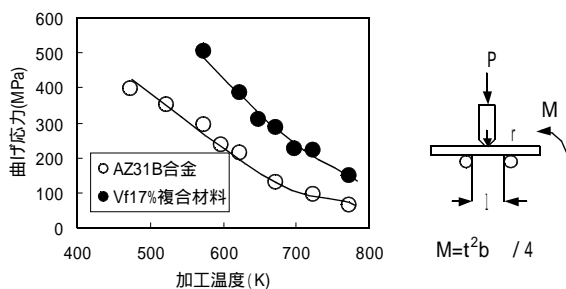


図9 加工温度と曲げ応力の関係

図9にAZ31B-Mg合金及び17%材の高温における曲げ応力と温度の関係を示す。いずれの温度においても複合材料の応力の方が高い値を示した。すなわち、複合材料の塑性加工による材料の変形抵抗を低下させる必要があると考えられる。

4. 結び

溶湯攪拌法により0.6 μmSiC粒子とAZ31B合金の複合化を図り、複合材料の引張強さ、0.2%耐力は、Al合金に匹敵する強度が得られた。ヤング率についても、Al合金に近い値が得られた。特に比強度は、17%材の場合、 $2.23 \times 10^5 \text{Nm/kg}$ となり、6061Al合金(T6)の $1.15 \times 10^5 \text{Nm/kg}^{(5)}$ の2倍、7075Al合金(T6)の $2.04 \times 10^5 \text{Nm/kg}^{(6)}$ よりも大きな値が得られた。

今回の複合材料の作製は、SiC粒子体積率20vol%以上では溶湯粘性が高すぎるためそれ以上の攪拌が困難であったが、体積率を何らかの方法で増加させることができれば、より一層の強度、弾性率、耐熱性等の向上が予想される。いずれにせよ、複合化の際のSiC粒子の分散性の改善が、最も重要な課題である。

文献

- 1)長田、彦坂、木村、黒澤：愛知県産業技術研究所研究報告1,9(2002)
- 2)例えば、日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧,P395(2000),カロス出版
- 3)T. Imai, M. Mabuchi, I. Tozawa: *Superplasticity in Advanced Materials*(S Publication of JSRS),373(1991) 出版など
- 1)日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧, P.64(2000),カロス出版
- 5)軽金属協会編：アルミニウム技術便覧,P108(1996),カロス出版
- 6)軽金属協会編：アルミニウム技術便覧,P113(1996),カロス出版