

マグネシウム合金の高機能部材化技術の開発(第1報)
複合強化によるマグネシウム合金の強度および熱特性向上に関する研究

府山伸行, 藤井敏男, 土取 功

Development of Advanced Functional Technology for Magnesium Alloys (1st Report)
Study on the improvement of mechanical and thermal properties for magnesium alloy composites
FUYAMA Nobuyuki, FUJII Toshio, and TSUCHITORI Isao

The fabrication conditions of magnesium alloy composites were investigated with using squeeze casting method. Fiber reinforced magnesium alloys composites were gained completely on the condition that the sleeve heat temperature was above 300 and the strength of preform was raised. As a result, the thermal conductivity of High modulus carbon fiber/AZ91D magnesium alloys composites indicated about twice compared with AZ91D magnesium alloys. A coefficient of thermal expansion was about 3ppm/ in the composites.
キーワード: スクイズキャスト, 複合材料, マグネシウム合金, 炭素繊維, 熱特性

1 緒 言

近年、アルミニウム(以下、Al)およびマグネシウム(以下、Mg)をベースとした軽合金基複合材料は、従来の強度特性(自動車部品)以外にも、熱特性(電子部品)に対する要求が高まっている¹⁾。特に、IGBT(絶縁ゲートトランジスタ)、CPU(中央演算処理装置)等の基板に適用できる放熱・熱膨張特性を向上した軽量複合材料に対するニーズは高く、市場規模が将来拡大するとみられる、ハイブリッドカーの次世代大出力トランジスタ放熱基板材料向けとしてさらなる応用が期待できる。

このような軽金属基複合材料の作製方法は、溶湯鍛造法が主流であり、我々はこれまでに工業用の溶湯鍛造機(以下、スクイズキャストマシン)を使用して、Al基複合材料のスクイズキャスト条件および材料特性を明らかにしてきた²⁾。一方、将来応用が期待されるMg基で複合化した場合、潜熱の低いその材料特性を考慮したスクイズキャスト条件の設定やプリフォーム作製条件の変更が必要と推定される³⁾。本報告では、本機を使用してMg基複合材料を作製した場合の製造条件を検討し、試作した各種繊維強化複合材料の強度および熱特性の評価結果について報告する。

2 実験方法

2.1 スクイズキャストマシンを使用した複合材料の作製

複合材料の作製には横型締め縦射出型の宇部興産(株)製スクイズキャストマシンを使用し、強化材予備成形体(以下、プリフォーム)へ高圧含浸成形を行った。その主な工程の概略を図1に示す。

[工程1] 予備成形した強化材のプリフォームを所定温度に予熱し、金型キャビティに装填する。

[工程2] マシンの給湯部分(以下、スリーブ)にMg合金溶湯を注ぎ、装填したプリフォームの空隙部に溶湯を高圧含浸させ、部分複合化する。

表1にスクイズキャスト条件を示す。複合部の含浸状態(未含浸、潰れ、割れ等)をマクロ観察しながら、Mg基用に射出速度等を検討した。特に潜熱の低いMg基の場合、スリーブへの注湯時に溶湯温度が低下し、含浸状態が低下することが予想される。そこで、2kWヒーター内蔵のスリーブを設計・試作し、このシステムの効果を検討した。マトリックスとなるMg合金はASTM規格のAZ91D合金を用いた。

表1 スクイズキャスト条件

鑄造圧力 (MPa)	100
射出速度 (mm/sec)	50, 200
スリーブヒーター	なし, あり
金型予熱温度 ()	230
プリフォーム予熱温度 ()	600
注湯温度 ()	730

2.2 強化材プリフォームの作製

強化材には短繊維と長繊維系を選定し、含浸性を比較した。短繊維強化材として四国化成(株)製ホウ酸アルミニウムウイスカM20(以下、Al₁₈B₄O₃₃W)、長繊維強化材として東レ(株)製PAN系炭素繊維M40J(以下、CF)を用いた。各強化材は、Mg溶湯との含浸性を考慮し、強化材配合率の増加や結合剤の変更により、プリフォームの高強度化を図った。

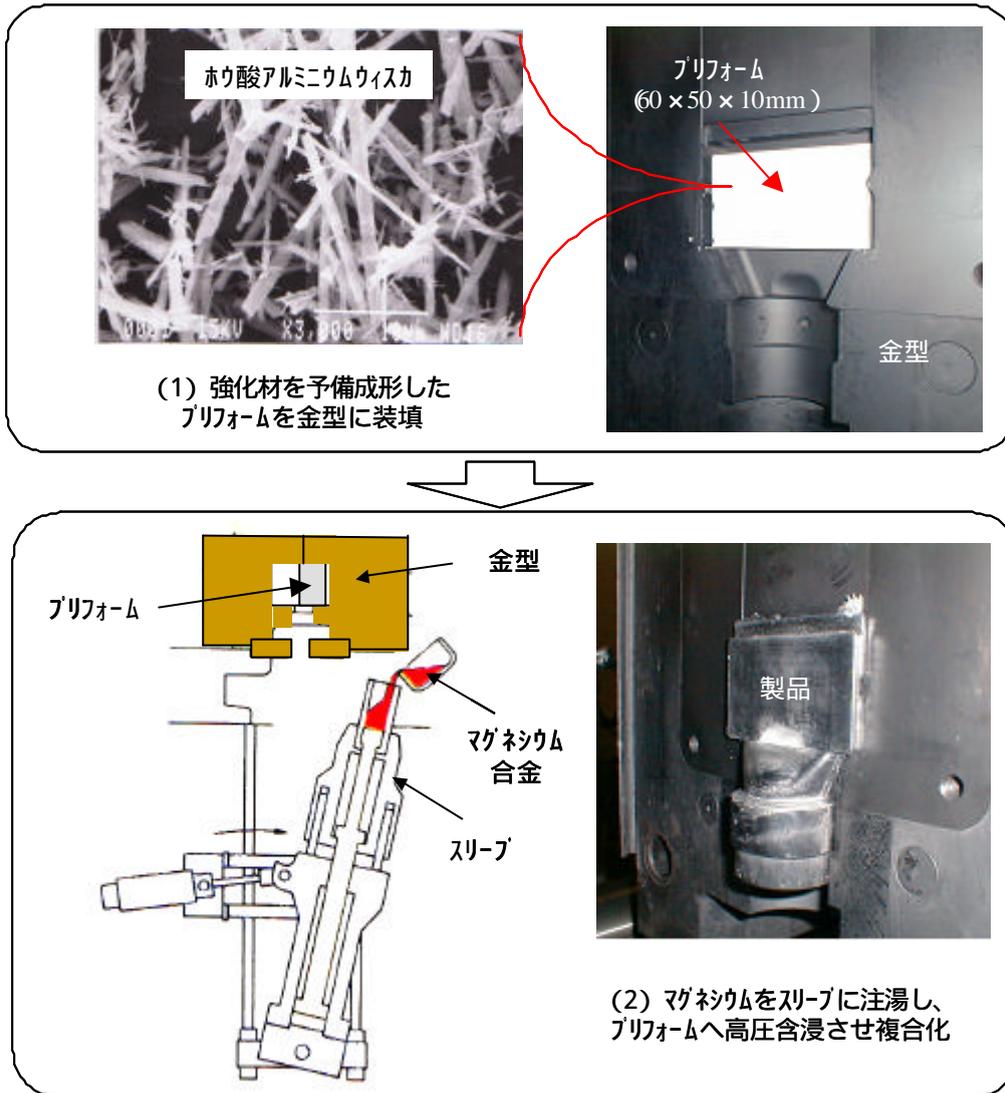


図1 プリフォームを用いたスクイズキャストマシンによる複合材料の作製工程

$Al_{18}B_4O_{33}W$ は水中攪拌・吸引脱水成形中に油圧ジャッキによる加圧圧縮工程を加え、体積率の向上を図った。結合剤には、シリカゾルを3mass%添加した。

CFは、通常の無機バインダーによる結合剤を用いた場合、高温焼成(1000以上)を施す過程で、繊維強度低下を招く問題がある。そこで比較的低温(250)で硬化可能な珪酸ナトリウムを結合材に用い、15mass%添加して高温処理を施さずプリフォームを作製した。また、繊維間隙に8mass%のSiC粒子(以下、SiCp)を付着させ、繊維同士の接触を抑制し、浸透性の改善を試みた。

2.3 複合材料の強度および熱特性評価

試作したプリフォームおよび複合材料の断面観察には光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡(以下、SEM)を用いた。強度特性は複合部から曲げ試験片(3×4×

40mm)を作製し、3点曲げ試験にて評価した。試験条件は、支点間距離30mm、曲げ速度0.5mm/minである。

また、熱特性は熱膨張係数および熱伝導度をそれぞれAr-Heレーザービームによる望遠測微法、レーザーフラッシュ法により測定した。

3 実験結果および考察

3.1 強化材プリフォームの体積率と圧縮強度

作製した $Al_{18}B_4O_{33}W$ の強化材プリフォームは、加圧圧縮工程により体積率が約17%から27%に向上し、圧縮強度も約11MPa向上した。CFは、結合剤を添加せずに作製した場合と比較して圧縮強度を約10MPa向上した高強度プリフォームを作製することができた。CFプリフォームの内部構造は、図2に示すように繊維間隙がSiC粒子で担架され、繊維同士の接触を抑制していた。

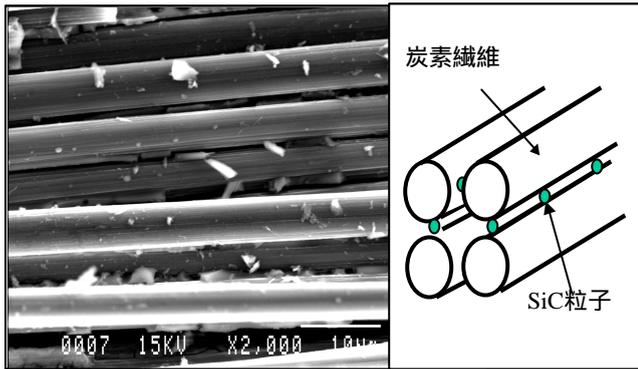


図2 CFプリフォームのSEM写真と模式図

3.2 Mg基複合材料に適したスクイズキャスト条件

表2にプリフォームおよびスクイズキャスト条件による複合部の含浸状態を示す。なお、連続鋳造時のスリーブ温度はヒーターシステムにより、従来（ヒーターなし）の約100 から300 まで大幅に保温可能と

なった。マクロ観察による複合部切断面の含浸状態は、×をプリフォームの潰れや未含浸、 を部分的な含浸、 を完全な含浸とした。各条件による含浸状態から、スリーブヒーターで溶湯温度を保持し、プリフォーム強度に対応した射出速度を設定することで含浸不良の発生を抑制できることがわかる。これは、CFプリフォームが約700 のMg溶湯と変形なく完全浸透するために必要な圧縮強度と射出速度の関係を計算した結果（射出速度200mm/secのとき圧縮強度6.0MPa以上、射出速度50mm/secのとき圧縮強度1.7MPa以上）とほぼ一致している。

このように温度低下したMg溶湯などの影響で圧縮変形していたCFプリフォームの含浸状態は図3のように改善し、短、長繊維系強化材とも100×50×15mm程度のプリフォームサイズまで、割れや潰れの問題が解消できた。

表2 複合化条件と複合部の含浸状態

No.	強化材プリフォーム				スリーブ温度 ()	射出速度 (mm/sec)	含浸状態
	強化材	結合剤	体積率 (%)	圧縮強度 (MPa)			
	Al ₁₈ B ₄ O ₃₃ W	シリカ	17	3	100	50	(一部含浸)
					300	200	(一部含浸)
	Al ₁₈ B ₄ O ₃₃ W	シリカ	27	14	100	50	(一部含浸)
					300	50	(完全含浸)
					300	200	(完全含浸)
	CF	なし	40	0.5	100	50	× (未含浸)
					300	200	× (未含浸)
	CF(+SiCp)	珪酸 ナトリウム	40	10	100	50	(一部含浸)
					300	50	(一部含浸)
					300	200	(完全含浸)

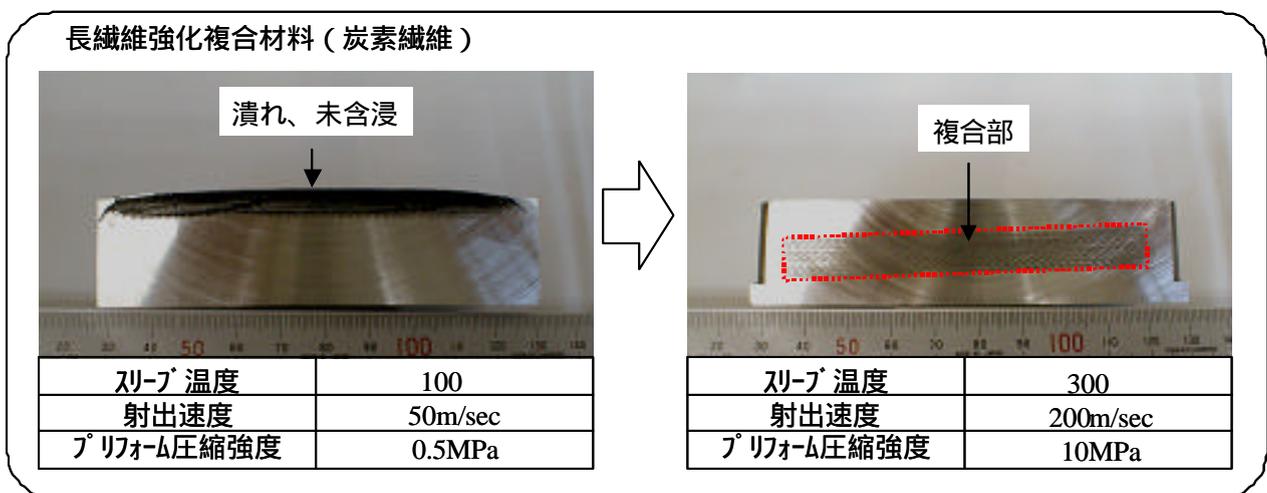


図3 複合化条件と複合部の外観

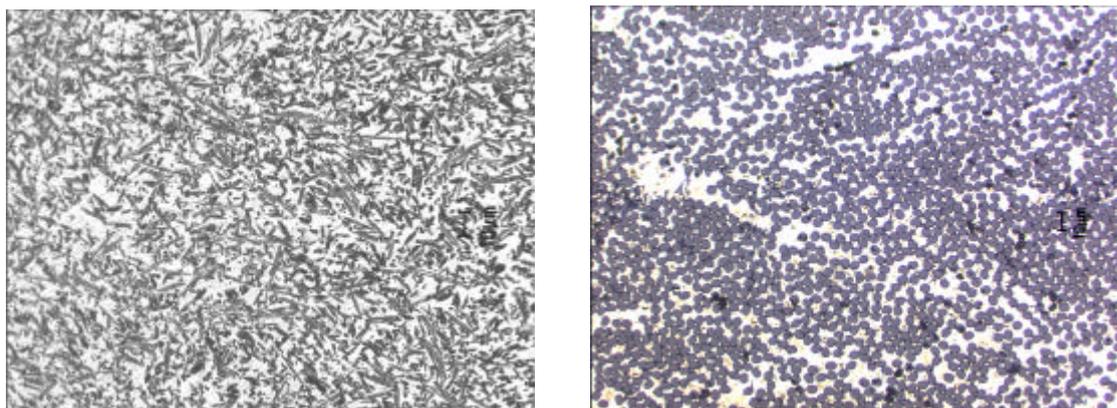


写真1 AZ91Dマグネシウム合金基複合材料の光学顕微鏡組織
 (左：25vol%ホウ酸アルミニウムウイスカ、右：40vol%炭素繊維)

表3 AZ91Dマグネシウム合金基複合材料の強度および熱特性

	比重 (g/cm ³)	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)	熱膨張率 (ppm/)	熱伝導率 (W/m・K)
AZ91D マグネシウム合金	1.80	425	35	27.3	79 ⁴⁾
25vol%ホウ酸アルミニウムウイスカ強化 AZ91D合金複合材料	2.13	780	65	19.8	-
40vol%炭素繊維強化 AZ91D合金複合材料	1.88	700	90	3.2	155

写真1に各種強化材によるAZ91Dマグネシウム合金基複合材料の光学顕微鏡組織を示す。左のAl₁₈B₄O₃₃Wは均一に分散し含浸状態も良好であったが、右のCFは、分散状態はやや不均一な部分が観察された。

3.3 Mg基複合材料の強度および熱特性

表3に試作したAZ91Dマグネシウム合金基複合材料の強度および熱特性を示す。Al₁₈B₄O₃₃W強化複合材料は含浸状態が良好なため、強度、熱特性共に安定した結果が得られたが、CF強化複合材料は含浸状態や繊維劣化に問題があると考えられるため、特に曲げ強度に大きなバラツキがあった。

しかし、CF強化複合材料は繊維方向における熱特性の中で、熱膨張率が27.3から3.2ppm/°Cまで大幅に改善されており、かつ、マトリックスの軽量性を損なうことのない低比重の複合材料であった。

4 結 言

Mg基に適したプリフォームおよびスクイズキャスト条件を検討し、各種強化材によるMg基複合材料の強

度および熱特性評価を行った。

溶湯温度の保持を目的にマシン側（ホットスリーブシステムの採用等）と、含浸性向上を目的にプリフォーム側（高体積率化等）の改善を行った結果、複合部の健全性が向上した。特に試作したCF強化複合材料は、強度以外に熱特性も優れており、従来の構造部材以外に機能部材も含めたMg合金の広範囲な利用が期待される。

なお、本研究は中小企業技術開発産学官連携促進事業により実施した。終わりに、ご協力いただいた広島大学他関係者に深く感謝致します。

文 献

- 1) 日経新聞社: NIKKEI MECHANICAL, 539(1999), 56
- 2) 藤井他: 広島県西部工技研究報告, No. 40(1997), 80
- 3) I. W. Hall: J. Mater. Sci., 26(1991), 776
- 4) マグネシウム協会: 93マグネシウムマニュアル, 5