Al₁₈B₄O₃₃w/Al 合金複合材料の強度に及ぼす Mg 蒸気を利用したウィスカ表面処理の影響^{*1}

潘 進^{*2} 岡本章博^{*3} 李常 飴^{*4} 佐々木 元
吉田 誠 福永秀春

広島大学工学部第一類(機械系)

J. Japan Inst. Metals, Vol. 65, No. 3 (2001), pp. 199-206
© 2001 The Japan Institute of Metals

Effect of A Whisker Surface Treatment on the Strength of Al₁₈B₄O₃₃ Whisker Reinforced AC4CH Aluminum Alloy Composites

Jin Pan^{*2}, Akihiro Okamoto^{*3}, Sang Pill Lee^{*4}, Gen Sasaki,
Makoto Yoshida and Hideharu Fukunaga

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8527

A new surface treatment method for aluminum borate whisker was developed in order to suppress the interfacial reaction between the whisker and aluminum alloy. By depositing Mg on the whiskers under 10 Pa at 650°C for 3.6 ks, and heating them in air at 800°C for 1.8 ks, a uniform MgAl₂O₄ layer with a thickness of 10-20 nm covered the whisker. MgAl₂O₄ layer had a close bonding to the whisker. No treatment whisker, SiO₂ binder added whisker, Mg coated whisker and MgAl₂O₄ coated whisker reinforced AC4CH aluminum alloy composites were fabricated by squeeze casting, respectively. Compressive strength of the whisker preforms having Mg coat and MgAl₂O₄ coat increased remarkably. The deformation of the preform was avoided during squeeze casting. Tensile strength of Mg coat whisker reinforced composites did not decrease, and that of MgAl₂O₄ coat whisker reinforced composites was enhanced by 37% after aging treatment (T6). The interface having MgAl₂O₄ coat showed a stable state. MgAl₂O₄ coat can be regarded as a good barrier to prevent the interfacial reaction between aluminum borate whisker and aluminum alloy matrix.

(Received August 21, 2000; Accepted January 22, 2001)

Keywords: aluminum borate whisker, Mg deposition, spinel, preform, binder, squeeze casting, deformation, aging treatment, tensile strength, interfacial reaction

1. 緒 言

ほう酸アルミニウム(Al₁₈B₄O₃₃)ウィスカは、'90年代初めに商品化されて以来、高いコストパフォーマンスのためアルミニウム合金またはマグネシウム合金の強化材として、非常に注目されている。そのため、製造プロセス、界面反応、物性評価など多くの研究がなされている。SiC ウィスカに比べ、Al₁₈B₄O₃₃ ウィスカ強化アルミニウム合金は優れた強度、弾性率、熱膨張率を示し、さらに良好な耐摩耗性を有するため、最も有望な金属基複合材料の強化材であると考えられる^{1,2)}。しかしながら、このウィスカを用いたアルミニウム合金複合材料の作製、熱処理を行う際に、ウィスカは容易に母材と反応して、複合材料の強度を低下させる。これは実用

化に対し、重要な問題となっている。そのため、数多くの研究者たちは Al₁₈B₄O₃₃ ウィスカとアルミニウム合金の界面反応、界面構造および複合材料の機械的性質に及ぼす製造プロセスの影響を論じている³⁻¹⁴⁾。このウィスカは約520°Cからアルミニウム合金中のマグネシウムと反応し、さらに、730°C以上では直接、アルミニウムと反応する^{3,4)}。その結果、ウィスカに不均一に生成される反応生成物スピネル(MgAl₂O₄)およびγ-Al₂O₃が形成され、ウィスカが劣化したり、ウィスカの長さが短くなったりする⁵⁻⁹⁾。複合材料に熱処理を施すと、さらに反応が進み、ウィスカの損傷が著しくなる¹⁰⁻¹²⁾。なお、反応によりアルミニウム合金中の成分であるマグネシウムが消費されるので、T6 処理後の時効硬化がなくなり、複合材料の強度や硬度が期待されたほど上昇しないことが報告されている^{2,10,13,14)}。したがって、Al₁₈B₄O₃₃ ウィスカ強化アルミニウム合金複合材料の安定な界面状態を保つためには、ウィスカの特性を損なわず、かつ経済性を損なわない適切なバリア層を設ける表面処理が一つの解決策であると言える。例えば、新谷ら¹⁵⁾は、ウィスカ表面にMg(OH)₂粒子およびAl₂O₃粒子を均一に付着させた後、焼成することにより、ウィスカ表層部にMgAl₂O₄層をコーティングした。これにより、表面処理を施さないAl-Si-Cu-

^{*1} 2000年3月29日日本金属学会春期大会において発表

^{*2} 現在：中国技術振興センター(Present address: Chugoku Technology Promotion Center)

^{*3} 広島大学大学院生、現在：日立電線(株)(Graduate Student, Hiroshima University, Present address: Hitachi Cable Co. Ltd.)

^{*4} 広島大学大学院生、現在：韓国東義大学校機械工学科(Graduate Student, Hiroshima University, Present address: Donggeui University)

Mg 基複合材料に比べ、350℃での引張り強度は 130 MPa から 170 MPa に向上した。この複合材料を用いた自動車用ピストンは、1997年から実用化されている。一方、山内ら¹⁶⁾は、ウィスカにガラス系のバインダーを添加し、800℃で焼成した後 AC8A アルミニウム合金と複合化した。この複合材料は高温域での強化効果が優れ、二輪車・四輪車のエンジン用ピストンに展開されている。また、菅沼¹⁷⁾は、バリア層にアルミナを選んだ。DTA の結果により、バリア層が付いたアルミニウム合金複合材料ではマトリックスが熔融するまで全く界面反応が認められなかった。

工業上で簡単に実現できるウィスカ表面処理プロセスを開発するために、本研究では、マグネシウムの蒸気圧が高いことを利用して、ウィスカ表面への新しいバリア層を作製する方法を提案した。まず、10 Pa の真空中に、純マグネシウムを蒸発させ、ウィスカに均一に付着させる。マグネシウムが付いたウィスカプリフォームを空气中で熱処理し、ウィスカをマグネシウムと反応させ、薄く且つ均一な $MgAl_2O_4$ をウィスカ表面に形成させた。つづいて、本研究では、処理をしたウィスカ強化 AC4CH アルミニウム合金複合材料をスクイズキャスト法により作製し、そのウィスカ/マトリックスの界面の微細構造を調べ、複合材料の機械的性質を調査した。その結果、この新しいウィスカ表面処理が有効であることを実証した。

2. 実験方法

2.1 供試材とウィスカの表面処理

アルミニウム合金の強化材としては、工業的規模で生産されているほう酸アルミニウムウィスカ(以下ウィスカと略す)を用いた。このウィスカは四国化成工業製のアルボレックス M-20 タイプであり、 $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$ の化学式で表され、その形状は長さ 10~30 μm 、直径 0.5~1.0 μm の針状で表面は原子レベルで平滑である。ウィスカの強度と弾性率はそれぞれ 8 GPa と 400 GPa である。マトリックスには T6 熱処理の時効効果が期待できる AC4CH アルミニウム合金を使用した。その組成および力学的性質を Table 1 に示す。ウィスカのプリフォームを作製する時、このウィスカを水中に分散させ、吸引時の濾水性を向上させるために、凝集剤としてアクリルアミドを加え、濾過-成形-乾燥の順に処理を行ってプリフォームを成形した。プリフォーム中のウィスカは三次元ランダムな状態であり、ウィスカ体積率は 19% (SiO_2 添加の場合、16.5%)であった。得られたプリフォームは室温で 172.8 ks 放置した後 80℃で 86.4 ks 熱風循環加熱を行って、乾燥させた。ウィスカにマグネシウム蒸気を利用した表面処

理を施すため、Fig. 1 に示す管状真空炉を用いた。ウィスカのプリフォームを真空炉に入れ、プリフォームの下に塊状の純 Mg(純度 99.95%)を置いた。その後、ロータリーポンプにより真空度が 10 Pa になるまで排気し、加熱した。炉の温度が 650℃になると排気バルブを閉じ、排気を停止した。この温度で保持することにより Mg を蒸発させた。その結果、炉内の真空度は Mg の蒸気圧 415 Pa に近くなった。この状態で 3.6 ks 保持し、炉冷してプリフォーム中のウィスカ表面に Mg を蒸着した。次に Mg の蒸着したウィスカプリフォームを、800℃、1.8 ks 大気中で熱処理することにより、ウィスカ表面にスピネル($MgAl_2O_4$)層を生成した。このとき、ウィスカは次式のとおりに Mg と反応したと考えられる³⁾。

2.2 複合材料の作製および表面処理の効果

表面処理を施さないもの、3%の SiO_2 バインダーを添加したもの、Mg 蒸着および $MgAl_2O_4$ 層を形成させたものの、4種類のウィスカで強化した AC4CH アルミニウム合金複合材料を、堅形横締めスクイズキャスト機(UBE-HV250T)を用いて作製した。製造条件は、プリフォーム予熱温度 700℃、アルミ注湯温度 760℃、金型温度 200℃、最終加圧力 100 MPa、加圧保持時間 30 s である。また作製した複合材料を、535℃で 28.8 ks 溶体化処理した後、水中焼き入れを行い、155℃で 21.6 ks 時効処理を施した(T6 処理)。スクイズキャスト時のプリフォーム変形を防ぐには、圧縮強度の高いプリフォームを作製する必要がある。そのため、今回 SiO_2 バインダーを添加した。表面処理をしたウィスカのバインダーの効果を調べるために、まず、各プリフォームを 20 mm×20 mm×35 mm に切り出し、クロスヘッド速度 0.1 mm/min で圧縮試験を行った。as-cast 状態および T6 処理後の複合材料については、常温で引張試験並びにビッカース硬さ試験を行った。引張速度が 0.5 mm/min で、5~8 本の

Fig. 1 Schematic drawing of whisker magnesium coating apparatus.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of AC4CH aluminum alloy.

Composition (mass%)	Si	Mg	Fe	Zn	Ti	Al
	7.3	0.37	0.10	0.01	0.14	Bal.
Properties	Yield strength (MPa)		Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	84 (F)	124 (T6)	182 (F)	237 (T6)	11.9 (F)	18.7 (T6)

Note: T6-535℃-12 h. solid solution and water quenching, 155℃-4 h. aging.

試験片から平均強度を算出した．硬さの測定条件は荷重 9.8 N，荷重保持時間 10 s で行い，10 点のデータから平均値を求めた．表面処理をしたウィスカおよびそれを用いた複合材料を NaOH 20 % 水溶液でウィスカを抽出した．それを SEM (HITACHI/S800) 観察，EPMA (JEOL/JXA-8900RL) 分析，TEM (JEOL/JEM-4000EX) 観察および X 線回折装置 (MAC SCIENCE/MXP18VA) 分析を行い，表面処理の効果について検討した．

3. 結果および考察

3.1 表面処理をしたウィスカの表面状態

Mg 蒸着ウィスカおよびそれを大気中で熱処理をしたウィスカの SEM 像を Fig. 2 に示す．両ウィスカとも，as-received の平滑な状態と異なり，表面には多少の凹凸が見られるものの，ほぼ均一にコーティングされている．また，X 線回折分析により，蒸着後に熱処理を施したウィスカに MgAl₂O₄ 相があることを見出した．Mg 蒸着の直後 (Fig. 2(a)) および 800°C，1.8 ks の熱処理後 (Fig. 2(b)) の EPMA-WDS 点分析では，ウィスカ表面の Al : Mg 原子比は，ほとんど変化が見られない．これは Mg が酸化されることより優先的にウィスカと反応して MgAl₂O₄ に変わったためであると考えられる．表面処理を行ったウィスカの TEM 観察結果を Fig. 3 に示す．ウィスカ表面に Mg 層が確認できる (Fig. 3(a))．また，熱処理後のウィスカに厚さ数 nm 程度の均一層も見られる (Fig. 3(b))．表面近傍の高分解能 TEM 写真を Fig. 4(a) に示す．特定の結晶面の面間隔および相対方位の計算により，ウィスカ表面にできている厚さ約 10 nm の均一な膜状の相が MgAl₂O₄ であることが分かった．ウィスカの (111) 面と $\bar{2}02$ 面が 90° の角度で交わっており，ウィ

スカの $\bar{2}02$ 面と MgAl₂O₄ の (222) 面は界面を介して平行であった．また，ウィスカの (111) 面を界面としていた．Fig. 4(b) に MgAl₂O₄ 層と Al₁₈B₄O₃₃ の方位関係を示す．ウィスカの $\bar{2}02$ 面の面間隔は 0.2281 nm であり，MgAl₂O₄ の (222) 面の面間隔は 0.2335 nm であるので，ウィスカ /

Fig. 3 TEM photographs of Mg coated (a) and after heat treated (b) whisker.

Fig. 2 SEM photographs of Mg coated whisker (a) and MgAl₂O₄ coated whisker (b). (Value Mg : Al is the relative atomic ratio of Mg and Al obtained by EPMA-WDS analysis)

Fig. 4 HRTEM image of the surface layer of MgAl_2O_4 coated whisker (a) and the schematic illustration showing lattice fitting between (202) planes of $\text{Al}_{18}\text{B}_4\text{O}_{33}$ and (222) planes of MgAl_2O_4 at the interface (b).

MgAl_2O_4 界面でのずれは 0.0054 nm となり、相対的なミスマッチはウィスカ側を基準にして 2.4% となり、非常に整合性の良い界面を形成している。これは、反応式 (1) によってウィスカと Mg が反応して MgAl_2O_4 が生成する際に、 MgAl_2O_4 がウィスカの表面に対してエピタキシャル成長したことを示している。なお、 MgAl_2O_4 層が付着しているウィスカ表面に径 10~20 nm の粒子状物質 (Fig. 4(a) の右上方) が所々観察された。これは MgO である。Mg 蒸着のウィスカを大気中で熱処理した際、一部分の Mg が酸化され、ウィスカ表面に残留したためであると考えられる。

3.2 プリフォーム強度への影響

スクイズキャスト法により複合材料を作製するとき、高温・高圧条件下で強化材のプリフォームが、変形、破壊しない程度の十分な強度が必要である。各処理を施したプリフォームの圧縮強度を Fig. 5 に示す。未処理のプリフォームは、圧縮強度が 0.15 MPa と小さいため、スクイズキャスト前後で、ウィスカ体積率が 19% (プリフォーム) から 24% (複合材料) に変わった。プリフォームに SiO_2 バインダーを添加すると、圧縮強度は 1.7 MPa に上昇した。複合プロセスの前後の体積率もほとんど変化しなかった。一方、Mg 処理を

Fig. 5 Compressive strength of different whisker preforms. The left-top table shows whisker volume fraction of preform and composites.

施したプリフォームの圧縮強度は 1.83 MPa、 MgAl_2O_4 処理を施した場合は 3.91 MPa となった。複合プロセス前後の体積率に変化はなかった。これより、Mg 処理と MgAl_2O_4 処理はプリフォームのバインダーとしても十分な効果があると言える。強度上昇の原因を探るため、プリフォームの SEM 観察を行った。プリフォーム中のウィスカの写真を Fig. 6 に示す。未処理の場合は、ウィスカ同士が単純に接触していて、その結合は非常に弱いと思われる。それに対し、 SiO_2 バインダー添加、Mg 処理および MgAl_2O_4 処理のものはウィスカとウィスカの接触部に矢印で示されるような架橋が見られ、この架橋によりウィスカ同士がお互いに強い強度で結合しているものと思われる。

3.3 複合材料の強度と界面反応防止の効果

マトリックス合金および複合材料の製造直後と時効処理 (T6) 後の平均引張強度および標準偏差を Fig. 7 に示す。3.2 節で述べたように、複合材料中のウィスカ体積率はプリフォームの圧縮強度により変わった。ここで、複合則で体積率 20% の強度に換算した。マトリックス合金の強度は、T6 処理後 43% 上昇した。しかしながら、T6 処理により、強度は未処理プリフォームの複合材料で 16%、 SiO_2 添加のもので 13% 低下した。一方、Mg 処理のものでは強度の変化はほとんどなかった。 MgAl_2O_4 処理のものは、T6 処理をすることにより、37% の高い強度上昇を示す。複合材料のビッカース硬度は引張強度とよく似た挙動を示す。未処理ウィスカの強化した複合材料は、硬度が Hv124 (as-cast) と Hv122 (T6) であり、T6 処理によるマトリックスの時効硬化が得られなかった。 SiO_2 添加した場合でも、硬度はそれぞれ Hv112 (as-cast) と Hv97 (T6) であり、同じことが見られる。Mg 処理のものは、硬度が Hv118 (as-cast) から Hv125 (T6) に上がり、T6 処理で若干の時効硬化が見られる。 MgAl_2O_4 処理のものは T6 処理により、ビッカース硬さが as-cast の Hv120 から Hv181 まで向上し、大幅な時効硬化が得られた。Fig. 8, 9 に各複合材料から抽出したウィスカの SEM 観察および X 線回折結果を示す。未処理ウィスカを用いた複合材料の as-cast 材は、ウィスカの表面に少量の付着物が確認できるが、比較的平滑な表面を示している (Fig. 8(a))。T6 処理後はウィスカの表面に多量の粒状の反応生成物ができてい

Fig. 6 SEM photographs of the whisker in the preform. (a) no treatment, (b) SiO₂ binder, (c) Mg coat, and (d) MgAl₂O₄ coat.

Fig. 7 Average tensile strength of AC4CH alloy and Al₁₈B₄O₃₃/AC4CH alloy composites.

る (Fig. 8 (b)). Fig. 9 (b) の X 線回折結果に MgAl₂O₄ のピークがはっきり見られるので、ウィスカ表面に生成している反応生成物は MgAl₂O₄ であると考えられる。MgAl₂O₄ は、Mg を含有するアルミニウム合金 6061, AC8A 基複合材料の場合でも発現された^{3,6,12)}。この MgAl₂O₄ がウィスカ表面に散在して生成するので、複合材料に荷重を加えるとき、凹凸のウィスカ表面に応力集中が生じ、切欠きによりウィスカが損傷を受け、ウィスカ自体の強度が低下している。なお、界面反応により、ウィスカの長さが短く、アスペクト比が小さくなることはウィスカの強化効果を低減させる原因となっている⁹⁾。加えて MgAl₂O₄ 生成時にマトリックス中の Mg が消費されることにより、時効析出物である Mg₂Si が生成なくなり、T6 処理後の引張強度が低下したと考えられる。SiO₂ 添加の場合では、ウィスカ表面状態に同様の変化が見られ (Fig. 8 (c), (d)), 同じように複合材料強度も低下する。一方、Mg 処理、MgAl₂O₄ 処理の抽出ウィスカは、SEM 像

Fig. 8 SEM photographs of the extracted whisker from different composites in as-cast and T6 state.

Fig. 9 X-ray diffraction patterns of the extracted whisker from composites. (a) as-received, (b) no treatment, (c) Mg coat, and (d) MgAl_2O_4 coat.

から as-cast 材と T6 処理材で明確な変化が見られない (Fig. 8(e)–(h)). 両ウィスカとも表面に激しい凹凸が無いことにより、切欠きによるウィスカの損傷は非常に少ないものと言える。Mg 処理のウィスカの X 線回折結果から、未処理の場合とほぼ同じ、as-cast 材からは反応生成物が見えなくて、T6 材からの反応生成物である MgAl_2O_4 のピークが確認できる (Fig. 9(c)). MgAl_2O_4 処理のウィスカは、as-cast およ

び T6 材にとっても、 MgAl_2O_4 のピークがはっきり見られ、ピークの高さもほぼ同じであった (Fig. 9(d)). それは、T6 処理の際に、新たな MgAl_2O_4 が生成しないためであると考えられる。Mg 処理、 MgAl_2O_4 処理並びに比較のため未処理場合、それぞれの複合材料から抽出したウィスカの TEM 写真を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。未処理のものはウィスカ表面に 100~200 nm 大きさの MgAl_2O_4 が生成しており、かなりの凹凸が見られる (Fig. 10(a)). 一方、Mg 処理のものは、 MgAl_2O_4 がウィスカの表面に層状かつ均一に生成しているのが見られる (Fig. 10(b)). このように、 MgAl_2O_4 が層状に生成することにより、見かけの形状は as-cast 材と同様に見えたものと考えられる。以上より Mg 処理のウィスカは、ウィスカ表面は滑らかで切欠きによるウィスカの損傷はすくない。しかし、T6 処理時ウィスカに残る Mg またはマトリックス中の蒸着 Mg は更にウィスカと反応して、ウィスカを損傷したり、マトリックス中の Mg を消費したりしたため、T6 処理による引張強度が向上しなかったと考えられる。 MgAl_2O_4 処理の場合では、as-cast 材と T6 処理材ではウィスカ表面層の変化が見られない (Fig. 11). MgAl_2O_4 を生成する反応は最初に Mg 蒸着のウィスカを熱処理した時に完了したと考えられる。ウィスカ表面に厚さ約 20 nm の MgAl_2O_4 層が確認でき、この MgAl_2O_4 層は T6 処理後も厚くならなかったため、複合材料の作製および T6 処理を行った時ウィスカとマトリックスとの間で新たな界面反応が生じないといえる。したがって、この MgAl_2O_4 層はバリアとして、ウィスカとマトリックスの界面反応を有効に抑制したと考えられる。以上より MgAl_2O_4 処理のウィスカは T6 処理時にウィスカとマトリックスとの界面反応を防ぐことで、ウィスカの損傷を防ぎ、かつマトリックスの時

Fig. 10 TEM photographs of the extracted whisker from two composites after T6 treatment. (a) no treatment whisker, (b) Mg coated whisker.

Fig. 11 TEM photographs of the extracted whisker from MgAl₂O₄ coated whisker reinforced composites in as-cast (a) and T6 (b) state.

効硬化により大幅に引張強度が向上したと考えられる。

ほう酸アルミニウムウィスカで強化したアルミニウム合金複合材料に対し、T6 処理の効果について、いろいろな結果が得られている。T6 処理を行うと、複合材料の強度はウィスカの損傷およびマトリックス自体の時効硬化により決定される。同じ方法で作製した複合材料の T6 処理前後の強度の比較を Table 2 に示す。界面反応の状況およびウィスカ強度とマトリックス強度に与える影響を定性的に表し、同表にまとめた。界面反応が起こる時、ウィスカ損傷およびマトリックスの合金元素の消費がある。そのため、複合材料の強度が低下する。未処理ウィスカで強化した AC8A および AC4CH 合金複合材料は、これに相当する。逆に、界面反応

がない時、ウィスカ強度は変わらず、かつマトリックスの時効硬化により、複合材料の強度は上昇する。これは Al-9%Cu 基複合材料および MgAl₂O₄ 処理のウィスカ/AC4CH 複合材料の場合に相当する。一方、僅かな界面反応があり、マトリックス中の合金元素が若干消費される場合、例えば、6061Al をマトリックスとした複合材料および Mg 層のあるウィスカで強化した AC4CH 複合材料では、ウィスカが少し損傷するが、マトリックスもある程度の時効硬化がある。その相殺効果により、複合材料の強度はほとんど変化しない。本研究におけるほう酸アルミニウムウィスカの MgAl₂O₄ 処理は、簡単なプロセスであり、これを用いて Al 合金を複合させ、T6 処理を行うことによって複合材料の強度が大きく

Table 2 Interfacial reaction and its effect on the strength of whisker, matrix and composites after T6 treatment for different composites.

Composites	Interface status	Whisker strength	Matrix strength	$\sigma_{c, T6}$	Ref.
				$\sigma_{c, as-cast}$	
AlBO/6061	less reaction	↘	↗	0.93	2)
AlBO/6061	less reaction	↘	↗	0.98	6)
AlBO/6061	less reaction	↘	↗	1.02	13)
AlBO/AC8A	reaction	↓	→	0.89	9)
AlBO/pure Al	no reaction	→	→	1.08	9)
AlBO/Al-9%Cu	no reaction	→	↑	1.20	9)
AlBO/AC1A	no reaction	→	↑	1.27	2)
AlBO/AC4CH	reaction	↓	→	0.84	The present work
AlBO(Mg)/AC4CH	less reaction	↘	↗	0.99	
AlBO(MgAl ₂ O ₄)/AC4CH	no reaction	→	↑	1.37	

Note AlBO: Al₁₈B₄O₃₃ whisker; $\sigma_{c, as-cast}$, $\sigma_{c, T6}$: composite strength in the as-cast and T6 state; ↑, ↓: up or down in strength; ↗, ↘: little up or down in strength; →: no change in strength.

改善することが認められた。

4. 結 論

本研究では、ほう酸アルミニウムウイスカとアルミニウム合金の界面反応を抑制するために、マグネシウムの蒸気を用いた新たなウイスカ表面処理法を提案した。この処理を施したウイスカを用いて、アルミニウム合金(AC4CH)をマトリックスとして複合材料を作製し、表面処理を施したウイスカの表面状態、ウイスカプリフォームの圧縮強度、複合材料の引張強度について、ウイスカ表面処理の効果を検討した。得られた結果は以下のとおりである。

(1) 10 Pa の低真空、650°C、3.6 ks の条件でウイスカプリフォームに Mg を蒸着させ、これを 800°C、1.8 ks 大気中で熱処理を行うことによりウイスカの表面に厚さ約 10~20 nm の均一な MgAl₂O₄ 層を作製することができる。

(2) Mg, MgAl₂O₄ で表面処理を施すことにより、ウイスカ同士が繋がれ、プリフォームの圧縮強度は増加した。これにより、スクイズキャスト時の浸透圧力によるプリフォームの変形を防ぐことができる。

(3) Mg を蒸着させたウイスカプリフォーム複合材料では、T6 処理後の複合材料の強度低下が防止される。

(4) MgAl₂O₄ で表面処理を行ったウイスカプリフォームを用いた複合材料では、MgAl₂O₄ バリア層がウイスカとマトリックスの反応を抑制する。その結果、T6 処理後の複合材料の強度が大幅に上昇する。

本研究を遂行するにあたり、有益な議論をしていただい

た、広島県立西部工業技術センターの土取 功博士、藤井 敏男氏、府山伸行氏に深く感謝します。

文 献

- 1) K. Suganuma, T. Fujita, N. Suzuki and K. Niihara: J. Mater. Sci. Lett. **9**(1990) 663-635.
- 2) Shikoku Chemicals Industry: Technical report of ALBOREX-FRM (1992).
- 3) L. J. Yao, G. Sasaki and H. Fukunaga: Mater. Sci. Eng. **A225**(1997) 59-68.
- 4) L. J. Yao, G. Sasaki, J. Pan, M. Yoshida and H. Fukunaga: Metall. Mater. Trans. **A29**(1998) 1517-1524.
- 5) K. Suganuma, G. Sasaki, T. Fujita and N. Suzuki: J. Japan Inst. Light Metals **41**(1991) 297-303.
- 6) X. G. Ning, J. Pan, K. Y. Hu and H. Q. Ye: Mater. Lett. **13**(1992) 377-381.
- 7) K. Nagatomo and K. Suganuma: J. Japan Inst. Metals **58**(1994) 78-84.
- 8) M. Shibata and Y. Takemoto: J. Japan Inst. Metals **64**(2000) 1-6.
- 9) J. Pan, G. Sasaki, L. J. Yao, M. Yoshida and H. Fukunaga: Mater. Sci. Tech. **15**(1999) 1044-1048.
- 10) X. G. Ning, J. Pan, J. H. Li, K. Y. Hu, H. Q. Ye and H. Fukunaga: J. Mater. Sci. Lett. **12**(1993) 1644-1647.
- 11) L. J. Yao and H. Fukunaga: Scripta Mater. **36**(1997) 1267-1271.
- 12) G. Sasaki, L. J. Yao, M. Yoshida, J. Pan and H. Fukunaga: J. Japan Inst. Metals **63**(1999) 577-580.
- 13) N. Saito, M. Nakanishi and Y. Nishida: J. Japan Inst. Light Metals **44**(1994) 86-90.
- 14) N. Nishino and S. Towata: J. Japan Inst. Light Metal **47**(1997) 214-219.
- 15) Y. Shintani, Y. Serizawa, M. Kawasaki, M. Miyazaki and Y. Okouchi: Proc. of Chyubu Branch Technical Convention of SAEJ (1997) 97.
- 16) T. Yamauchi, M. Suzuki, M. Takahashi, I. Takada and M. Toda: Proc. of Technical Convention of SAEJ (1998) 125-128.
- 17) K. Suganuma: Aluminum **6**(1999) 145-151.