

金属基複合材料の開発及び応用

千葉工業大学 工学部 金属工学科

助手 武 高輝

(平成3年度奨励研究助成 AF-91031)

1. 研究の背景

金属基複合材料の開発には、作製方法の工夫が必要であると考えられる。

金属基複合材料の製造方法の一つである加圧鋳造法は、一次成形加工が可能で、生産性に優れるなどの利点があるが、粒子径がサブミクロンになると、粒子の表面積が大きくなり、複合化が困難になる。またプリフォーム中に含まれる空気は、複合後も材料の中に残存して材料の緻密性に悪影響を及ぼす。そのため、加圧鋳造法で作製した粒子強化複合材料の引張強さと伸びは低くなる。

われわれは、プリフォーム中の空気が複合時に排出されるような加圧排気鋳造法を開発し、低気孔率の $Al_2O_3p/6061$ 複合材料及び各種粒子と銅の複合化に成功した。

本研究では、加圧排気鋳造法を更に充実するために、複合途中における複合組織の観察及びプリフォーム内部の温度分布を推定して複合化過程を解析することにした。

更に、高温における電気伝導性と機械的性質が優れるが複合化が困難であるCu基複合材料の作製を目的とした、加圧排気鋳造法での製作を行った。

また、SiC whisker及び Al_2O_3 粒子強化アルミニウム合金複合材料は、比強度、比弾性率、耐熱性、耐摩耗性などの優れた特性を持つため大きな期待が寄せられている。しかし、SiC whiskerはランダム配列であり、かつ複合後の押出しなどの加工により分断されるため、その高強度が活かされない。一方、粒子強化複合材料は、機械的性質に異質性がなく、塑性加工性がよく、コストが安い等の利点があるが、一般的に引張り強さが低く、強さが高いとされている細かい粒子の複合化が困難である。そこで、whisker強化と粒子強化の両者の欠点を補いながらそれぞれの特色を活かした混合強化方法及び細かい粒子での複合方法の研究が必要となる。したがって、whiskerの高強度と粒子の分散性などの特性を活かし、whiskerを整列させた低コスト、高精度と指向する $SiC_w \cdot Al_2O_3p/6061$ 混合強化複合材料の設計、作製、並びに混合強化複合材料の強さに及ぼす諸因子の影響についても合わせて検討することにした。

研究成果の概要

本助成金の申請にあたって、以下のような研究目標を定

めた。

- 1) 混合強化複合材料の強化機構を解明する。
- 2) 実用化するために、混合強化複合材料の最適混合割合を明らかにする。
- 3) 溶湯の浸入過程を調べ、加圧排気鋳造法の最適鋳造条件を明らかにする。
- 4) 目標に合致した Al_2O_3 粒子及びWC粒子強化銅基複合材料を作製する。

これらの研究目標はほぼ達成できた。

- 2.1 目標1), 2) の内容については、発表論文(1)及び(3)を参照。

$SiC_w \cdot Al_2O_3p/6061$ 混合強化複合材料を設計、作製し、その結果whiskerの分断が少なく、配向性が良く、低コストで、しかも高強度の複合材料が得られた。また、混合強化複合材料の強化機構を検討した。その結果、押出しによるwhiskerの分断後の平均長さが体積率 V_f に対して指数関数的に短くなる回帰式が得られた。また実験結果に基づき強度の複合則を導いた。その結果、複合材料の引張強さは、臨界長さ以上のSiC whiskerの有効体積率に左右されることがわかった。また、複合材料の引張強さは、whiskerの強さ、体積率及びマトリックスの強さの変化に対して最大値があり、これら三者の間に最適な組合せが存在し、これによってSiC whiskerと Al_2O_3 粒子との混合にも最適混合割合があることがわかった(この場合の最適混合割合は2:8である)。また理論計算及び破断面付近の組織観察より、マトリックスの強さは、whiskerの強化係数、臨界長さ及び有効体積率の値を左右する一方、whiskerの強化への寄与の形式を左右する、すなわち、マトリックスの強さが高いと、whiskerは破断の形で、低い場合は、whiskerは主に抜け出しの形で強化へ寄与することがわかった。

- 2.2 目標3)については、発表論文中の(2)を参照。

加圧排気鋳造法における溶湯の浸入挙動と複合過程及び最適な作製条件を検討した。まず複合時のプリフォーム内部の温度変化より、プリフォームの温度分布を定性的に再現する方法を考案した。これにより、 SiO_2/Pb 複合材料を用いたモデル実験においてプリフォームの温度分布と組織の関係を調べ、溶湯の浸入と凝固の過程がわかり、その結果緻密で均一に複合材料を作製するための最適な金型及び

溶湯温度は、狭い範囲に制限されることがわかった。

2.3 目標4)については、下記結果が得られた。

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cu}$ 複合材料については、耐熱性、保温性を有する金型を設計し、体積率20%、25%、30%の複合材料が得られ、その電気伝導率と粒子の体積率との関係は、Maxwell方程式で近似でき、体積率が20%で約61% IACSに達した。また、機械的性質としては、高温硬さが高く、マトリックスのものより約5倍向上し、高温焼鈍処理後も室温の硬さが維持できることがわかった。

炭化物 (WC, TiC)、窒化物 (Si_3N_4 , TiN) 粒子/Cu 複合材料については、それぞれの複合材料が得られ、高温硬さがマトリックスより大幅に向上し、WC/Cu 複合材料では体積率が40%の場合、260Hv、TiC/Cuでは体積率が40%の場合、270Hv、 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cu}$ では体積率が40%の場合、260Hv、TiN/Cuでは体積率が50%の場合、250Hvに達した。また、それぞれの電気伝導性と体積率との関係は、Maxwell方程式で近似できることがわかった。

3. その他

複合材料の組織の緻密性を向上するために、パルス加圧排気鋳造法を開発した。この方法により、プリフォーム中の空気がより効率的に排出され、 $\text{Al}_2\text{O}_3/6061$ 粒子強化複

合材料の空隙率が約5倍向上し、引張り強さも約5倍向上した。この研究内容は発表(4)を参照。なお、下記については未完成である。

1. $\text{Al}_2\text{O}_3/6061$ 粒子強化複合材料の超塑性を検討する。
2. 高価のウイスカに代わり、粒子とウイスカの混合強化複合材料をエンジンのピストンなどへの応用を目指し、その材料の高温強度を調べる。

4. 本助成金による発表論文のリスト

- (1) 武 高輝、河野 紀雄、高橋 恒夫、渡辺 久藤: SiC ウイスカ・ Al_2O_3 粒子/6061 アルミニウム合金複合材料の強化、軽金属, 42, (1992), 377.
- (2) 武 高輝、河野 紀雄、高橋 恒夫、渡辺 久藤: 加圧排気鋳造による粒子強化複合材料の複合化過程の解析、軽金属, 43, (1993),
- (3) G.H.Wu, N.Kono, H.Watanabe, and T.Takahashi: Microstructure and mechanical properties of $\text{SiC}_w \cdot \text{Al}_2\text{O}_{3p}/6061$ composites, Scripta METALLURGICA et MATERIALIA. 6 (1993), (印刷中)
- (4) 武 高輝、河野 紀雄、高橋 恒夫、渡辺 久藤: パルス加圧排気鋳造による $\text{Al}_2\text{O}_3/6061$ アルミニウム合金複合材料の緻密化、軽金属, (投稿中)