

半溶融加工による繊維強化複合材料の製造および加工に関する研究・I

Investigation into Production and Working of Fiber Reinforced Metals by Mashy State Extrusion

木内 学*・杉山 澄雄*・富岡 美好**・川平 哲也***

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA, Miyoshi TOMIOKA and Tetsuya KAWAHIRA

1. はじめに

筆者らは、半溶融状態にある金属(合金)材料特有の性質を利用した半溶融押し法・半溶融鍛造法・半溶融圧延法の開発と、各種複合材料の製造・加工等への応用に関する一連の研究を進めている。

金属基繊維強化複合材料(FRM)には、いまだ、多くの解決すべき問題が残されている。とりわけ繊維材についてみると、セラミック繊維は高価なうえに、マトリックス材とのぬれ性・加工中の繊維の破損等に多くの問題がある。一方、金属繊維は、マトリックス材との反応の問題・比強度の低さの問題等を有するが、筆者らは、これら問題点を考慮し、価格・特性両面から有望と思われるチタン短繊維(切削屑)の複合材料への利用について検討を進めている¹⁾²⁾。

本報では、半溶融押し法によりチタン(Ti)短繊維を使用したFRMの製造・加工プロセスの開発を行い、その際の加工条件と製品の特性について検討したので、その結果について報告する。

2. 実験方法および条件

素材のマトリックス材には A5056 噴霧粉 (#100~#200) を用い、繊維材には 99.2~99.6% 純度の Ti 短繊維を用いた。この Ti 短繊維は切削屑として得られたものであるため、長さ方向に多少湾曲している。繊維の幅は約 0.05 mm、長さは最大 3 mm 程度である(図1参照)。実験手順は、①上記のマトリックス材と繊維材を良く混合し、②それを φ40 mm の円筒状容器に入れ、圧力を加えて予成形を行い、③その予成形体(ピレット)を、図2に示すように、半溶融押し試験機にセットし、④マトリックス材が所定の半溶融状態になる温度に加熱し、押し出しを行う。なお、ダイスは押し出し直前まで室温に保つ

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 松本精機㈱

*** 三井アルミニウム工業㈱

てあるが、押し出し終了時には、ダイス入側温度は 400~500°Cまで上昇している。表1に示す A・B・C・3種類のダイスを使い押し出し実験を行ったが、その中で、主に A のダイスで押し出した製品を取り上げ、その機械的特性の検討を行った。押し出し加工条件をまとめて表1に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 押し出し加圧力の検討

図4は、定常押し出し時の押し出し加圧力 ϕ におよぼす Ti 短繊維の体積含有率 V_f の影響を、異なる押し出し温度 T について示す。図より、星印で示した熱間押し出しに比較し、半溶融押し出しではその 50~70% 程度の加圧力で押し出されることがわかる。また、同じ V_f でも、押し出し温度 T が低いほど加圧力 ϕ は大きく、かつ、高 V_f になるにしたがって ϕ の変化が急激に大きくなるのがわかる。これらの結果は、半溶融押し出し特有の液相成分の挙動が、押し出し加圧力の低減に大きな影響をおよぼすことを示している。すなわち、液相成分は、マトリックスの固相成分と繊維との間のすべりを助長する役割をはたすものと

表1 実験条件一覧表

素材 マトリックス材 繊維材 繊維体積含有率 $V_f/\%$	A5056噴霧粉(#100~#200) 99.2~99.6%Ti短繊維 (幅約0.05、長さ最大3mm) 0~50
半溶融押し出し条件 ピレット寸法 mm 押し出し温度 $T/^\circ\text{C}$ (マトリックス材の) 固相分率 $\phi_0/\%$ ダイス mm	φ40×約40 500~636 (100~0) A: φ10×B.L. 8 B: φ 4×B.L. 8 C: 20×5×B.L. 15~20
押し出し比 λ ラム速度 $v/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 押し出し加工実験機	13~100 約0.7 最大能力100ton 横型油圧式プレス

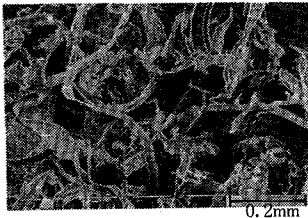


図 1 Ti 短繊維の寸法並びに形状

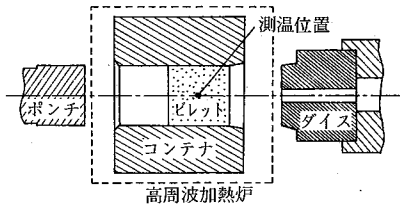


図 2 加熱中 (押し前) のポンチ・コンテナ・ビレット・ダイスの取付け状態およびビレットの測温位置

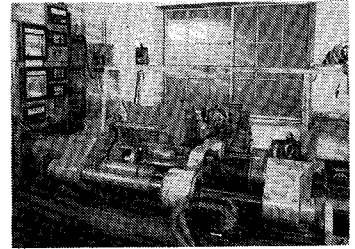


図 3 半熔融押し加工実験機

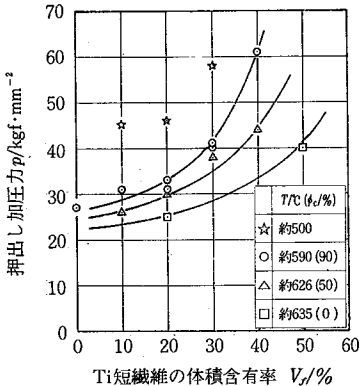


図 4 押しし加圧力 P におよぼす Ti 短繊維含有率 V_f の影響

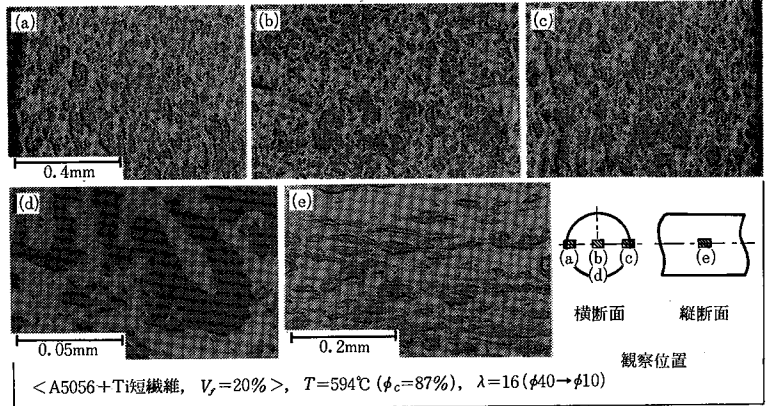


図 6 製品の内部組織



図 5 Ti 短繊維入り半熔融押し製品例

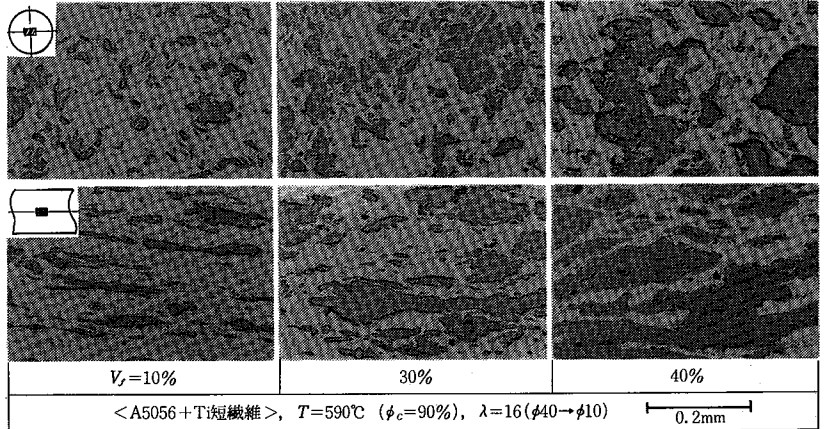


図 7 製品の内部組織におよぼす Ti 短繊維含有率 V_f の影響

考えられ、液相成分が不足すると、微視的にみた繊維とマトリックスの固相成分のスムーズなすべり・流動が阻害され、巨視的な押し変形が次第に困難となり、したがって、押しし加圧力を高めるものと考えられる。

3.2 製品の内部組織観察

図 5 は、本実験により得られた FRM 製品の一つである。押しし比 100 ($\phi40\rightarrow\phi4$ mm) の製品あるいは、 5×20

mm の矩形断面をもつ製品等、表面光沢のある健全な棒・線材を比較的容易に押し出すことができる。

図 6 は、 V_f が 20% の製品の内部組織を示す。(a)(b)(c) は製品横断面の Ti 短繊維の分布状態を低倍率で観察したものである。これより、ところどころに Ti 短繊維の集まりが観察されるが、断面全体からみると繊維はほぼ均一に分布しているようすがわかる。(d) はマト

研 究 速 報

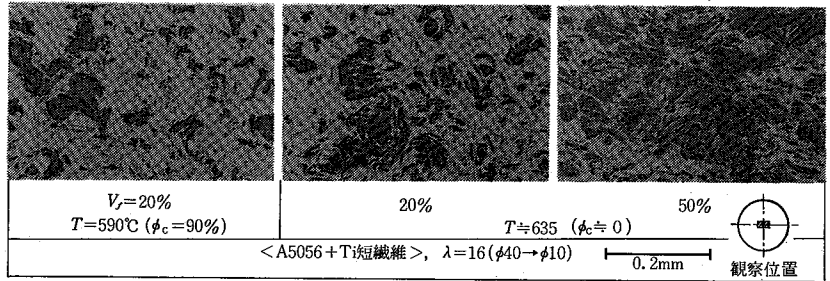


図 8 製品の内部組織におよぼす押し温度 T の影響

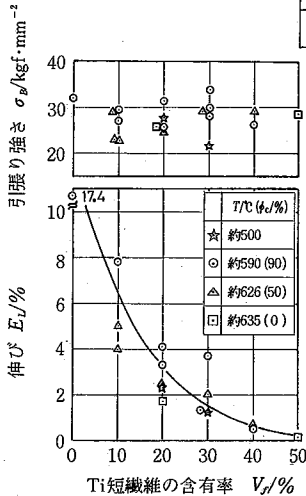


図 9 Ti 短繊維入り FRM の引張り特性

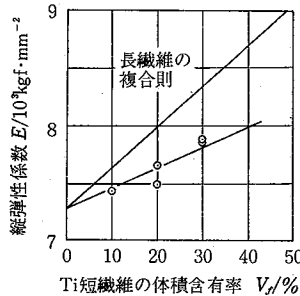


図 10 縦弾性係数 E と Ti 短繊維含有率 V_f の関係

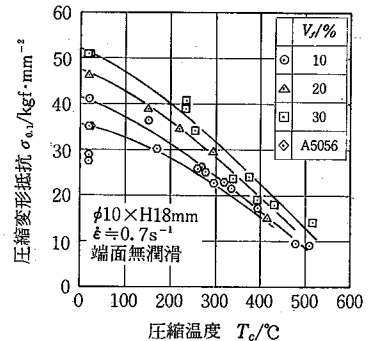


図 11 圧縮変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ と圧縮温度 T_c の関係

リックスと繊維のようすを拡大して観察したものである。凹凸のある複雑な表面形状を有する繊維にもかかわらず、マトリックスがその凹凸のすみずみまで充満しているようすが観察できる。(e)は縦断面における繊維の分布状態を示す。図より、繊維は押し出し方向に向かって整列されていることがわかる。

図 7 は、 $T=590^\circ\text{C}$ ($\phi_c=90\%$)で押し出した場合の製品の内部組織におよぼす Ti 短繊維の含有率 V_f の影響を、横断面と縦断面と対比して示す。図より、 V_f が大きくなると繊維は集合し、団子状態となって押し出される傾向にあることがわかる。理想的には、液相成分が繊維一本一本をぬらし、マトリックス固相成分との間ですべりを助長するのが望ましい。しかし、液相成分が不足する場合には、繊維どうしが集合し、繊維間に液相成分が十分浸透せず、このため製品内部に繊維の集合が残存する結果となる。

図 8 は、押し出し温度 T が製品の内部組織におよぼす影響を示す。 T が低い押し出しの場合には、数本の繊維が固まって押し出されるのに対し、 T が高い押し出しでは、繊維間にマトリックスが浸入し、一本一本分かれているようすが観察できる。ただし、 T が高すぎると、繊維とマトリックスの拡散反応が活発となり、繊維は細かく分解さ

れる傾向がある。

3.3 FRM の機械的特性

図 9 は、半溶融押し製品の引張り強さ σ_B および伸び E_L におよぼす V_f の影響を示す。 σ_B は V_f の増加に対して変化が少ないが、これは、 V_f の相違による伸び変形能の異なる FRM 製品を単に相互に比較した結果である点に注意されたい。 E_L は、 V_f の増加に対し急激に減少し、 $V_f=40\sim 50\%$ で伸びはほぼ 0 となる。熱間押し出しの製品の伸びは、半溶融押し出しの製品のそれにくらべ低い値を示すが、これは、熱間押し出しでは、マトリックスが繊維間を十分埋めつくすことができず、製品内部に欠陥を有するためと思われる。

図 10 は、縦弾性係数 E の測定結果を示す。図より、 E の増加量は、各 V_f に対し、長繊維を使った場合の複合則により期待される増加量の、約半分となっていることがわかる。

図 11 は、圧縮変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ と圧縮温度 T_c の関係を示す。圧縮試験機には、カムプラストメータを使い、端面無潤滑の条件で実験を行った。対数ひずみ 0.1 での真応力を圧縮変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ とし、各製品の相対的比較を行った。 $V_f=10\sim 30\%$ の FRM 製品は、市販の A5056 棒材にくらべ、各圧縮温度に対し 10~40% 高い値となっている

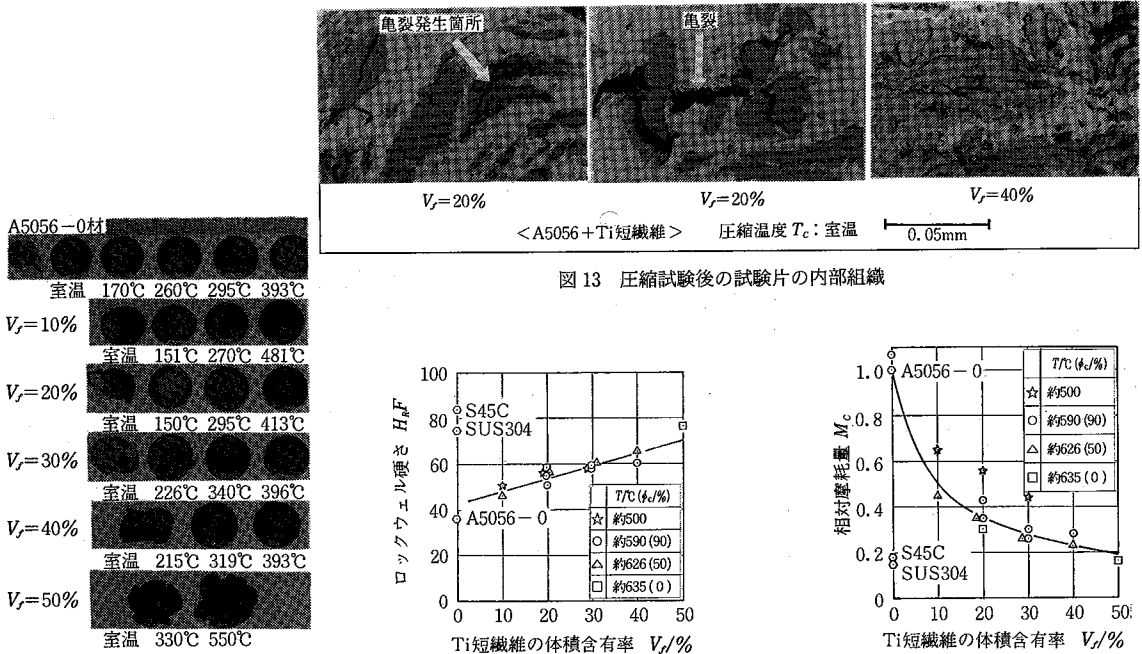


図 12 圧縮試験後の試験片外形状におよぼす圧縮温度の影響

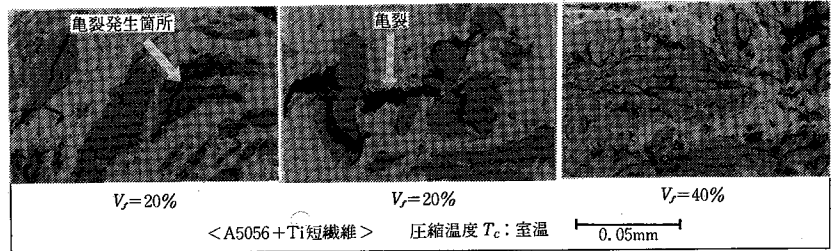


図 13 圧縮試験後の試験片の内部組織

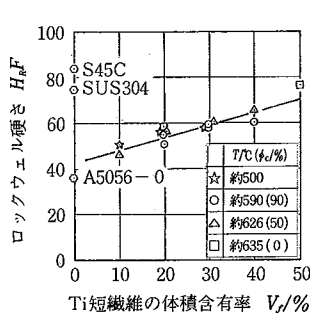


図 14 ロックウェル硬さ H_{RF} と Ti 短繊維含有率 V_f の関係

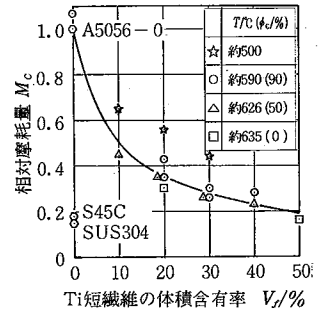


図 15 相対摩耗量 M_c と Ti 短繊維含有率 V_f の関係

ことがわかる。

図 12 は、圧縮試験後の試験片外形状におよぼす圧縮温度 T_c の影響を示す。A5056 の場合では、いずれの圧縮温度に対しても、ひずみ 0.7 までは破壊は発生していない。これに対し、FRM 製品ではひずみ 0.7 の段階で、 $V_f=10\%$ では $T_c=151^\circ\text{C}$ 以下で、 $V_f=20\%$ では $T_c=150^\circ\text{C}$ 以下で、 $V_f=30\%$ では $T_c=226^\circ\text{C}$ 以下で、 $V_f=40\%$ では $T_c=319^\circ\text{C}$ 以下で、そして、 $V_f=50\%$ では $T_c=550^\circ\text{C}$ で亀裂等の表面破壊が生じた。

図 13 は、圧縮試験後の試験片の内部組織を示す。亀裂は繊維が集めた個所に多く発生している。こうした傾向は、 V_f が高くなるに従いより顕著に観察できる。

図 14 は、ロックウェル硬さ H_{RF} と V_f の関係を示す。硬さは、 V_f の増加とともに単調に増大し、半溶融押し出し温度の影響は少ない。

図 15 は、相対摩耗量 M_c と V_f の関係を示す。摩耗試験は、SiC # 500 の耐水ペーパーを相手材に選び、流水のもとに、一定時間 (180 秒)、一定荷重 (600 g) で行い、A5056-0 材の摩耗量 (体積) を基準にし相対値として表す。図より、 V_f の増加に対し急激に減少していることがわかる。

4. ま と め

半溶融押し出し法により、チタン短繊維 (切削屑) を用

いた FRM の製造・加工プロセスを開発し、製品の内部組織ならびに機械的特性の検討を行い、以下の結果を得た。
 ①半溶融押し出しでの押し出し加圧力は、 500°C の熱間押し出しと比較し 50~70 % である。
 ②繊維は断面内に均一に分布している。ただし押し出し温度 T が低く (マトリックス中の液相成分が少なく)、 V_f が大きくなるほど繊維どうしが集合する傾向にある。
 ③伸びは、 V_f の増加とともに減少し $V_f=30\%$ では数 % 程度となる。
 ④縦弾性係数 E の増加量は、長繊維を使用した複合則により期待される増加量の半分程度になる。
 ⑤圧縮変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ については、 $V_f=10\sim30\%$ の FRM 製品は、A5056 材に比べ、各温度に対し 10~40 % 大きい。
 ⑥硬さ H_{RF} は、 $V_f=10\%$ で 48、 $V_f=30\%$ で 59、 $V_f=50\%$ で約 70 と単調に増加する。
 ⑦摩耗量は A5056-0 材の摩耗量と比べ、 $V_f=10\%$ で約 0.5 倍、 $V_f=30\%$ で 0.3 倍、 $V_f=50\%$ で 0.2 倍となり急激に減少する。
 (1985 年 9 月 2 日受理)

参 考 文 献

- 1) 「金属チタンとその応用」編集委員会編：金属チタンとその応用, (1984), 日刊工業新聞社
- 2) 木内・杉山・欽崎・星野：昭 58 春塑加講論, (1983), 21