

# 半溶融加工に関する実験的研究—第 15 報—

## — 繊維強化複合材料の製造および加工に関する検討・1 —

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State · 15 th Report

— Investigation into Production and Working of Fiber Reinforced Metal · 1 —

木 内 学\*・杉 山 澄 雄\*・歙 崎 尚 哉\*\*・星 野 祐 作\*\*\*

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA, Naoya KUWASAKI and Yūsaku HOSHINO

### 1. は じ め に

半溶融状態にある合金材料は、他にみられない種々の特性を有しており、例えば、変形抵抗の大幅な低下、変形能の向上、接合性・分離性・攪拌性・混合性の誘起などがある。筆者らは、合金材料の半溶融状態におけるこのような諸特性を有効に利用した各種複合材料の製造ならびに加工プロセスの開発について一連の研究を推進している。既報では、<sup>1)2)</sup> 粒子強化複合材料 (PRM) の製造・加工プロセスならびに金属材料の素材表面に PRM を接合させる粒子強化積層複合材料 (PRCM) の製造・加工プロセスなどについて報告している。

本報では、繊維強化複合材料<sup>3)</sup> (以下 FRM と呼ぶ) の製造・加工プロセスの開発を試み、粉末冶金的手法と半溶融鍛造法ならびに半溶融押し出し法を組み合わせた短繊維強化複合材料の半溶融製造・加工プロセスについて検討したので、その結果について報告する。

### 2. 本プロセスの特徴

本研究で開発した半溶融加工法による一方向短繊維強

化複合材料の製造・加工プロセスは次の 2 段階から構成されており、その内容および特徴は次のとおりである。

(1) 数 100 程度のアスペクト比をもつ短繊維を粘性スラリー中に均一に分散させ、マトリックス粉と均一に混合したのちに、この粘性スラリー混合物を押し出し法あるいは特殊延伸法により棒状に延伸させつつ短繊維を一方向に整列させた FRM 素材を作成する予成形プロセス。

(2) 上記の方法で得られた FRM 素材を半溶融温度域に加熱し、マトリックス材の半溶融状態 (溶湯の場合も含む) における特性を利用することにより、繊維の損傷を軽減させつつ一方向に整列させた繊維の配向性を乱すことなく、半溶融鍛造法・半溶融押し出し法・半溶融圧延法にどにより低加圧力・高加工率で所要の製品を製造するプロセス。

本研究で検討した半溶融加工による一方向短繊維強化複合材料の製造・加工プロセスの概要を図 1 に示す。

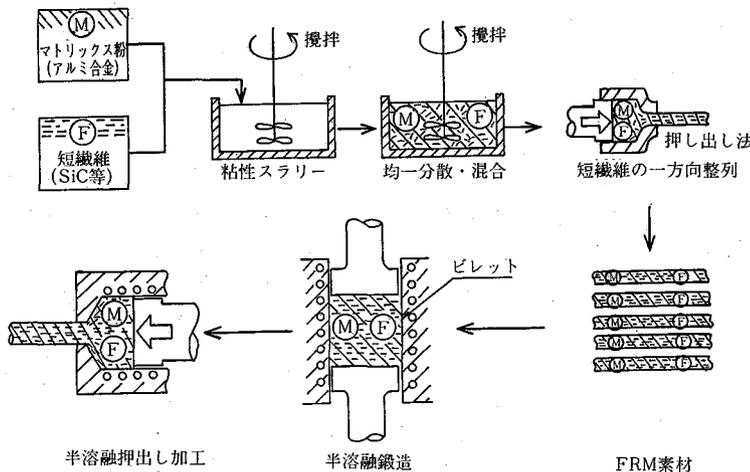


図 1 一方向短繊維強化複合材料の半溶融製造ならびに加工プロセスの概要

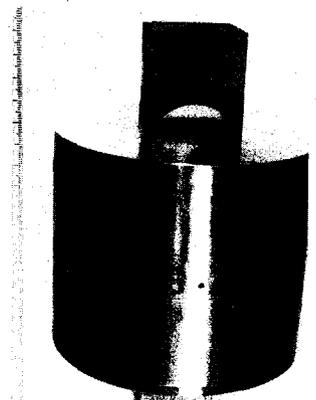


図 2 ピレット製造用金型

\* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

\*\* 三井アルミニウム工業(株)

\*\*\* 松本精機(株)

3. 実験方法および条件

マトリックス材には A 5056 噴霧粉 (# 200) を、繊維材として SiC 短繊維 (ファイバー・チョップ;  $0.015 \times$  約  $3 \mu\text{m}$ ) を用いた。FRM 素材の製造手順としては、まず粘度 330 cSt 程度の粘性流体を攪拌しつつ SiC 短繊維をその中に均一分散させたのち、所定の繊維体積含有率となるようにマトリックス粉を均一に混入して、粘性スラリー状の混合物を作成する。次にこの粘性スラリー状のものを押し出し法あるいは特殊延伸法により延伸させることにより、短繊維を一方向に整列させた棒状の FRM 素材を作成する。この FRM 素材を所定量、密閉金型内にセットしたのちに (図 2 参照) 半熔融鍛造を行い、半熔融押し出し用ピレットあるいは板状・棒状の他所要の FRM 製品を製造した。また、上述の手法により製造した FRM ピレットを用いて半熔融押し出し加工を行い、棒状の FRM 製品を得た。表 1 に実験条件一覧表を示す。

4. 実験結果および考察

4.1 FRM の半熔融鍛造

一方向に SiC 短繊維を整列させた FRM 素材を用い、マトリックス材の半熔融温度域において鍛造加工を行うことにより、一方向短繊維強化複合材料を得た。図 3 に半熔融鍛造により作成した板状製品および押し出し加工用ピレットの FRM 製品の写真を示す。図 4 および図 5 に板状製品の横断面における繊維の分布状態ならびに、マトリックス材の一部を塩酸により溶解させ繊維を露出

させた板状製品の写真を示している。図より、一方向に整列した繊維間にマトリックス材が十分浸透し、SiC 短繊維と A 5056 マトリックス材との複合化が行われていることがわかる。図 6、7 および 8 は半熔融鍛造により製造した板状製品のマトリックス材を塩酸により完全に溶出させ、繊維のみを抽出し、その試料を代表する繊維長さを観察したもので、それぞれ鍛造温度  $T$  (固相分率  $\varphi_c$ )、加圧力  $p$  および繊維の体積含有率  $V_f$  と繊維の損傷 (繊維長さの減少) の程度との関係について示している。図 6 より鍛造温度  $T$  が低いほど、すなわちマトリックスの固相分率  $\varphi_c$  が高いほど繊維の損傷が増大してくるのは、マトリックス中の液相成分が繊維間に十分浸透しきれず、共存するマトリックスの固相成分により繊維

表 1 実験条件一覧表

素材	
マトリックス材	A 5056 噴霧粉 (# 200)
繊維材	SiC 短繊維 ( $0.015 \times$ 約 $3 \text{mm}$ )
繊維体積含有率 $V_f / \%$	10~30
マトリックス粉-短繊維混合用流体	粘度 330 cSt 程度の粘性流体
半熔融鍛造条件	
温度 $T / ^\circ\text{C}$ (固相分率 $\varphi_c / \%$ )	568~638 (0~100)
加圧力 $p / \text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$	1.7, 5, 10, 15
加圧保持時間 min	2
半熔融押し出し条件	
温度 $T / ^\circ\text{C}$ ( $\varphi_c / \%$ )	617 (65)
グイス	$10 \times 41 \times 120$ ; 同時加熱方式
押し出し比 $\lambda$	$16 (40 \rightarrow 10)$



図 3 半熔融鍛造製品の外觀

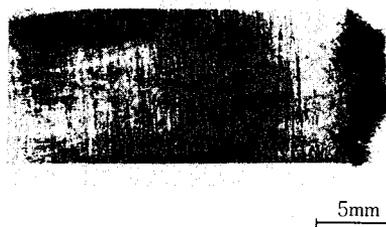


図 5 繊維を露出させた板状製品



図 4 製品横断面における繊維の分布状態

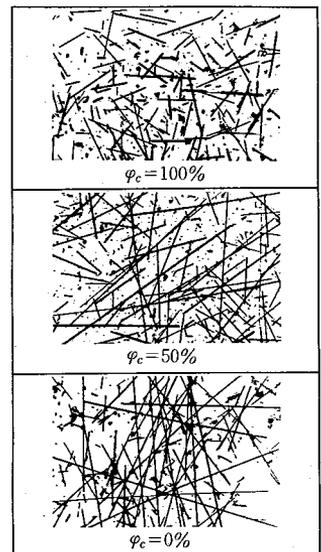


図 6 固相分率と繊維長さとの関係

研究速報

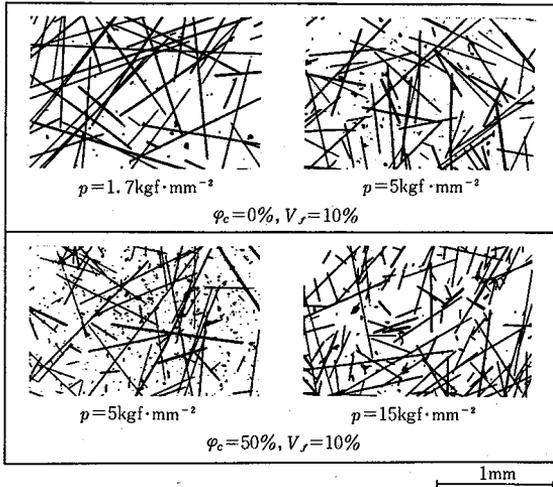


図7 加圧力と繊維長さとの関係

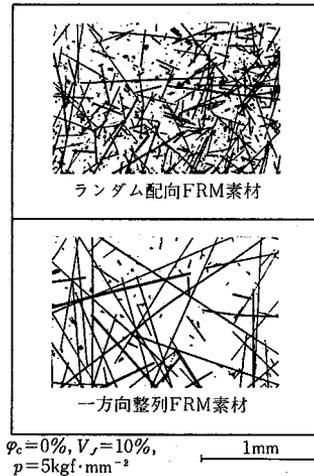


図9 繊維の整列状態と繊維長さとの関係

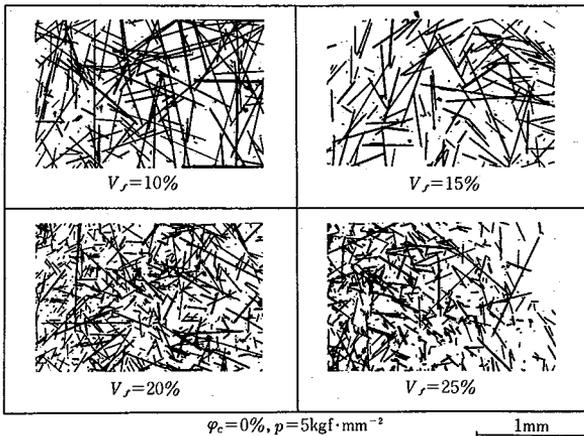


図8 繊維体積含有率と繊維長さとの関係

が曲げられ損傷し易くなると推察される。図7より、加圧力  $p$  の増加に伴う繊維の損傷では、 $\phi_c=0\%$ へ場合、 $p=1.7\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$  から  $p=5\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$  へと、 $\phi_c=50\%$ の場合、 $p=5\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$  から  $p=15\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$  へと加圧力の増加につれてアスペクトル比の小さい繊維が若干増加する傾向にあるのは、繊維同士の接触する機会が多くなるためと思われる。図8より、繊維の体積含有率  $V_f$  が高くなるほど、繊維の損傷が著しく増大してくるのは、繊維同士の接触あるいは交差の機会が多くなり、ある圧力の下で繊維は曲げられ破断し易くなるためと推察される。

図9は短繊維を一方方向に整列させたFRM素材ならびにランダムに配向させたFRM素材を用いて、半溶融鍛造により得られた板状製品中の繊維長さを、図6～8の場合と同様にして観察したものである。図9より、短繊維を一方方向に整列させたFRM素材を用いる方が繊維長

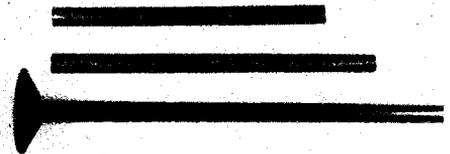


図10 FRM押し出し製品

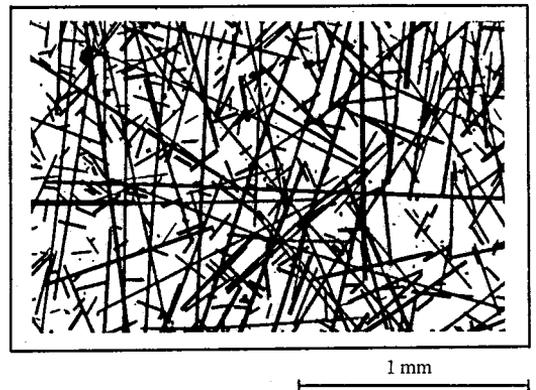


図11 押し出し製品中の繊維長さ

さの減少を少なくできるのは、繊維同士の接触あるいは交差の機会が少なくなり、繊維の損傷が軽減するためと思われる。

以上の結果より、繊維材としてSiC短繊維を用いたFRM素材の半溶融鍛造プロセスにおいて、繊維の損傷を低減させたFRM製品を得るためには、(1)繊維同士が接触あるいは交差することを防止するため、繊維の配列に方向性をもたせたFRM素材を用い、(2)繊維間にマトリクス材が十分浸透し、かつ稠密となる条件下

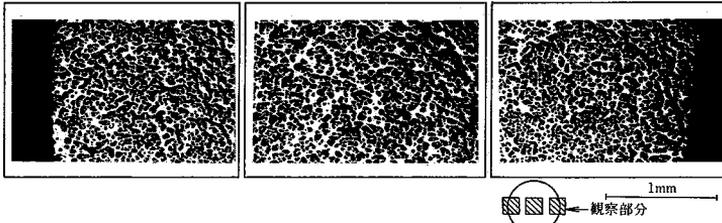


図12 製品横断面における繊維の分布状態

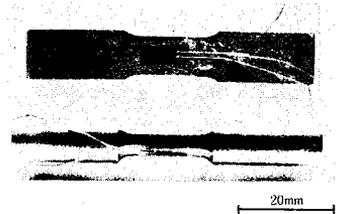


図13 引張り試験片

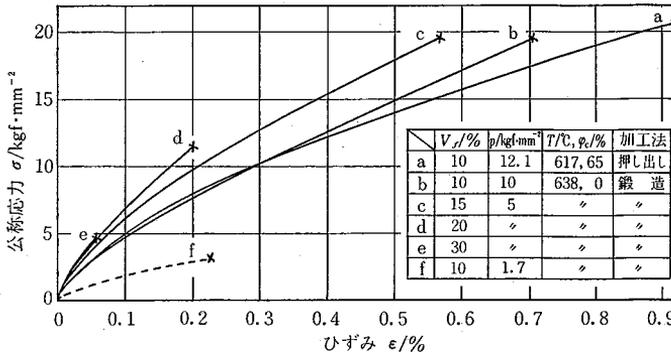


図14 応力  $\sigma$ -ひずみ  $\epsilon$  線図

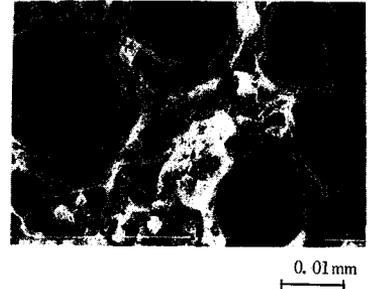


図15 引張り試験後の破断面

で半溶融鍛造を行うとともに、(3)繊維に曲げが作用しない型設計とすることなどが重要であることが判明した。

#### 4.2 FRM の半溶融押し出し加工

4.1 節で検討した半溶融鍛造プロセスを適用して製造したピレットを用いて半溶融押し出し加工を行い、棒状の FRM 製品を得た。図 10 に FRM 押し出し製品の外観を示しており、写真に示すような表面性状の良い製品が得られた。図 11 はマトリクス材を塩酸により溶出させ抽出した繊維長さを示している。100 前後のアスペクト比を有する短繊維が多く観察されたが、この繊維長さは単純モデルにより算出した限界アスペクト比<sup>4)</sup>の数十倍となる。図 12 は FRM 製品の横断面における繊維の分布状態を示している。繊維間にはマトリクス材が十分浸透し繊維の分布は均一で良好な分散状態となっており、押し出し方向に整列している様子が推定される。

#### 4.3 FRM 製品の機械的性質

図 13 に引張り試験片を示す。図 14 に半溶融押し出し加工または半溶融鍛造されたままの棒・板材の公称応力  $\sigma$ -ひずみ  $\epsilon$  線図を示す。この場合、既報<sup>5)</sup>で示したようにマトリクス材が軟化していることに注意されたい。繊維体積含有率  $V_f$  の増加に伴って FRM の破断は脆性的となり、繊維間へのマトリクス材の浸透が不十分で

ある場合に残留するクラックの発生なども伸びの低下の原因になると思われる。図 15 は引張り試験片の破面を SEM で観察したものである。繊維の引き抜け (pull-out) は観察されない。

### 5. ま と め

一方向短繊維強化複合材料の半溶融製造・加工プロセスの開発を試み、A 5056 マトリクス材と SiC 短繊維との複合化に適用した結果、繊維の損傷を軽減し得る半溶融加工により棒・板状の FRM 製品を製造・加工することができた。FRM 製品の機械的性質の向上については今後の課題として残されているものの、FRM の製造ならびに加工の分野における半溶融加工の応用は、これから更に発展することが期待され検討を進める予定である。なお、本研究を進めるにあたり、SiC 繊維を提供して頂いた日本カーボン(株)社とご協力いただいた日本工作油(株)社に謝意を表す。

(1983年4月2日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 木内, 杉山: 第 31 回塑加連講論 1980-11, 223
- 2) 木内, 杉山, 遠藤: 第 32 回塑加連講論 1981-11, 333
- 3) 日本金属学会: 金属学会セミナー資料 1983-1
- 4) 林: 複合材料工学 1977, 37, 日科技連
- 5) 木内, 杉山, 新井: 第 29 回塑加連講論 1978-11, 184