研　究　速　報

UDC 669.295-419：621.763：621.774.38

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・II

Fabrication 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出し法・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．

前報では，チタン短繊維（切削屑）とアルミ合金（A5056）を用いたFRMの製造を半溶融押出し法により行い，製品の内部組織・機械的特性について検討し，その結果を報告した．

本報では，前報に引き続き，チタン短繊維（切削屑）を使用した複合材料の製造・加工プロセスの開発を進め，特に，①マトリックス材②多数回押出しによる製品の特性③管の製造④製品の熱処理と機械的特性等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としては，表1に示すように，アルミ合金粉（噴霧粉）を主に用いた．これにはアルミ合金粉を単独に用いた場合と，純アルミ粉を加え混合粉の形で用いた場合とがある．繊維材には前報と同様に，99.2～99.6%純度のチタン（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ので，凹凸のある複雑な表面性状を有し，かつ，長さ方向に湾曲した形状を呈している（図1参照）．なお，マトリックス材の各粉末およびTi短繊維のいずれも，用いるに当って，特別な表面処理は行っていない．

押出し実験手順は，①マトリックスとなる金属各粉とTi短繊維との圧粉体を，加工機にセットし，②マトリックス材を所定の半溶融状態となる温度に加熱し，③それを直接押出しする，である．管の製造は，マンドレルを用いた直接押出しにより行われた．その他，押出し加工条件を表2にまとめて示す．

3. 実験結果および考察

3.1 マトリックス材の検討

表1　素材材質・サイズ一覧表

マトリックス材	① 〈A5056〉 ② 〈A5056＋純アルミ〉 ③ 〈A2014＋純アルミ〉 ④ 〈A7075〉 ⑤ 〈Zn＋純アルミ〉
繊維材	99.2～99.6%Ti短繊維 （幅約0.05，長さ最大3mm）
繊維体積含有率 V_f/%	0～40

表2　半溶融押出し条件一覧表

ビレット寸法　mm	ϕ40×約40
押出し温度　T/℃ （マトリックス材の固相分率　ϕ_c/%）	①～④ 500～650（100～0） ⑤ 280
ダイス　mm	A：ϕ10×B.L.8 B：ϕ 4×B.L.8
押出し比　λ	16～100
ラム速度　v/mm・s^{-1}	約0.7
押出し加工機械	最大能力100ton 横型油圧式プレス

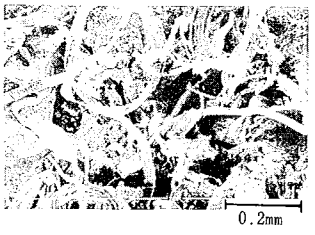
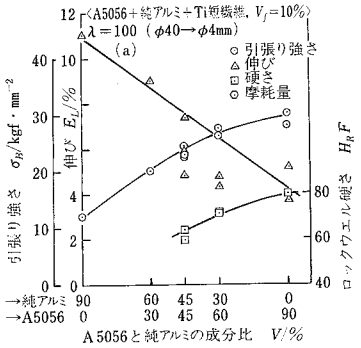


図1　Ti短繊維の寸法ならびに形状

図2は，〈A5056＋純アルミ＋Ti短繊維〉製品の機械的特性を示す．横軸には，マトリックス材として用いたA5056粉と純アルミ粉の体積比をとる．図2(a)は，Ti短繊維の体積含有率V_fが10%で押出し比λが100の条件で押出した製品の機械的特性を示す．図から，マトリックス中の純アルミ成分が増加するにしたがい，硬さH_RF・引張り強さσ_Bは低下し伸びE_Lは増加することがわかる．図2(b)は，V_fが30%でλが16のときの製

*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㈱



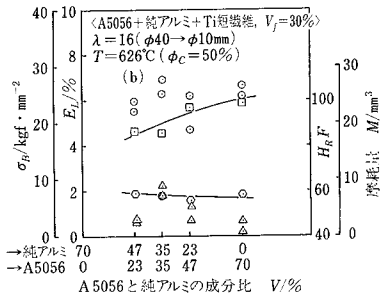


図2　〈A5056＋Ti 短繊維〉製品の機械的特性

	A 5056	純アルミ	Ti短繊維	T/℃(φC/%)
①	60%	30	10	637(10)
②	60	30	10	626(50)
③	45	45	10	637(10)
④	45	45	10	624(52)

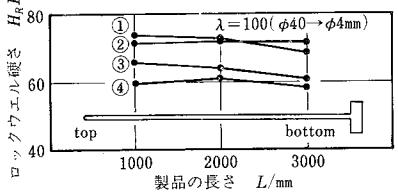


図3　製品の押出し方向における硬さ分布

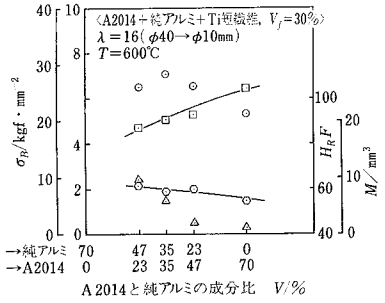


図4　〈A2014＋純アルミ＋Ti 短繊維〉製品の機械的特性

品の機械的特性を示す．引張り強さ σ_B や伸び E_L に関して，図2(a)に示されるようなはっきりした傾向が見られない．これは，V_f が高くなると，いわゆる荷重―ストローク線図初期の立ち上り部で材料の破断が生じてしまい，伸び変形の異なる段階における σ_B の単なる比較にとどまってしまったためと考える．硬さ H_RF は，マトリックス中の純アルミ成分の増加に対し低下してくる．

図3は，〈A5056＋純アルミ＋Ti 短繊維〉製品の押出し方向における硬さ分布を示す．①～④の製造条件の違いにより硬さの絶対値に有意差を生ずるものの，一本の製品についてみると，硬さは全長に渡りほぼ同じであることがわかる．

図4は，〈A2014＋純アルミ＋Ti 短繊維，V_f =30%〉製品の機械的特性を示す．この場合も，図2(b)に示した〈A5056＋純アルミ＋Ti 短繊維，V_f =30%〉の結果と比較して，絶対値は違うものの，同様な傾向を示していることがわかる．

図5は，〈Zn＋純アルミ＋Ti 短繊維，V_f =10%〉製品の内部組織を示す．マトリックス材に用いた Zn と純アルミの組み合わせの合金は，超塑性の特性を有す材料として一般に知られている．アルミ合金系のマトリックスと比較して，マトリックスが流線をなし Ti 短繊維を取

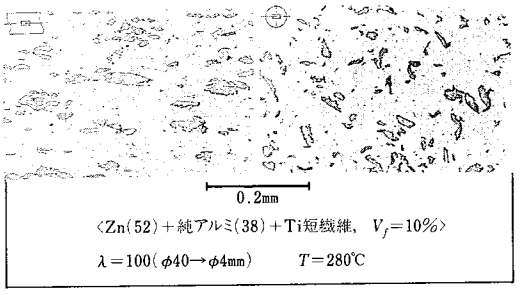


図5　〈Zn＋純アルミ＋Ti 短繊維〉製品の内部組織

り巻いている点に特徴がある．なお，この製品の室温における伸び E_L は 6.8%，250℃での E_L は 16.8%である．

3.2　多数回押出し

図6は，多数回押出し製品の機械的特性を示す．横軸に押出し回数をとり結果を整理してある．なお，多数回押出しは，適当な長さに切断した製品を押出し方向にそろえ，これをコンテナに充填し押出す方式で行われた．図6(a)は，素材が〈A5056＋Ti 短繊維，V_f =10%〉で λ=100 の条件で押出した製品の機械的特性を示し，図6(b)は λ=16 の場合について示している．多数回押出しすることによって，製品の硬さは増大し，伸び・摩耗量は減少してくることがわかる．

研　究　速　報

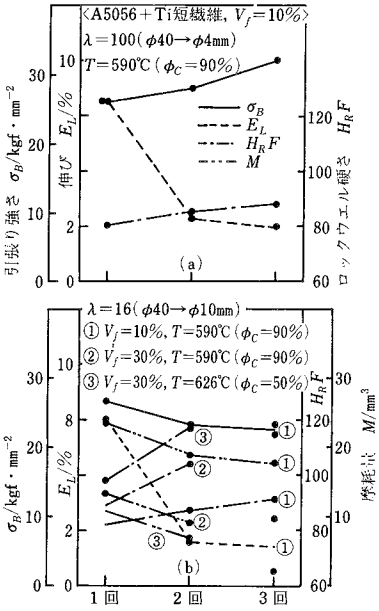


図6　多数回押出し製品の機械的特性

A2014	純アルミ	Ti短繊維	A5056	純アルミ	Ti短繊維
●70%	0	30	■ 35	35	30
◑47	23	30	◨ 45	45	10
◐35	35	30	□100	0	0
○23	47	30			

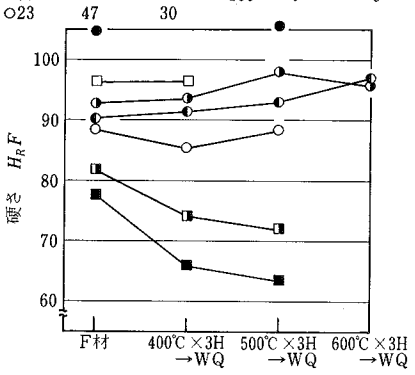


図9　〈A2014＋純アルミ＋Ti短繊維〉製品，〈A5056＋純アルミ＋Ti短繊維〉製品の各熱処理による硬さ

図7は，1回押出し製品と3回押出し製品の内部組織を示す．押出しを繰り返すことによって，Ti短繊維が細分化され，断面全体に均一に分布してくる様子が観察できる．

3.3　管の製造

図8に，半溶融押出し製品による管の外形状と内部組織を示す．押出し加工条件を図中に示す．半溶融押出しにより，光沢のある良好な表面性状を有する管を，比較的容易に製造することが可能である．また，内部組織に関しても，中実製品と同様に，Ti短繊維は断面内にほぼ均一に分布し，マトリックスはTi短繊維の隅々にまで入りこみ，空隙等欠陥の少ない良好な製品が得られた．

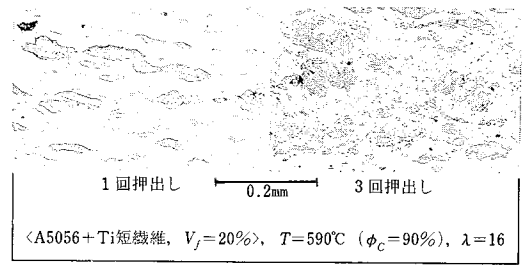


図7　多数回押出し製品の内部組織

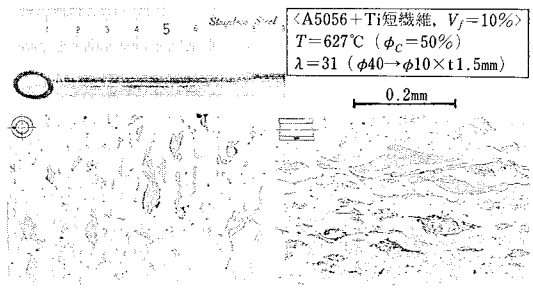


図8　半溶融押出し製造によるTi短繊維入り管の外形状と内部組織

3.4 製品の熱処理と機械的特性

図9は，〈A2014＋純アルミ＋Ti短繊維〉製品，ならびに，〈A5056＋純アルミ＋Ti短繊維〉製品の，熱処理が硬さ H_RF に及ぼす影響を示す．なお，A5056のような非熱処理合金に対してもここに示すような熱処理を試みたのは，Ti短繊維を含有するために予想される，マトリックスとTi短繊維との界面での拡散による効果を期待したためである．マトリックス材にA2014系を用いた製品は，F材と比較して，熱処理を行うことで硬さが増大していることがわかる．これに対し，A5056系の製品では，熱処理を行っても硬さは減少している．

図10(a)(b)は，〈A7075＋Ti短繊維〉製品の熱処理による機械的特性の変化を，F材のそれと比較して示す．横軸には，Ti短繊維の含有率を示す．マトリックス材に対し標準的熱処理を行った製品は，F材と比べ，硬さは増大し，摩耗量は減少してくる．ただし，熱処理温度が高すぎた場合には，逆に硬さは低下してくる．図11は，〈A7075＋Ti短繊維，V_f =30%〉製品の，熱処理が内部組織に与える影響を示す．図より，500℃×3hr. の熱処理製品の内部組織は，F材のものと比較し，マトリックスとTi短繊維との境界が不明瞭である．

また，③の600℃×3hr. の熱処理製品の内部組織はTi

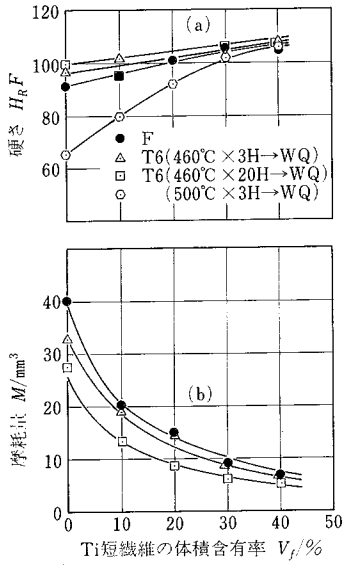
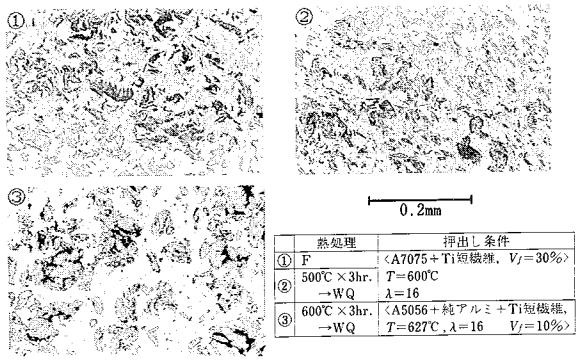
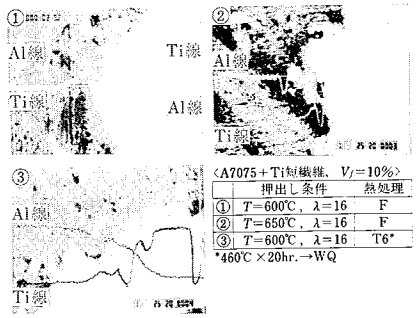


図10 〈A7075＋Ti短繊維〉製品の各熱処理による硬さ H_RF，摩耗量MにおよぼすTi短繊維含有率 V_f の影響



	熱処理	押出し条件
①	F	〈A7075＋Ti短繊維，V_f=30%〉
②	500℃×3hr.→WQ	T=600℃ λ=16
③	600℃×3hr.→WQ	〈A5056＋純アルミ＋Ti短繊維，T=627℃，λ=16　V_f=10%〉

図11 Ti短繊維入りFRM製品の熱処理後の内部組織



〈A7075＋Ti短繊維，V_f=10%〉

	押出し条件	熱処理
①	T=600℃，λ=16	F
②	T=650℃，λ=16	F
③	T=600℃，λ=16	T6*

*460℃×20hr.→WQ

図12 FRM製品のX線マイクロアナライザーによる線分析

短繊維とマトリックスが反応し，Ti短繊維は繊維の形を呈していないことがわかる．

図12は，X線による線分析結果を示す．650℃で押出した製品の線分析結果は，600℃で押出ししたF材の製品のそれに比べ，マトリックスとTi短繊維の界面近傍で，Ti線およびAl線にみだれが生じている．また，600℃で押出した製品を熱処理（460℃×20hr．→WQ）した場合の線分析結果も同様にみだれが生じている．これらのことから，650℃で押出した製品あるいは熱処理（460℃×20hr．→WQ）した製品において，マトリックスとTi短繊維の界面近傍は合金化していると思われる．

4．ま　と　め

半溶融押出し法により，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，以下の結果を得た．①各種マトリックス材ならびに製造・加工条件と製品の機械的特性について検討を行い，表3に示す結果を得た．②多数回押出しを行うと，製品内部のTi短繊維は細分化され，断面全体に均一に分布してくる．また，それにともない，機械的特性も変化し，1回押出しに比べ多数回押出し製品の硬さは増大し，伸びや摩耗量は減少する．③半溶融押出し法による管の製造を試み，良好な表面性状・内部組織を有する製品を得ることができた．④〈A2014＋純アルミ＋Ti短繊維〉製品あるいは〈A7075＋Ti短繊維〉製品では，標準的熱処理を行うことによって，製品の機械的特性（硬さ・耐摩耗）は向上する．⑤X線分析結果から，〈A7075＋Ti短繊維〉製品において，650℃で押出した製品あるいは熱処理（460℃×20hr．→WQ）した製品では，マトリックスとTi短繊維の界面近傍は合金化していると思われる．

表3 製造条件と製品の機械的特性のまとめ

マトリックス	V_f/%	λ	T/℃(ϕ_c/%)	σ_B/kgf·mm^{-2}	E_L/%	H_RF	M/mm³
〈A5056〉	10	16	626(51)	24.8	4.5	76	19
	30	16	626(50)	25.7	0.5	99	7
	50	16	626(50)	28.5	0.3	100	8
	10	100	627(47)	30.0	3.7		—
〈A5056＋純アルミ〉1：1	30	16	627	22.4	2.0	78	7
	10	100	624	23	4.8	60	—
〈A2014〉	30	16	600	21.1	0.3	105	6
〈A2014＋純アルミ〉1：1	30	16	600	28.3	1.5	93	8
〈A7075〉	10	16	600	29.9	2.7	92	20
	30	16	601	29.5	1.0	105	9
〈Zu＋純アルミ〉38：52	10	100	280	22	6.8		—

（1986年4月14日受理）

参　考　文　献

木内・杉山・富岡・川平：36回塑加連講論，(1985-10)，547.