

急凝固法による Al-Cr 系合金の組織と機械的性質

日大生産工(院) ○小平 正明

日大生産工 金子 純一, 久保田 正広, 菅又 信

1. 緒言

合金の機械的性質を向上させる方法の一つとして、急凝固法がある。10³K/s 以上の冷却速度で合金を凝固させるこの方法では、凝固組織の微細化、固溶限の拡大、非平衡相の生成を図ることが可能であり、溶解鑄造 (I/M 法) では得られない高強度材料の作製が可能である。一般に遷移金属はアルミニウム中の固溶限が 1at%以下と低く、固溶限を超えると平衡相として金属間化合物を生成する。遷移金属はアルミニウム中での拡散係数が小さく、その化合物粒子は加熱による粗大化が起りにくい。そのため急凝固法により遷移金属化合物粒子をマトリックス中に微細分散させた組織は高温において安定である。アルミニウム中の希土類金属も同様な特徴があり¹⁾、急凝固 Al-遷移金属合金や Al-希土類金属合金は高温強度が必要とされる部材への適用が期待される。

本研究では、Al-Cr 合金をベースとして遷移金属を添加した合金を急凝固法により作製し、軽量耐熱材料を創製することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 配合組成と合金記号

エアアトマイズ法で作製した急凝固粉末 (東洋アルミニウム製)の合金組成と平均粒径を Table 1 に示す。

Table 1 Designations and nominal compositions and average particle diameter.

Designations	Nominal compositions (mass%)	D ₅₀ (μm)
7CFT	Al-7.2Cr-5.8Fe-2Ti	54.57
8CT	Al-8Cr-2.5Ti	28.63
8FCZ	Al-7.5Fe-2Cr-1.5Zr	67.79
4FCT	Al-3.9Fe-3.7Cr-2Ti	38.34

2.2 P/M 材の作製

Fig.1 に P/M の材作製工程を示す。エアアトマイズ粉末をφ33.5×100mm の Al 円筒缶に充填後、500MPa で 60s 冷間プレスによりビレットを作製した。その後、真空度 1.33×10⁻³~10⁻⁴Pa, 温度 673K で 1.8ks 脱ガス処理した。ビレットを 773K 空気炉中で 1.8ks 予備加熱して、押出温度 773K, 押出比 25:1, ラム下降速度 5mm/min としφ7mm の P/M 材を作製した。

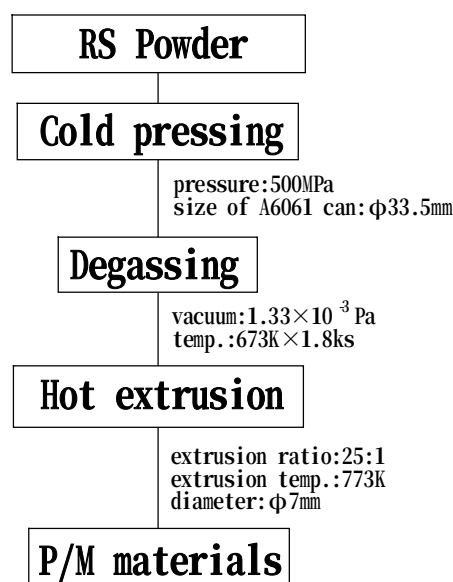


Fig.1 Process chart for P/M materials.

2.3 光学顕微鏡組織写真

エアアトマイズ粉末および P/M 材をエメリー紙研磨 (~#2000) とバフ研磨 (アルミナ粒度: 0.3 ~ 0.05 μm) を行った後、腐食して組織を観察した。腐食液には、ケラー氏液 (HNO₃: 2.5%, HCl: 1.5%, HF: 1.0%, H₂O: 95.0%) を用いた。

Structures and Mechanical Properties of Rapidly Solidified Al-Cr Alloys

2.4 TEM 組織観察

P/M 材の組織を観察するために透過型電子顕微鏡を用いた。試料は、電解ジェット研磨によって作製した。

2.5 X 線回折

エアアトマイズ粉末および P/M 材の加熱による構成相の変化を X 線回折で調べた。エアアトマイズ粉末は Corodion と Isoamyl で試料ホルダーに固定し、P/M 材は表面をエメリー紙 (~ #2000) で研磨して回折面とした。CuK α 線を用い、回折速度を 1.67×10^{-2} deg/s とし、回折角を $2\theta = 20^\circ \sim 100^\circ$ の範囲として測定した。

2.6 硬さ測定

エアアトマイズ粉末を常温、473K、573K、673K、773K で 7.2ks 空気炉中で等時加熱を行い、マイクロビッカース硬度計 (荷重 98mN, 保持時間 20s) を用いてそれぞれ 24 ポイント測定し、最高値と最低値から 2 ポイントを除いたデータから平均値を求めた。P/M 材では、押出しまま、473K、573K、673K、773K、873K で 7.2ks 空気炉中で等時加熱を行い、ビッカース硬度計 (荷重 9.8N, 保持時間 20s) を用いて 12 ポイント測定し、最高値と最低値を除いたデータから平均値を求めた。

2.7 引張試験

常温、473K、573K について 1 条件につき 4 本行い、引張強さ、0.2%耐力、伸び、ヤング率 (室温のみ) を求めた。引張速度は 0.05mm/s とし、高温での試験については、試料が試験温度に達した後、5min 保持してから試験を開始した。

2.8 圧縮試験

常温、473K、573K について 1 条件につき 4 本試験し、0.2%耐力を求めた。高温での試験については、試料が試験温度に達した後、5min 保持してから試験を開始した。圧縮速度は 0.02 mm/s とした。

3. 実験結果

3.1 組織観察

一例として Fig.2 に 7CFT 合金、4FCT 合金の押出したままの状態での透過電顕写真を示す。7CFT 合金では 200~300nm 程度、4FCT 合金では大きさ 100~300nm 程度の球状化合物が分散している様子が観察できる。両合金の球状化合物から撮影した電子回折図より準結晶特有の 5 回回転対称の回折パターンが確認された。なお、8CT 合金、8FCZ 合金の押出したままの状態では準結晶粒子は認められなかった。

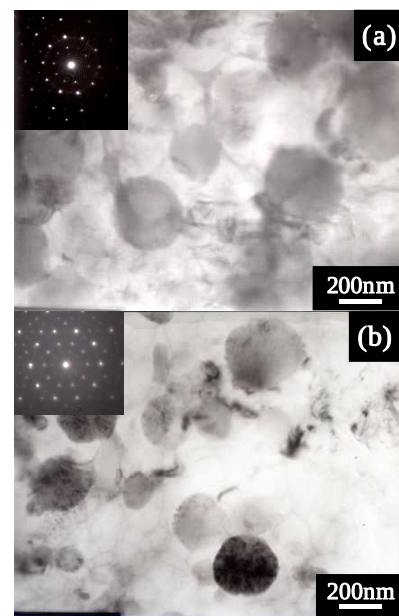


Fig.2 TEM micrographs of as-extruded P/M materials.
(a)7CFT, (b)4FCT

3.2 X 線回折

Fig.3 に 4FCT 合金のエアアトマイズ粉末と P/M 材の X 線回折結果を示す。エアアトマイズしたままの状態においては $\text{Al}_{80}\text{Cr}_{20}$ の化合物のみが晶出しているのが確認された。押出したままの状態、P/M 材を 573K、673K、773K で加熱した状態においては、 $\text{Al}_{80}\text{Cr}_{20}$ の化合物は確認されず、 $\text{Al}_{13}\text{Cr}_{14}$ 、 $\text{Al}_{86}\text{Cr}_2$ 、 Al_3Ti の化合物が同定された。Fig.2 で確認された 7CFT 合金、4FCT 合金の準結晶の回折ピークは化合物の回折ピークと重なっているため、X 線では同定することができなかった。

3.3 硬さ

Fig.4, Fig.5 に各合金のエアトマイズ粉末および P/M 材の硬さを示す。

エアトマイズしたままの状態での硬さは 7CFT 合金で約 160HV, 8CT 合金で 115HV, 4FCT 合金で 116HV を示し, 773K の加熱においても硬さの低下がみられなかった。しかし, 8FCZ 合金ではエアトマイズしたままの状態での硬さは約 145HV を示したのに対し 673K の加熱において硬さが約 185HV まで増加しているのが認められた。それ以降の加熱では硬さが低下している。P/M 材では, 押出したままの状態において 7CFT 合金が約 220HV と最も高い硬さを示し, 8CT 合金では約 130HV, 8FCZ 合金では約 150HV, 4FCT 合金では約 145HV の硬さを示した。7CFT 合金については 773K の加熱において硬さが約 30HV 向上し, それ以降の加熱においては硬さが低下しているのが確認できる。8CFZ 合金, 4FCT 合金では 773K 以上の加熱で硬さの低下が確認でき, 8CT 合金では 873K での加熱に対しても硬さの低下はみられなかった。

3.4 引張試験

Fig.6, 7 に各合金の引張強さと伸びについて示す。7CFT 合金では約 550MPa を超える最高の常温引張強さを示したが, 弾性域で破断した。また, 573K においては 300MPa 以上の引張強さを示したが, 伸びに関しては常温と同様に弾性域で破断したため値は得られなかった。8CT 合金, 8FCZ 合金, 4FCT 合金の常温引張強さは約 400MPa, 約 470MPa, 約 460MPa を示し, 573K においては, 各合金とも約 250MPa 程度の引張強さを示した。伸びに関しては常温では 8CT 合金が約 10%を 8FCZ 合金, 4FCT 合金では約 5%の伸びを示した。また, 573K においては 4FCT 合金が約 7%と最高伸びを示した。

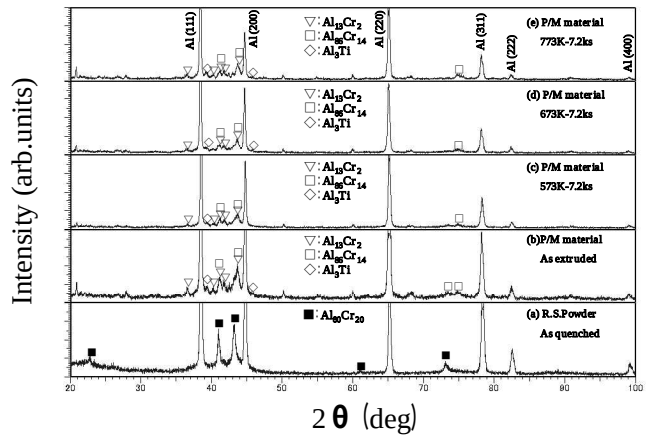


Fig.3 X-ray diffraction patterns of R.S. Powder and P/M material of 4FCT

- (a) R.S. Powder as quenched
- (b) P/M material as extruded
- (c) P/M material annealed at 573K-7.2ks
- (d) P/M material annealed at 673K-7.2ks
- (e) P/M material annealed at 773K-7.2ks

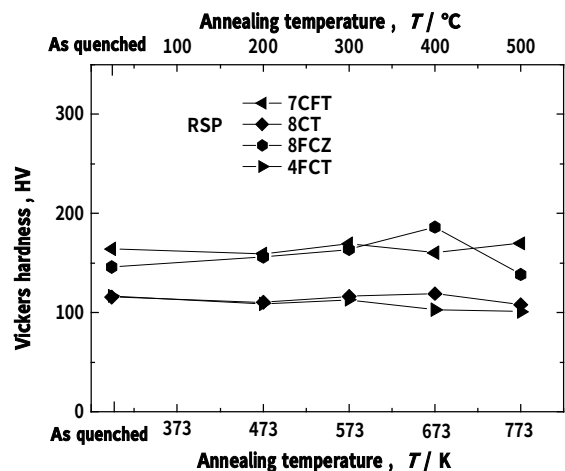


Fig.4 Hardness changes of rapidly solidified powder after isochronal annealing for 7.2ks.

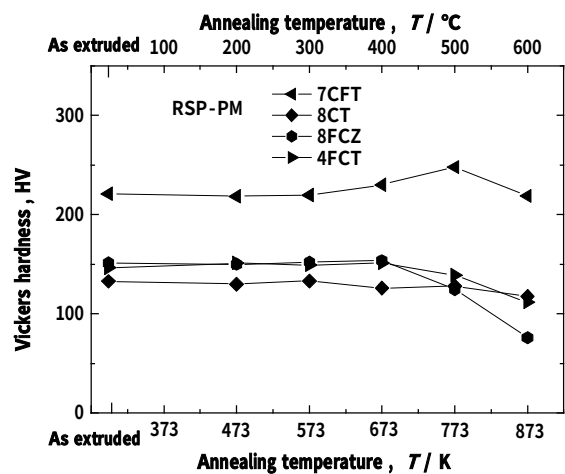


Fig.5 Hardness changes of as-extruded P/M materials after isochronal annealing at various temperatures.

3.5 圧縮試験

常温および高温引張試験において弾性域で破断した合金があるため圧縮試験を行い、強度を評価した。Fig.8 に各合金の圧縮試験での 0.2% 耐力を示す。7CFT 合金では常温において約 620 MPa と高い耐力を示した。また、573K においても約 370MPa と高い耐力を示した。8CFT 合金、8FCZ 合金、4FCT 合金では常温において約 450MPa の耐力を示し、573K においても約 250MPa と引張強さと同程度の値を示した。

4. 結言

- (1) 7FCT 合金、4FCT 合金の押出まま材において、微細な球状の準結晶粒子の生成が確認された。
- (2) 押出したままの P/M 材の硬さにおいて、7CFT 合金が約 220HV と最も高い硬さを示し、8CT 合金では約 130HV、8FCZ 合金では約 150HV、4FCT 合金では約 145HV の硬さを示した。
- (3) 7CFT 合金では常温引張試験において 565 MPa、573K では 322MPa と高い引張強さを示したが、どちらの条件においても弾性域で破断した。
- (4) 8CT 合金、8FCZ 合金、4FCT 合金の常温引張強さは約 400MPa、約 470MPa、約 460 MPa を示し、伸びに関しては常温では 8CT 合金が約 10%を 8FCZ 合金、4FCT 合金では約 5%の伸びを示した。
- (5) 0.2%圧縮耐力では、常温において 7CFT 合金は約 620MPa と高い耐力を示した。また、8CFT 合金、8FCZ 合金、4FCT 合金は約 450 MPa の耐力を示し、引張強さと同程度の値を示した。

参考文献

- 1) 久保田正広, 菅又信, 金子純一: 軽金属, 43 (1993), 509.

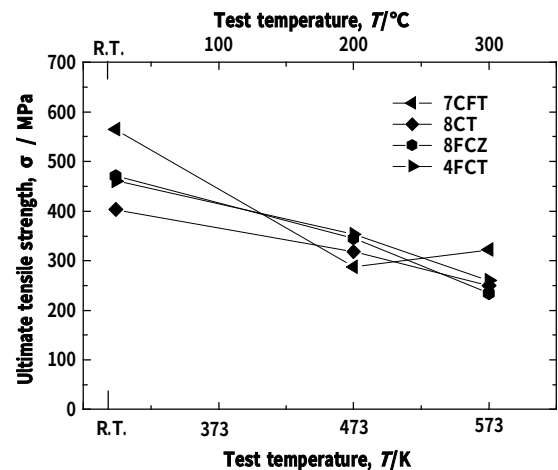


Fig.6 Ultimate tensile strength of extruded P/M materials at various temperatures.

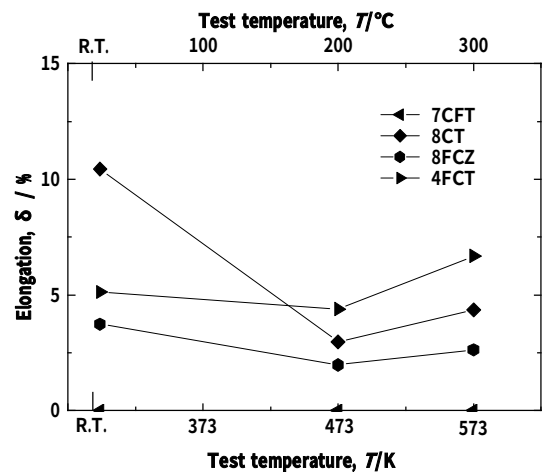


Fig.7 Elongation of extruded P/M materials at various temperatures.

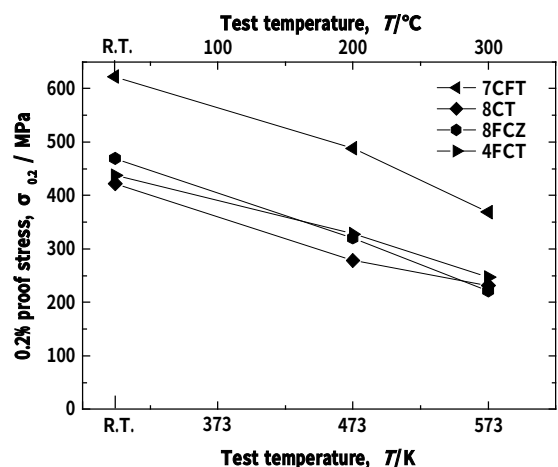


Fig.8 0.2% compressive proof stress of extruded P/M materials at various temperatures.