研 究

Al-Fe-Cr-Ti-Mm (Mm: ミッシュメタル) および Al-V-Fe-Mm 合金 P/M 材の組織と機械的性質

木村 久道^{☆1}, 井上 明久^{☆1}, 笹森賢一郎^{☆1}, 金 享淵^{☆1}, 大野木輝明^{☆2}, 喜多 和彦^{☆2}^{☆1} 東北大学金属材料研究所, 〒850-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1.^{☆2} YKK (株) 金属材料研究所, 〒981-3341 宮城県黒川郡富谷町成田 9-5-1.

Microstructure and Mechanical Properties of P/M Al-Fe-Cr-Ti-Mm (Mm: Misch Metal) and Al-V-Fe-Mm Alloys

Hisamichi Kimura^{☆1}, Akihisa Inoue^{☆1}, Kenichiro Sasamori^{☆1}, Hyang-Yeon Kim^{☆1}, Teruaki Onogi^{☆2} and Kazuhiko Kita^{☆2}^{☆1} Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577.^{☆2} Sendai Institute of Materials Science & Technology, YKK, 9-5-1 Narita, Tomiya-cho, Kurokawa-gun, Miyagi 981-3341.

Received September 4, 1997

SYNOPSIS

Al-Fe-Cr-Ti and Al-V-Fe alloys prepared by the powder metallurgy (P/M) process have high strength exceeding 600 MPa, high-elevated temperature strength exceeding 300 MPa after holding for 100 hours at 573 K and more excellent wear resistance than commercial A390 aluminum alloy. In this work mechanical properties of the P/M $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ and $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ alloys were found to be improved by the addition of misch metal (Mm). P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ alloys containing quasicrystalline phase were prepared by extrusion of argon gas atomized powders at 673 K, where the atomized powders sieved into the sizes smaller than $75\mu\text{m}$ were used. The P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ alloy has a mixed structure consisting of Al, quasicrystal and compounds phases and exhibits good mechanical properties as follows: ultimate tensile strength (σ_{UTS}) of 680 ± 13 MPa, 0.2% proof strength ($\sigma_{0.2}$) of 670 ± 10 MPa, plastic elongation (ε_{P}) of $0.3 \pm 0.1\%$, Young's modulus (E) of 91 ± 3 GPa and Vickers hardness (Hv) of 230 ± 3 , respectively, at room temperature, and σ_{UTS} of 347 ± 5 MPa, $\sigma_{0.2}$ of 315 ± 3 MPa and ε_{P} of $1.8 \pm 0.3\%$, respectively, after holding for 100 hours at 573 K.

KEY WORDS

aluminum-based alloy, quasicrystalline phase, powder metallurgy, mechanical property

1 緒 言

著者らは、液体急冷(RQ)法および粉末冶金(P/M)法によって準結晶合金の特徴である高硬度^{1,2)}, 優れた熱的安定性^{1,3)}を利用したナノ準結晶粒子分散 Al 合金⁴⁻⁶⁾の開発を行ってきている。近年, P/M 法で作製した準結晶を含む Al-Fe-Cr-Ti 系⁷⁻¹⁰⁾ および Al-V-Fe 系¹¹⁻¹⁴⁾ 合金 P/M 材は, 引張強度が超々ジュラルミンを上回ること^{7,8,10)}, 573K で 100h 保持後の耐熱強度が耐熱 Al 合金の目標値である 300 MPa¹⁵⁾ を上回ること^{8,12,14)}, 耐摩耗性が商用の耐摩耗アルミニウム合金(A390-T6)よりも優れていること^{8,9,13)} を明らかにしている。

一方, RQ 法で作製した Al-Ni-Y 系¹⁶⁾, Al-Mn-Ce 系⁴⁾, Al-Cr-Ce-Co 系^{5,6)} 合金リボン材が高強度, 高耐熱強度を示すことを報告している。また, P/M 法で作製した Al-Fe-Ce 系^{17,18)}, Al-Ni-Mm (Mm: ミッシュメタル) 系^{19,20)}, Al-Ni-Mm-Zr 系²¹⁾ および Al-Cr-Co-Mm-Zr 系²²⁾ 合金 P/M 材が高強度, 高耐熱, 高

疲労強度を示すことも報告している。これらの事実は, Al-M (M: 遷移金属)系合金への希土類元素の添加が機械的性質を向上させることを示している。

従って, 本報では上記の Al-Fe-Cr-Ti 系および Al-V-Fe 系合金 P/M 材の引張強度と耐熱強度の向上を図るため, $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ および $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金に, ミッシュメタル(Mm)を 1 at% 添加した $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ および $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材を作製し, その組織, 機械的性質を調べることを目的とした。

2 試料および実験方法

粉末作製用 $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ (at%) および $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ (at%) 合金は, Al-51.1mass%Fe, Al-4.87mass%Cr, Al-56.9mass%V および Al-4.82mass%Ti 合金, アーク溶解した Al-Mm 合金, Al および Cr 金属を所定の組成比にて秤量後, 真空中高周波溶解炉で作製した。粉末は高圧ガス噴霧装置²³⁾を使用し, 約 400g

の粉末作製用合金を Ar ガス雰囲気中で BN ノズル付アルミナるつぽに入れ溶解後, Ar ガス圧 9.8 MPa にて 2 mm 径の BN ノズルより噴霧して作製した. 約 8 mm 径で長さ約 300 mm の P/M 材を 75 μm 径以下に篩分けした粉末を Al 製の缶に封入し, 押出し温度 (Te) 673 K, 押出し比 10:1 にて作製した. Table 1 に P/M 材の化学分析値を示す. P/M 材の Fe 量は秤量組成 (Nominal composition) に比べて約 0.5 mass% 多いが, 他の元素は秤量組成と化学分析値はほぼ一致している. 不純物として 0.1 mass% の Si, 約 0.07 mass% の O が検出された. 粉末と P/M 材の構造解析には X 線回折装置を, 組織観察には透過電子顕微鏡 (TEM) を, 熱分析には示差走査熱量計 (DSC) を用いた. 室温および高温での引張試験は, 前報²⁰⁾で示した形状の試験片を用い TT-CM-L 型のインストロン引張試験機で行った. ヤング率は 4204 型のインストロン引張試験機と前報²⁰⁾で示した形状の試験片の中央に取り付けたひずみゲージ (共和電業製) より得た応力-ひずみ曲線から求めた. なお, 引張試験は各 3 本ずつ行った. また, 室温および高温硬さはピッカース硬度計を用いて, 荷重 100 g で各 10 回ずつ測定した.

3 実験結果および考察

3.1 組織

高圧 Ar ガス噴霧装置で得られた $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ および $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末はほぼ球状の形態を持ち, 平均粒径は約 30 μm 径である. 押出し成形材 (P/M 材) は 75 μm 径以下 (75 μm $\geq$) に篩分けした粉末を用いて作製した. これら粉末の X 線回折図形を Fig. 1 に示す. $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末は fcc-Al (Al) + 準結晶 (Q.C.) + $\text{Al}_{13}\text{Cr}_2$ 化合物 + $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ 化合物 + Al_4Ce 化合物, $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末は Al + Al_{11}V 化合物の複相である. $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末中の Fe と Mm は Al と Al_{11}V 化合物中に固溶しているものと考えられる. $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末では, Mm を含まない $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ 合金粉末⁷⁾ に比べて, 化合物の生成を示す回折ピークが多く観察され, 準結晶の回折ピーク強度は極めて弱くなる. $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末では, Mm を含まない $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金粉末¹²⁾ で観察された準結晶の回折ピークは観察されなくなる. 同様の X 線回折図形は押出し成形材 (P/M 材) においても観察される. これらは, $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ および $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金に 1at%Mm を添加すると準結晶の生成が抑制されることを示している.

Fig. 2 は $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材の TEM 明視野像 (a~d), 電子線回折像 (e~h) である. 正 20 面体準結晶の生成を示す 5 回, 3 回および 2 回対称性の回折斑点が観察される. しかし試料を少し移動させると Fig. 3 の明視野像 (a) に示すように析出物が多くなり, 電子回折像には微細な析出物を示す回折リング (b) と析出物の回折斑点 (c) が観察されるようになる. 析出物は Fig. 1 の X 線回折結果から, $\text{Al}_{13}\text{Cr}_2$, $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ および Al_4Ce 化合物と思われる. Fig. 4 は $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材の TEM 明視野像 (a), 電子線回折像 (b, c, d) である. 明視野像には 100~200 nm の析出物が観察され, 電子線回折図形には Al + Al_{11}V 化合物の複相組織を示す回折斑点と回折リングが観察される. 電子線回折図形に, 準結晶の析出を示す回折斑点が観察されないことから, $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金 P/M 材への Mm の添加は準結晶の生成が抑制されたことを示している.

3.2 熱的性質

Fig. 5 は粒径が 75 μm 以下の粉末を用いて作製した $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材 (AFCTMm-75P/M) および $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材 (AVFMm-75P/M) の DSC 曲線である. 図中, 750 K 付近から現れるブロードなピークは P/M (材) 中に析出している準結晶の分解開始温度 (T_d) に対応するものである. これは, Mm を含まない $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ 合金 P/M 材の T_d よりも 40 K 低くなっ

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of gas atomized $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ and $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloy powders with the size of $\leq 75 \mu\text{m}$.

Table 1 Composition of P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ alloy and $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloy by chemical analysis.

P/M Alloys	(mass%)									
	Al	Fe	Cr	V	Ti	Ce	La	Nd	Si	O
$\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$	82.7	5.9	3.6	—	3.2	2.6	1.2	0.7	0.1	0.06
(Nominal)	(83.0)	(5.6)	(3.5)	(—)	(3.2)	(2.5)	(1.3)	(0.7)	(0.1)	(—)
$\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$	83.7	4.3	—	6.8	—	2.7	1.4	0.8	0.1	0.08
(Nominal)	(83.1)	(3.7)	(—)	(6.8)	(—)	(2.5)	(1.3)	(0.7)	(0.1)	(—)

Fig.2 Bright-field electron micrographs (a~d) and selected-area electron diffraction patterns (e~h) of the P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ alloy.

ている。このことは、上述したように Mm が $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材中の準結晶生成を抑制することと関連している。一方、AVFMm-75P/M では発熱ピークは観察されず、P/M 材中に準結晶が生成していないことを示している。

3.3 機械的性質

Fig.6 は AFCTMm-75P/M と AVFMm-75P/M の室温 (R.T.) および 573 K で 100 時間保持後 (573 K, 100h) の応力-ひずみ曲線である。室温 (R.T.) における塑性変形は、AFCTMm-75P/M では僅かに観察されるが、AVFMm-75P/M では観察されない。この塑性変形は、室温よりも 573 K, 100h の方が大きくなっている。Table 2 はひずみ速度 $4.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ での引張試験から得た

Fig.3 Bright-field electron micrograph (a) and selected-area diffraction patterns (b and c) of the P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ alloy.

Fig.4 Bright-field electron micrographs (a) and selected-area diffraction patterns (b, c and d) of the P/M $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloy.

AFCTMm-75P/M, AVFMm-75P/M の最大引張強度 (σ_{UTS}), 0.2% 耐力 ($\sigma_{0.2}$), 伸び (ϵ_f) ヤング率 (E) とピッカース硬さ (Hv) をま

Fig.5 Differential scanning calorimetry (DSC) curves of the $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ and $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloys.

とめている。比較材料として $26\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いて作製した $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ 合金 P/M 材 (AFCT-26P/M), $125\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いて作製した $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ 合金 P/M 材 (AFCT-125P/M), $26\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いて作製した $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金 P/M 材 (AVF-26P/M) および超々ジュラルミン (7075-T6) の結果も示してある。AFCTMm-75P/M の σ_{UTS} , $\sigma_{0.2}$, E および Hv は Mm を含まない AFCT-26P/M, AFCT-125P/M や 7075-T6 よりも大きい, ϵ_p は極めて小さい。しかしながら, σ_{UTS} は Al 合金の開発目標値²⁵⁾である引張強度 700 MPa に近づいており, この強度を劣化させることなく, 伸びを大きくする合金探査が今後の検討課題である。AVF-26P/M の ϵ_p は 4.5% であるが, Mm を含む AVFMm-75P/M は 0% になる。AVFMm-75P/M の σ_{UTS} は, AVF-26P/M よりも約 60 MPa 小さい。これらは, $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金に Mm を添加しても, 引張強度や伸びの向上に効果がないことを示している。

Fig.6 Tensile stress-strain curves of the P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ and $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloys at room temperature (R.T.) and at 573 K after holding for 100 hours at 573 K.

3.4 高温硬さおよび耐熱強度

Fig.7 は $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金 P/M 材 (AFCTMm-75P/M) のアルゴン雰囲気中で測定したピッカース硬さの温度依存性である。比較材料として Mm を含まない AFCT-26P/M および AFCT-125P/M の結果も示してある。AFCTMm-75P/M の室温硬さは 230 であり, AFCT-26P/M の 192, 7075-T6 アルミニウム合金の 190²⁴⁾, Al-V-Fe 合金 P/M 材の 190¹²⁾ より大きい。硬さは温度の上昇と共に緩やかに減少し, 573 K では 130 であり, AFCT-

Table 2 Mechanical properties of the P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ and $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloys at room temperature. The data of the P/M $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ alloy, P/M $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ alloy and 7075-T6 aluminum alloy are also shown for comparison.

Designation	Alloy	$\sigma_{\text{UTS}} / \text{MPa}$	$\sigma_{0.2} / \text{MPa}$	$\epsilon_p / \%$	E / GPa	Hv
AFCTMm-75P/M	$\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$	680 ± 13	670 ± 10	0.3 ± 0.1	91 ± 3	230 ± 3
AFCT-26P/M	$\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$	658 ± 9	545 ± 14	4.4 ± 0.5	85 ± 2	192 ± 3
AFCT-125P/M	$\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$	541	460	7.3	83	165
AVFMm-75P/M	$\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$	530 ± 20	—	0	93	220 ± 1
AVF-26P/M	$\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$	585	490	4.5	85	190
7075-T6	—	600	550	10.7	70	190

Fig. 7 The Vickers hardness as a function of temperature for the P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ alloy (AFCTMm-75P/M) produced by extruding atomized powders with the size of $\leq 75 \mu\text{m}$. The data of the P/M $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ alloy (AFCT-26P/M) produced by extruding atomized powders with the size of $\leq 26 \mu\text{m}$ (AFCT-26P/M) and P/M $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ alloy (AFCT-125P/M) produced by extruding atomized powders with the size of $\leq 125 \mu\text{m}$ are also shown for comparison.

26P/Mの128よりも大きい, 623Kになると, 硬さは52になり, AFCT-26P/Mの68よりも小さくなる。また図から, AFCTMm-75P/Mの硬さの温度減少率はMmを含まないAFCT-26P/MやAFCT-125P/Mよりも大きい。これらの現象は3.1および3.2項で記述したように, AFCTMm-75P/Mに含まれている熱的安定性をもつ準結晶の量がAFCT-26P/MやAFCT-125P/Mよりも少ないことに起因していると考えられる。

Table 3は $7 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ の真空中において, 573 Kまで30分で加熱, 100時間保持後, ひずみ速度 $4.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ での引張試験から得たMmを含むAFCTMm-75P/M, AVFMm-75P/Mの σ_{UTS} , $\sigma_{0.2}$ および ε_p をまとめている。比較材料としてMmを含まないAFCT-26P/M, AFCT-125P/M, AVF-26P/Mの結果も示してある。なお, AVF-26P/Mの保持時間は5分である。 $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ 合金のAlを1at%Mmで置換したAFCTMm-75P/Mは, Mmを含まないAFCT-26P/Mよりも押し出し成型に用いる粉末形状が大きいにもかかわらず, 耐熱強度が大きい。しかしながら, 伸

びは極めて小さくなる。このような傾向は, AVFMm-75P/MとAVF-26P/Mの関係でも得られる。これらのことは, $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ および $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金にMmを添加すると, 耐熱強度は向上するが, 伸びは小さくなることを示している。

4 ま と め

高圧ガス噴霧法で作製した $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ および $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金粉末を $75 \mu\text{m}$ 以下($75 \mu\text{m} \geq$)に篩い分けした後, この粉末から押し出し材(P/M材)を作製し, 組織, 機械的性質を調べ, 下記の知見を得た。

- (1) $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ および $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金に1at%のミッシュメタル(Mm)を添加すると, 準結晶の生成が抑制される。
- (2) 室温の機械的性質は, $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ 合金P/M材(AFCTMm-75P/M)では最大引張強度(σ_{UTS})= $680 \pm 13 \text{ MPa}$, 0.2%耐力($\sigma_{0.2}$)= $670 \pm 10 \text{ MPa}$, (ε_p)= $0.4 \pm 0.1\%$, ヤング率(E)= $91 \pm 4 \text{ GPa}$ およびピッカース硬さ(H_v)= 232 ± 2 であり, $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ 合金P/M材(AVFMm-75P/M)では σ_{UTS} = $530 \pm 20 \text{ MPa}$, ε_p =0%, E = 93 GPa および H_v = 220 ± 1 である。よって $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ および $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金に, 希土類元素であるミッシュメタル(Mm)を添加すると, σ_{UTS} , $\sigma_{0.2}$, E , H_v は大きくなるが, ε_p は極めて小さくなる。
- (3) 温度上昇によるAFCTMm-75P/MおよびAVFMm-75P/Mのピッカース硬さ(H_v)の減少率は, Mmを添加しない $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ 合金P/M材(AFCT-26P/M)や $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ 合金P/M材(AVF-26P/M)よりも大きい。
- (4) 573 K, 100h保持後の機械的性質は, AFCTMm-75P/Mでは σ_{UTS} = $347 \pm 5 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2}$ = $315 \pm 6 \text{ MPa}$, ε_p = $1.8 \pm 0.3\%$ であり, AVFMm-75P/Mでは σ_{UTS} = $294 \pm 4 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2}$ = $252 \pm 2 \text{ MPa}$, ε_p = $2.8 \pm 0.3\%$ である。

謝 辞

粉末作製用合金の高周波溶解, 引張試験, 透過電子顕微鏡観察, 化学分析に御協力頂いた東北大学金属材料研究所 元吉井 勇助手, 元末永 裕技官, 伊藤 俊技官, 元庄子 勉助手, 元竹内正邦助手, 元今野栄行助手に感謝致します。また, 本研究の一部は(財)軽金属奨学会の研究助成金で行われたことを記し, 謝意を表します。

Table 3 Mechanical properties of the P/M $\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$ and $\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$ alloys after holding for 100 hours at 573 K. The data of the P/M $\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$ and $\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$ alloys are also shown for comparison.

Designation	Alloy	$\sigma_{\text{UTS}} / \text{MPa}$	$\sigma_{0.2} / \text{MPa}$	$\varepsilon_p / \%$
AFCTMm-75P/M	$\text{Al}_{92}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{Mm}_1$	347 ± 5	315 ± 6	1.8 ± 0.3
AFCT-26P/M	$\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$	336	312	2.6
AFCT-125P/M	$\text{Al}_{93}\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{Ti}_2$	278	260	7.4
AVFMm-75P/M	$\text{Al}_{93}\text{V}_4\text{Fe}_2\text{Mm}_1$	294 ± 4	252 ± 2	2.8 ± 0.3
AVF-26P/M	$\text{Al}_{94}\text{V}_4\text{Fe}_2$	291	277	6.0

文 献

- 1) A.Inoue, H.M.Kimura and T.Masumoto: "Formation, Thermal Stability and Electrical Resistivity of...", J. Mater. Sci., 22(1987) 1758-1768.
- 2) 竹内伸: "準結晶の機械的性質", 鉄と鋼, (1992)1517-1522.
- 3) D.Shechtman, I.A.Blech, D.Gratias and J.W.Cahn: "Metallic Phase with Long-Range Orientational Order...", Phys. Rev. Lett., 53(1984)1951-1953.
- 4) A.Inoue, M.Watanabe, H.M.Kimura, F.Takahashi, A.Nagata and T.Masumoto: "High Mechanical Strength of...", Mater. Trans., JIM, 33(1987)723-729.
- 5) A.Inoue, H.M.Kimura, K.Sasamori and T.Masumoto: "Ultrahigh Strength Rapidly Solidified $Al_{96-x}Cr_3Ce_1Co_x$...", Mater. Trans., JIM, 35(1987)85-94.
- 6) A.Inoue, H.M.Kimura, K.Sasamori and T.Masumoto: "Microstructure and Mechanical Properties...", Mater. Trans., JIM, 36(1995)6-15.
- 7) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 喜多和彦: "準結晶を含む Al-6.3%Fe-3.8%Cr-3.3%Ti 合金 P/M 材の組織と機械的性質", 軽金属, 48(1998)263-268.
- 8) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 喜多和彦, 大野木輝明: "準結晶を含む Al-(Cr,Mn)-Fe-(Ti,V) 系 4 元合金 P/M 材の組織と機械的性質", 軽金属, 48(1998)494-500.
- 9) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 加藤晃, 大野木輝明, 喜多和彦: "準結晶粒子分散 Al-Fe-M-Ti (M=V, Cr, Mn) 合金 P/M 材の組織と耐熱強度", 粉体および粉末冶金, 46(1999)1321-1326.
- 10) 笹森賢一郎, 木村久道, 井上明久, 村上義弘: "液体急冷 Al-Fe-Ti-M (M=V, Cr, Mn) 合金の組織と機械的性質", 粉体および粉末冶金, 47(2000)417-422.
- 11) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人: "メカニカルグラインディング処理した Al-7.9%V-4%Fe 合金粉末の押出成形と耐熱強度", 軽金属, 47(1997)487-492.
- 12) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人: "準結晶を含むガス噴霧 Al-7.8%V-4%Fe 合金粉末の押出成形と耐熱強度", 軽金属, 47(1997)539-544.
- 13) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎: "準結晶を含む Al-7.8%V-4%Fe 合金 P/M 材の組織と耐摩耗性", 軽金属, 48(1998)127-131.
- 14) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人, 大野木輝明, 喜多和彦: "準結晶を含む Al-V-Fe-M...", 粉体および粉末冶金, 45(1998)817-823.
- 15) 武田義信: "アルミニウム粉末冶金の展望", 軽金属, 37(1987)639-645.
- 16) A.Inoue, K.Ohtera, A.P.Tsai and T.Masumoto: "Aluminum-Based Amorphous Alloys with Tensile Strength...", Jpn. J. Appl. Phys., 27(1988)L479-L482.
- 17) P.R.Bridenbaugh, W.S.Cebulak, F.R.Billman and G.H.Hildeman: "Particulate Metallurgy in Rapid Solidification", Light Metal Age, Oct., (1985)18-26.
- 18) K.N.Ramakrishnan, H.B.McShane and T.Sheppard: "The Influence of Powder Particle Size on the Mechanical Properties...", Z. Metallkd, 85(1994)260-264.
- 19) K.Ohtera, A.Inoue and T.Masumoto: "High Mechanical Strength of Al-Y-Ni Amorphous Alloys by Warm...", Mater. Sci. Eng., A134(1991)1212-1214.
- 20) K.Ohtera, A.Inoue, T.Terabayashi, H.Nagahora and T.Masumoto: "Mechanical Properties of an $Al_{88.5}Ni_8Mm_{3.5}$...", Mater. Trans., JIM, 33(1992)775-781.
- 21) H.Nagahama, K.Ohtera, K.Higashi, A.Inoue and T.Masumoto: "Mechanical Properties of Rapidly Solidified...", Philos. Mag. Lett., 67(1993)225-230.
- 22) S.Adachi, T.Kubota, T.Kohno, M.Otsuki, M.Miyahara, J. Nagahora, K.Kita, T.Matsuda, M.Oguchi and A.Inoue: "Fatigue Strength Characteristics of Quasi-Crystal Aluminum...", Aluminum Alloys (ICAA-6), ed T.Sato et al., 3(1988)1319-1324.
- 23) A.Inoue, T.Masumoto, T.Ekimoto, S.Furukawa, Y.Kuroda and H.S.Chen: "Preparation of Fe-, Co-, and...", Metall. Trans. A, 19A(1988)235-242.
- 24) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人, 大野木輝明, 喜多和彦: "Al-Cr-R (R=Ce, Mm) 系合金 P/M 材の機械的性質", 粉体および粉末冶金, 45(1998)738-743.
- 25) 黒石農土, 明智清明: "アルミニウムの粉末冶金と複合材料", 軽金属, 34(1984)537-546.