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

木村 久道*・井上 明久*
笹森賢一郎*・喜多 和彦**

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 48, No. 6 (1998), pp. 263-268

Structure and mechanical properties of Al-6.3 mass%Fe-3.8 mass%Cr-3.3 mass%Ti P/M alloys containing quasicrystals

Hisamichi KIMURA*, Akihisa INOUE*
Kenichiro SASAMORI* and Kazuhiko KITA**

AFCT-26P/M and AFCT-125P/M were prepared by extruding of Al-6.3 mass%Fe-3.8 mass%Cr-3.3 mass%Ti (AFCT) alloy powders at 673 K, of which the sizes were smaller than 26 μm and 125 μm , respectively. X-ray diffraction showed that the AFCT powder consists of three phases of icosahedral quasicrystal, fcc-Al and $\text{Al}_{23}\text{Ti}_9$. Both AFCT-P/M alloys have also the same structure as the powder. The ultimate tensile strength (σ_{UTS}), plastic elongation (ϵ_p), Young's modules (E), Vickers hardness (HV), Density (ρ) and specific strength (σ_{UTS}/ρ) at room temperature are 646 MPa, 4.4%, 86 GPa, 192, 2.951 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $2.19 \times 10^5 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$ for AFCT-26P/M alloy and 541 MPa, 7.3%, 83 GPa, 165, 2.955 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $1.83 \times 10^5 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$ for AFCT-125P/M alloy, respectively. After heating for 300 s at 573 K, σ_{UTS} , $\sigma_{0.2}$ and ϵ_p are 361 MPa, 333 MPa, 1.5% for AFCT-26P/M alloy and 286 MPa, 270 MPa, 6.5% for AFCT-125P/M alloy, respectively. It is confirmed by a transmission electron microscope (TEM) that icosahedral quasicrystalline particles with a size of about 400 nm precipitate in both P/M alloys. It was found that the AFCT-26P/M alloy having elevated-temperature strength contains icosahedral quasicrystalline particles even after heat-treatment for 720 ks at 573 K.

(Received September 22, 1997)

Keywords: aluminum-base alloy, aluminum-iron-chromium-titanium alloy, quasicrystal, mechanical property, powder metallurgy

1. 緒 言

液体から瞬時にリボン合金を作製する単ロール型液体急冷法 (MQ 法) は、組織の急冷効果および諸物性を調べることができる試験片の作製に適した方法である。

最近著者らは、MQ 法によって作製した Al-5 at%Ti-2 at%Fe^(1,2) および Al-4 at%Ti-3 at%Fe⁽³⁾ リボン合金が非晶質と Al の複相組織を示し、引張破断強度 (σ_t) がそれぞれ 1210 MPa, 1320 MPa の高強度を示すこと、および前者のリボン合金は 600 K で 880 MPa の優れた耐熱強度⁽¹⁾を示すことを報告している。また、MQ 法で作製した Al-26%Cr (以下、mass%は%) (Al-15.4 at%Cr) リボン合金⁽⁴⁾はほぼ単相の準結晶 (Q.C.) 組織を示し、極めて脆いが 7075-T6 合金の約 4 倍の硬さ (HV=700) を持つことを明らかにしている。

一方、粉末冶金法 (P/M 法) で作製した Cr 元素を含む

Al-6%Cr-3%Fe-2%Zr 合金⁽⁵⁾, Al-Cr-TM 系合金⁽⁶⁾, Al-Fe-Ni-Cr-Zr 系合金⁽⁷⁾ および Al-Cr-Ce-Co 系合金⁽⁸⁾ が 7075-T6 合金と同程度の室温強度を持ち、また高耐熱性を示すことが明らかになっている。これらの P/M 材は、Al-6%Cr-3%Fe-2%Zr 合金 P/M 材を除いて準結晶を含んでいることが指摘されている。

最近では準結晶を含む Al-7.8%V-4%Fe 合金 P/M 材の最大引張強度 (σ_{UTS}) と伸び (ϵ_p) がそれぞれ室温で 585 MPa, 4.5%, 573 K で 305 MPa, 5.0% を示すことが報告されている⁽⁹⁾。

本報では、Al-4 at%Ti-3 at%Fe 合金の Ti を準結晶生成元素である Cr で部分置換した Al-3 at%Fe-2 at%Cr-2 at%Ti 合金 P/M 材の組織と機械的性質を調べることを目的としている。

* 東北大学金属材料研究所 (〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1)。Institute for Materials Research, Tohoku University (2-1-1. Katahira, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi 980-8577)。

** YKK 仙台金属材料研究所 (黒川郡)。YKK Sendai Institute of Material Science and Technology (Kurokawa-gun, Miyagi)。

2. 試料および実験方法

P/M 材作製用合金は、市販の Al (99.99%) および Al-4.82%Ti, Al-4.89%Cr, Al-51.09%Fe 母合金を Al-3 at%Fe-2 at%Cr-2 at%Ti (Al-5.8%Fe-3.6%Cr-3.3%Ti) の組成に秤量後、高周波溶解炉を用いて溶製した。その粉末は高圧ガス噴霧装置¹⁰⁾を用いて作製し、スクリーンでふるって 26 μm および 125 μm 径以下にした粉末を Al 製の缶に充填し、100 トンの押出機により、直径 8 mm で長さ約 300 mm の P/M 材を得た。押出条件は押出温度 (T_e) 673 K、押出比 10 : 1 である。Table 1 に粉末および P/M 材の化学組成を示す。P/M 材の組成は Al-6.3%Fe-3.8%Cr-3.3%Ti であり、粉末の組成とはほぼ一致している。Fe と Cr 量は秤量組成よりも、それぞれ 0.5%, 0.2% 多くなっている。不純物として、微量の Si, O が検出された。粉末と P/M 材の構造解析には X 線回折、熱的性質には示差走査熱量計 (DSC)、粉末の粒度分布測定には日機装機のマイクロトラック粒度分析計を用いた。組織観察は透過電子顕微鏡を用い、機械的性質の測定には前報^{9), 11)}と同じ各種形状の試験片を作製し、高温ビッカース硬さはニコン製 QM-2 型を、熱膨張は機械分析装置 EX-STAR-6000 型 (セイコー電子製) を、室温および高温引張試験はそれぞれ 4204 型と TT-CM-L 型のインストロン引張試験機を用いて測定した。ヤング率は試験片の中央に取付けたひずみゲージ (共和電業製) より得たひずみ-応力曲線から求めた。また、比重はアルキメデス法により測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 粉末と P/M 材の組織

押出成形用 Al-6.3%Fe-3.8%Cr-3.3%Ti (以下 AFCT と記す) 粉末はほぼ真球の形態を示し、平均粒径は 38 μm である。Fig. 1 は AFCT 粉末の X 線回折図形と比較のためにほぼ単相の正 20 面体準結晶を示す Al-26%Cr 合金⁴⁾の急冷凝固材の X 線回折図形を示している。図中の準結晶の指数付けは Elser¹²⁾の方法で行っている。26 μm 径以下 (−26 μm) および 125 μm 径以下 (−125 μm) の AFCT 粉末には Al-26Cr 合金の正 20 面体準結晶の回折ピーク⁴⁾とほぼ同じ位置 (2 θ) に回折ピークが見られ、両粉末に準結晶が生成していることがわかる。−26 μm 粉末の X 線回折図形には準結晶と Al の 2 相以外に、Al₂₃Ti₉ 化合物の X 線回折ピークがわずかに見られる。−125 μm 粉末は準結晶, Al および Al₂₃Ti₉ の 3 相組織になっている。図中から、準結晶を示す Al-26%Cr 合金、−26 μm および −125 μm の AFCT 粉末の (211111) 面からの回折線の半値幅を求めると、それぞれ 0.40°, 0.65°, 0.73° になる。両 AFCT 粉末の回折線の半値幅は、ほぼ単相の正 20 面体準結晶を示す Al-26%Cr 合金のそれよりも大きくなっている。一方、準結晶に急速凝固、組成変異、加工によりフェイズ歪が導入されると近似結晶になり、準結晶の X 線回折線がブロードになることが知られている^{13), 14)}。したがって、両粉末の回折線の半値幅が大きくなっている原因の一つとして近似結晶の生成の可能性も考えられる。Fig. 2 は AFCT 粉末の DSC 曲線である。図中、約 790 K 付近から現れるブロードなピークは両粉末に生成している準結晶の結晶化に対応するものであり、この粉末の P/M 材は、790 K 以下では、高耐熱強度を持つことが予想される。結晶化に伴

Table 1 Chemical composition of atomized alloy powder and P/M alloy (mass%)

	Al	Fe	Cr	Ti	Si	O
Nominal	87.3	5.8	3.6	3.3	—	—
Powder	87.3	6.32	3.84	3.30	0.087	0.0674
P/M alloy	87.1	6.27	3.80	3.33	0.085	0.0765

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of AFCT alloy powder (−26 μm , −125 μm). The data of a rapidly solidified Al-26 mass%Cr alloy also shown for comparison.

Fig. 2 Differential scanning calorimetry (DSC) curves of AFCT alloy powder (−26 μm , −125 μm).

う発熱量は、−26 μm 粉末では約 4.2 mJ/mg、−125 μm 粉末では約 3.6 mJ/mg であり、−26 μm 粉末の発熱量が −125 μm 粉末よりも 17% 大きい。これは、−26 μm 粉末の過冷却度が −125 μm 粉末よりも大きいことに起因していると考えられる。Fig. 3 は −26 μm の AFCT 粉末の押出材 (以下 AFCT-26P/M 材と記す) と −125 μm の粉末の押出材 (以下 AFCT-125P/M 材と記す) の X 線回折図形である。両 P/M 材の X 線回折ピークは Fig. 1 に示した粉末の X 線回折ピークと同じ位置で見られ、準結晶, Al および Al₂₃Ti₉ の

Fig. 3 X-ray diffraction patterns of AFCT-26P/M and AFCT-125P/M alloys.

Table 2 Mechanical properties of AFCT-26 P/M and AFCT-125 P/M alloys at room temperature. The data of 7075-T6 alloy also shown for comparison

	σ_{UTS} (MPa)	ϵ_p (%)	E (GPa)	HV (DPN)	ρ ($Mg \cdot m^{-3}$)	σ_{UTS}/ρ ($10^5 Nm \cdot kg^{-1}$)
AFCT-26	646	4.4	86	192	2.951	2.19
AFCT-125	541	7.3	83	165	2.955	1.83
7075-T6	600	10.7	70	190	2.827	2.12

3相組織になっていることがわかる。図中から、準結晶を示すAFCT-26およびAFCT-125P/M材の(21111)面からの回折線の半値幅を求めると、それぞれ 0.72° 、 0.97° になり、粉末の半値幅に比べても大きい。このことは、粉末中の準結晶が温間押し出しによるフェイズ歪が導入され、近似結晶への転化が更に進んだためと考えられる。Table 2はひずみ速度 $4.6 \times 10^{-4} s^{-1}$ での引張試験から得たAFCT-26P/M、AFCT-125P/M材および7075-T6合金の最大引張強度(σ_{UTS})、伸び(ϵ_p)、ヤング率(E)、ビッカース硬さ(HV:測定荷重100g)、比重(ρ)および比強度(σ_{UTS}/ρ)をまとめている。AFCT-26P/M材の σ_{UTS} はAFCT-125P/M材よりも19%高いが、 ϵ_p は40%小さい。AFCT-26P/M材およびAFCT-125P/M材のヤング率は、7075-T6合金よりも約20%大きい。AFCT-26P/M材の比強度は、7075-T6合金と同程度であるが、AFCT-26P/M材の ϵ_p は7075-T6合金の約1/2である。Fig. 4はAFCT-26P/M材の透過電子顕微鏡(TEM)組織である。AFCT-26P/M材の明視野像(a)で観察される約380 nm径の粒子から得た電子回折図形には準結晶の析出を示す5回対称性(b)と2回対称性(c)の回折斑点が認められる。また、Fig. 5に示したようにAFCT-125P/M材の明視野像(a)で見られる約400 nm径の粒子から得た電子回折図形(b)にも準結晶の析出を示す5回対称性の回折斑点が認められ、準結晶が両P/M材中に生成していることが、Fig. 1のX線回折の結果と同様に確認された。AFCT-26P/M材中で準結晶の電子線回折図形を示した5個の粒子をエネルギー分散型X線分析(TEM/EDX)した組成の平均値は、Al-12.6

Fig. 4 Bright-field electron micrograph (a) and selected area diffraction patterns (b, c and d) of AFCT-26P/M alloy.

Fig. 5 Bright-field electron micrograph (a) and selected area diffraction pattern (b) of AFCT-125P/M alloy.

%Fe-10%Cr-3.7%Tiであった。

ところで、Al (99.99%)とCr (99.2%)を用いてアーク溶解で溶製後、MQ法(Cuロール、周速40 m/s)により作製したAl-Cr二元リボン合金中に準結晶が生成し始めるのは、約9%Cr量からであり、Fig. 6に例としてAl-7.4%CrおよびAl-11%Cr、Al-14.4%Cr二元リボン合金のX線回折図形

Fig. 6 X-ray diffraction patterns of rapidly solidified Al-7.4 mass%Cr, Al-11 mass%Cr and Al-14.4 mass%Cr alloys.

Fig. 7 X-ray diffraction pattern of rapidly solidified Al-12.5 mass%Fe-10.6 mass%Cr-3.9 mass%Ti alloy.

を示した。二つの AFCT-P/M 材中の Cr 量は 3.8% であり、Al-Cr 二元リボン合金よりも低濃度域で準結晶が生成しており、Fe と Ti 元素が準結晶の生成を促進していると考えられる。

3.2 急速凝固 Al-12.6%Fe-10%Cr-3.7%Ti リボン合金の組織

AFCT-26P/M 材の TEM/EDX 分析で得た準結晶粒子の平均組成と同じ組成である Al-12.6%Fe-10%Cr-3.7%Ti の母合金を、純金属 Al (99.99%), Fe (99.9%), Cr (99.2%), Ti (99.8%) を用いてアーク溶解で溶製後、MQ 法 (Cu ロール, 40 m/s) によりリボン合金を作製した。このリボン合金の 10箇所を EPMA (X 線マイクロアナライザ) 測定した結果、平均組成は Al-12.5%Fe-10.6%Cr-3.9%Ti であり、秤量組成に比べて Cr 量は 0.6% 多くなっているが、Fe および Ti 量は同程度であった。Fig. 7 は急速凝固 Al-12.5%Fe-10.6%Cr-3.9%Ti リボン合金の X 線回折図形である。Al-12.5%Fe-10.6%Cr-3.9%Ti リボン合金中には Al の弱い回折ピークが見られるが、他の回折ピーク位置は Fig. 1 に示した Al-26%Cr リボン合金の準結晶の回折ピークと一致して

Fig. 8 Bright-field electron micrographs (a and b) and selected area diffraction patterns (c, d and e) of rapidly solidified Al-12.5 mass%Fe-10.6 mass%Cr-3.9 mass%Ti alloy.

おり、この新しい組成においてもほぼ単相の準結晶が生成することを示している。また、このリボン中の準結晶の準格子常数 (a_R : Elser による方法によって¹²⁾)は 0.462 nm であり、先に示した AFCT 合金 P/M 材の準結晶から求めた $a_R = 0.462$ nm と一致する。このことは、AFCT 合金 P/M 材中に析出していた準結晶は MQ 法で作製したほぼ単相の正 20 面体準結晶と同じものと考えられる。Fig. 8 はリボン合金の TEM 観察結果である。明視野像 (a), (b) に見られるように、

Fig. 9 The Vickers hardness as a function of temperature for AFCT-26P/M and AFCT-125P/M alloys.

Table 3 Mechanical properties of AFCT-26 P/M and AFCT-125 P/M alloys at 573 K

	σ_{UTS} (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	ϵ_P (%)
AFCT-26	361	333	1.5
AFCT-125	286	270	6.5

組織は過冷度度の違いにより、約80 nmの粒子状領域と約300 nmの粗大粒領域があり、不均一な組織になっている。電子回折図形(c), (d), (e)には5回, 3回, 2回の各対称性の回折斑点が観察され、AFCT-26P/M材およびAFCT-125P/M材に析出している準結晶の構造は正20面体相であると結論される。また、荷重25 gで測定した急速凝固Al-12.5%Fe-10.6%Cr-3.9%Tiリボン合金の硬さは685であるが極めて脆い。一方AFCT-26P/M材およびAFCT-125P/M材中の準結晶粒子の硬さも同程度であると考えられるが、大きな σ_{UTS} を示す。したがって、この高強度特性の原因は、両P/M材中に準結晶粒子が分散して存在するためであると考えられる。

3.3 耐熱強度

Fig. 9はAFCT-26P/M材およびAFCT-125P/M材のアルゴン雰囲気中で測定した硬さの温度依存性である。AFCT-26P/M材の室温硬さは192であり、7075-T6合金およびAl-V-Fe合金P/M材⁹⁾の190と同程度の値である。硬さは温度の上昇とともに緩やかに減少し、573 Kおよび673 Kではそれぞれ122, 68になる。これらの値はAl-7.8%V-4%Fe合金P/M材⁹⁾の硬さ(573 Kで90, 673 Kで50)よりも約35%大きいことから、高耐熱強度を示すことが予想される。一方、AFCT-125P/M材の室温硬さは165であり、AFCT-26P/M材より14%小さい。AFCT-125P/M材の硬さはAFCT-26P/M材と同様に温度の上昇に伴い緩やかに減少し、573 Kおよび673 Kではそれぞれ94, 49になる。Table 3は 7×10^{-3} Paの真空中において573 Kまで1.8 ksで加熱、300 s保持した後、ひずみ速度 $3.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ での引張試験から得たAFCT-26P/M材およびAFCT-125P/M材の σ_{UTS} , $\sigma_{0.2}$ (0.2%耐力) および ϵ_P をまとめている。AFCT-26P/M材の σ_{UTS} および $\sigma_{0.2}$ は、AFCT-125P/M材に比べて約20%

Fig. 10 Bright-field electron micrograph (a) and selected area diffraction patterns (b, c and d) of AFCT-26P/M alloy aged for 720 ks at 573 K.

大きい、 ϵ_P は77%小さくなっている。この傾向は、前述のとおり室温における測定 (Table 2) においても観測された。Fig. 1およびFig. 3のX線回折図形に見るように、AFCT-125粉末、AFCT-125P/M材は、 $\text{Al}_{23}\text{Ti}_9$ の(118)回折線がAFCT-26粉末、AFCT-26P/M材よりかなり大きな強度で現れている。このことはAFCT-125P/M材の粉末の過冷度度が、AFCT-26P/M材より小さいためと考えられる。このX線回折の結果は $\text{Al}_{23}\text{Ti}_9$ 相の存在が、上記の両P/M材の ϵ_P の大小に関連していることを示唆している。Fig. 10は高耐熱強度を示したAFCT-26P/M材の573 Kで720 ks熱処理後のTEM観察結果である。明視野像(a)で観察される200 nm~1 μm 径の粒子から得た電子線回折図形(b), (c), (d)は5回, 3回および2回の各対称性の回折斑点を示し、573 K, 720 ksの熱処理後においても準結晶が存在していることがわかった。

4. 結 言

ガス噴霧法で作製したAl-6.3%Fe-3.8%Cr-3.3%Ti粉末を26 μm 径以下 (-26 μm) および125 μm 径以下 (-125 μm) にふるい分けした後、この微細粉末から押出材 (P/M材) を作製し、組織、室温および高温の機械的性質など

を調べ以下の知見を得た。

(1) ガス噴霧粉末の平均粒径は $38\mu\text{m}$ であり、ほぼ真球の形態を有している。 $-26\mu\text{m}$ および $-125\mu\text{m}$ AFCT 粉末の組織は、ともに準結晶、Al および $\text{Al}_{23}\text{Ti}_9$ の 3 相を示すが、 $-26\mu\text{m}$ 粉末の $\text{Al}_{23}\text{Ti}_9$ の X 線回折ピーク強度は、 $-125\mu\text{m}$ の粉末に比べて極めて弱い。

(2) $-26\mu\text{m}$ および $-125\mu\text{m}$ 粉末の押出材の組織は、粉末と同様に、ともに準結晶、Al および $\text{Al}_{23}\text{Ti}_9$ の 3 相である。

(3) AFCT-26P/M 材および AFCT-125P/M 材の TEM 組織にはともに準結晶粒子が分散している。5 個の準結晶粒子を TEM/EDX 分析した組成の平均値は Al-12.6%Fe-10%Cr-3.7%Ti である。

(4) 室温における最大引張強度 (σ_{UTS})、伸び (ϵ_{P})、硬さ (HV)、比重 (ρ) および比強度 (σ_{UTS}/ρ) は、AFCT-26P/M 材の場合、それぞれ 646 MPa, 4.4%, 86 GPa, 192, 2.951 Mg/m^3 , $2.19 \times 10^5 \text{ Nm}/\text{kg}$, AFCT-125P/M 材の場合、それぞれ 541 MPa, 7.3%, 83 GPa, 165, 2.955 Mg/m^3 , $1.83 \times 10^5 \text{ Nm}/\text{kg}$ である。

(5) MQ 法で作製した Al-12.6%Fe-10%Cr-3.7%Ti リボン合金には、正 20 面体準結晶相を示す 5 回, 3 回, 2 回の各対称性の電子線回折斑点が観察される。このリボン合金の硬さは 685 である。

(6) 573 K で 300 s 保持後の σ_{UTS} , $\sigma_{0.2}$ および ϵ_{P} は、AFCT-26P/M 材の場合、それぞれ 361 MPa, 333 MPa, 1.5%, AFCT-125P/M 材の場合、それぞれ 286 MPa, 270 MPa, 6.5% である。

(7) AFCT-26P/M 材は 573 K で 720 ks 熱処理後でも準結晶が安定に存在しており、高い熱的安定性を有している。

終わりに、有益なご助言とともに 7075-T6 合金を提供して

頂きました東洋アルミニウム(株)岩尾 修様と楠井 潤様に感謝致します。また、本研究の遂行に当たり、母合金の高周波溶解、化学分析、透過電子顕微鏡観察および EPMA 観察に御協力頂いた東北大学金属材料研究所吉井 勇、庄司 勉各助手、今野栄行、竹内正邦、伊藤 俊、村上義弘各技官に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) A. Inoue, H. M. Kimura and K. Sasamori: Chemistry and Physics of Nanostructures and Related Non-Equilibrium Materials, (ed. E. Ma et al.) TMS, (1997), 201.
- 2) H. M. Kimura, K. Sasamori and A. Inoue: Mater. Trans., JIM, 37 (1996), 1722.
- 3) H. M. Kimura, K. Sasamori, T. Negishi and A. Inoue: Nanostruct. Mater., 8 (1997), 833.
- 4) A. Inoue, H. M. Kimura and T. Masumoto: J. Mater. Sci., 22 (1987), 1758.
- 5) 小池精一, 窪田隆一, 市川政夫, 馬場剛志, 高橋和也: 日本金属学会誌, 56 (1992), 923.
- 6) 斉藤孝治, 喜多和彦, 井上明久, 増本 健: 軽金属学会第 89 回秋期大会講演概要, (1995), 201.
- 7) 松本賢司, 上垣内雅人, 時澤 貢, 高辻則夫, 横手隆昌, 楠井 潤, 横江一彦: 日本金属学会誌, 61 (1992), 303.
- 8) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人: 粉体粉末冶金, 44 (1997), 858.
- 9) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人: 軽金属, 47 (1997), 539.
- 10) A. Inoue, T. Masumoto, T. Ekimoto, S. Furukawa, Y. Kuroda and H. S. Chen: Metall. Trans. A, 19A (1988), 235.
- 11) 木村久道, 井上明久, 笹森賢一郎, 河村能人: 軽金属, 47 (1997), 487.
- 12) V. Elser: Phys. Rev. B, 32 (1985), 4892.
- 13) Y. Ishii: Phys. Rev. B, 39 (1989), 11862.
- 14) K. Edagawa, A. Waseda, K. Kimura and H. Ino: Mater. Sci. Eng., A134 (1991), 939.