アルミニウムおよびその合金の鑄造組織におよぼす 添加元素の影響 (第2報)

99.99% Al, Al-Mg (2, 5, 7%), Al-Cu (4%),
Al-Si (8, 12, 15%) 合金の結晶粒度におよぼす
添加元素の影響*

中谷 義三** 清水 恭治**

Effect of some additive elements on the cast structure of aluminium and its alloys (2nd Report)

(UDC 669.715-14:620.18)

Effect of additive elements on the cast grain size of Al 99.99%, Al-Mg (2, 5, 7%),
Al-Cu (4%) and Al-Si (8, 10, 15%) alloys*

NAKATANI Yoshizo** · SHIMIZU Kyoji**

In the previous report (part I), the effect on the cast structure and grain refining character by addition of 39 elements to Al-Fe (0.5%) alloy was reported. In this second report, 12 elements (Ti, Ta, Zr, B, Nb, W, V, Mo, Be, Y, Li, Si) which showed the grain refining effect were added to Al 99.99%, and furthermore 5 elements (Ti, Ta, Zr, Be, Y) were added to Al-Mg, Al-Cu and Al-Si alloys and their refining influences were investigated.

On the high purity Al-Ti alloy, supposing its grain refining mechanism with the result of microscopic observation, crystal nucleus substance was qualitatively analysed with electron micro-analyser.

The results of investigation were summarized as follows:

1. 12 elements (Ti~Si) showed cast grain refining character on Al 99.99%, and the elements which refine the structure finer, reduce undercooling degree lower.
2. The results of addition of 5 elements to Al-Mg, Al-Cu and Al-Si alloys showed that Ti, Ta, Zr, which make peritectic reaction with Al, are effective for grain refining except in case of Be and Y which react eutectically with Al. The relation between undercooling degree of primary α and grain size is almost same as in case of Al 99.99%.
3. Considering from the results obtained by adding Ti to Al-Si alloy, it can be said that the grain refining effect of Ti is only obtainable when the primary structure is in α solid solution in Al and this effect is increased with the increase of existing α .
4. A phase which appears in the center of petal-shaped crystal of high purity Al-Ti alloy is to be considered as nucleus substance and which was revealed having Ti and Al constitution after qualitative analysis by electron micro-analyser. In respect on this point further report will follow.

(Received July 25, 1963)

1. 緒 言

第1報において Al-Fe (0.5%) 合金に添加した39種の添加元素,あるいは合金のうち,12種の元素が結晶粒度微細化に効果のあることを示したが,本報告においては,これら12元素を選び,99.99%Al, Al-Mg (2, 5, 7%)

合金, Al-Cu (4%) 合金, および Al-Si (8, 12, 15%) 合金に添加し,同様な効果が期待しうかどうかを検討してみた。

2. 実験試料・方法

Al-Mg, Al-Cu, Al-Si 合金は高純度アルミニウムに純

* 当会第24回春期大会 (1963-6) および日本金属学会, 日本鉄鋼協会関西支部非鉄材料分科会において報告

*** 大阪府立大学教授 Prof., Univ. of Osaka

金属を配合して、あらかじめ 1.5~2.0kg ずつ準備し、これより 60~70 g 位試料を採取し、再溶解をおこなって添加元素の影響を検討した。添加元素は高純度アルミニウムに対してのみ12元素を添加し、Al-Mg, Al-Cu, Al-Si 合金に対しては、これらのうち、Al と包晶反応系を形成する元素を代表して Ti, Ta, Zr, 共晶反応系を形成する元素を代表して、Be, Y の 5 元素をそれぞれ 0.01, 0.1, 1.0% ずつ添加した。Al-Cu, Al-Mg, Al-Si 合金の分析結果を示すと **Table 1** のごとくであり、このうち、Al-Si 8%, Si 15% は比較のため Ti のみを添加したものである。

Table 1 Results of chemical analysis of specimens.

Alloy	Mg %	Cu %	Si %
Al-2% Mg	1.97	—	—
Al-5% Mg	5.77	—	—
Al-7% Mg	7.63	—	—
Al-4% Cu	—	3.84	—
Al-12% Si	—	—	11.29
Al-8% Si	—	—	7.15
Al-15% Si	—	—	14.47

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

0 0.01 0.1 1.0 (%)B

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ta

0 0.01 0.1 1.0 (%)Nb

0 0.01 0.1 1.0 (%)Zr

0 0.01 0.1 1.0 (%)W

0 0.01 0.1 1.0 (%)Mo

0 0.01 0.1 1.0 (%)V

Photo. 1 The effect of elements (Ti, B, Ta, Nb, Zr, W, Mo, V) on the grain refinement of 99.99% Al casting.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolute brick (room temp.)

鑄造条件はすべて第1報とまったく同じであるので省略する。また本実験においても冷却曲線はすべてペン書きオツシロによつて自記記録させたものである。試料のマクロ腐食液はそれぞれの合金にしたがつて次の3種類を使用した。

- (i) 高純度アルミニウム, Al-Mg 系合金に対しては
Conc. HCl...75 ml. Conc. HNO₃...25ml.
48% HF...5ml.
- (ii) Al-Cu 系合金に対しては
Flick's 氏液 (Conc. HCl...15ml. 48%HF...10ml.
H₂O...90 ml.) にて腐食後, Conc. HNO₃ にて
Etching Products を除去
- (iii) Al-Si 系合金に対しては
塩化第二銅水溶液 (CuCl₂...30g, H₂O...100ml.)
にて腐食後 Etching Products を Conc. HNO₃ にて除去

なお Al-Si 合金を除いて他の試料はすべて単一相にちかく、樹枝状品の測定は困難であつたため、この場合は測定しなかつた。

3. 実験結果

高純度アルミニウムに12種の元素を添加したもののうち、アルミニウムと包晶反応系を形成する元素の影響を示すと、**Photo. 1** のごとくであり、いずれも添加量の増加とともに結晶粒度が微細化している。また **Photo. 2** は共晶反応系を示す Be, Y, Li, Si を添加した場合の結果を示し、これら元素もまた微細化効果のあることがわか

る。以上高純度アルミニウムに対する12元素の効果は第1報における Al-Fe (0.5%) 合金に対する結果と同じ傾向を示すことがわかる。

つぎに **Photo. 3** (a) は Al-Mg 2% 合金に Ti, Ta, Zr および Be, Y を添加したもので、無添加の結晶粒度でも相当微細であるが、Ti, Ta, Zr のごとく、アルミニウムと包晶反応系を形成する元素の添加によつて、さらに微細化を示す。これに対してアルミニウムと共晶反応系を形成する Be, Y は、ほとんど影響がないか、あるいは逆に粗大化する場合もある。同図 (b) は Al-Mg 5% 合金に同様の元素を添加した場合で、その傾向はまったく (a) に同じである。**Photo. 4** (a) は Al-Mg 7% 合金に対する結果であるが、この場合も **Photo. 3** (a) (b) とまったく同じ傾向を示す。つぎに同図 (b) は Al-Cu (4%) 合金に対する効果を示すが、これも Al-Mg 系に対する結果とほぼ同じであることがわかる。最後に Al-Si 系に対する結果を示すと **Photo. 5** (a) のごとくであり、この場合は Ti, Zr とともに 0.1% までほとんど効果はないが、1.0% 添加することによつて急激に微細化している。Ta は最初から比較的效果を示すが、Be, Y は前同様ほとんど効果を示さないか、あるいは逆に粗大化している。ただ、Be 0.1% 添加したものでは急に微細になつてゐるが、この点についてはよくわからない。Al-Si (12%) 合金は共晶組成に属するので、Al-Mg 系、Al-Cu 系と同様亜共晶、あるいはまた過共晶に添加した場合はどうなるかを検討するために、Si 8% および 15% 合金に Ti のみ添加した結果が同図 (b) であつて、Al-Si 8% 合金

Photo. 2 The effect of elements (Be, Y, Li, Si) on the grain refinement of 99.99% Al casting.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

では Al-Mg, Al-Cu 系などと同様, ごく微量の Ti の添加でも微細化効果を示し, 添加量とともに効果が增大することがわかる。Al-15% Si 合金ではやはり 12% Si 同様 1.0% Ti の添加で始めて効果を示していることがわ

かる。つぎにこれらの粒度変化を実測し, 添加量に対して図示すると, まず, **Fig. 1 (a)** は 99.99% Al に 12 元素を添加した結果であり, 全般に微細化効果を示し, とくに Ti, Ta などの包晶反応系を形成する元素の効果が著る

(a)

(b)

Photo. 3 The effect of elements (Ti, Ta, Zr, Be, Y) on the grain size of Al-2% Mg [(a) side], Al-5% Mg [(b) side] alloy castings. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

しく、このことは第1報の Al-Fe(0.5%) 合金に対する結果とほぼ同様である。ただ Al-Fe(0.5%) 合金においてはその効果が一層顕著である。(b) は Al-Mg(2%) 合金の結果であり、包晶反応型の Ti, Ta, Zr は効果を示す

が、共晶反応型の Be, Y はほとんど効果がないといつてよい。

Fig. 2 (a)(b) はそれぞれ Al-Mg 5%, 7% に対する結果を示し、Al-Mg 2% 合金と同様の傾向を示す。**Fig. 3**

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ta

0 0.01 0.1 1.0 (%)Zr

0 0.01 0.1 1.0 (%)Be

0 0.01 0.1 1.0 (%)Y

(a)

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ta

0 0.01 0.1 1.0 (%)Zr

0 0.01 0.1 1.0 (%)Be

0 0.01 0.1 1.0 (%)Y

(b)

Photo. 4 The effect of elements (Ti, Ta, Zr, Be, Y) on the grain size of Al-7% Mg [(a) side], Al-4% Cu [(b) side] castings. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

(a) は Al-Cu (4%) 合金に対する 5 元素の影響を示す。この場合もまた Al-Mg 系合金に類似しているが、ただ Zr 0.01% 添加したものだけが異常に粗大化しており、その原因についてはよくわからない。(b) は Al-Si (12%)

合金に対する結果であるが、この場合は Ta のみ添加量とともに微細化しているが、ZrTi は 0.1% まではほとんど変化なく、1% になって急に微細化効果を示す。また Be 0.1% 添加したもので特に微細化しているが、その原因についてもよくわからない。Y はむしろ粗大化している。

最後に Al-Si (8, 12, 15%) に Ti のみを添加した結果を示すと、Fig. 4 のごとくであり、亜共晶の場合は Ti %とともに微細化するが、Al-Si 12, 15% では 0.1% まではほとんど変化なく、1.0% になって急に微細になっている。

つぎに冷却曲線の代表的なものを示すと、Fig. 5 は 99.99% Al に Ti を 0.001~1.0% 添加した場合の、それぞれの冷却曲線であつて、無添加の場合約 1.7°C の過冷度を示すが、Ti が添加されると過冷度が 0°C 近くまで減少し、0.5, 1.0% Ti になると包晶反応点と考えられるような温度で熱変化がみとめられる。Fig. 6 は Al-Mg 系のうち、Mg 2% 合金に対する冷却曲線であり、この場合は無添加で約 0.1, 0°C の過冷度を示すが、Ti が添加されると 0.5, 0.1, 0°C と減少する。Fig. 7 は Al-Cu

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ta

0 0.01 0.1 1.0 (%)Zr

0 0.01 0.1 1.0 (%)Be

0 0.01 0.1 1.0 (%)Y

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

0 0.01 0.1 1.0 (%)Ti

(a)

(b)

Photo. 5 (a) side; The effect of elements (Ti, Ta, Zr, Be, Y) on the grain size of Al-12% Si alloy. (b) side; The effect of adding Ti on the grain size of Al-Si (8, 12, 15%) alloy castings. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

(4%) 合金に対する冷却曲線であり、大部分が初晶 α であるが、ごくわずかに共晶変化が認められる。この場合も初晶の過冷度は無添加で 1.9°C を示すが、Ti が添加されると急速に減少し、0.1、1.0% ではほとんど過冷度がなくなる。共晶部の過冷度にも変化があるようであるが、この場合は組織の大部分は初晶でしめられるので、結晶粒度と関係するものは、むしろ初晶の過冷度であると考えられるので共晶の過冷度は考慮しなかつた。

つぎに Al-Si (12%) 合金に Ti を添加した場合の冷却曲線を示すと **Fig. 8** のごとくである。試料の組成は始めに示したように 11.29% Si で平衡状態図上の共晶組成は 11.6% Si であるので、この場合も初晶に α がまづ現われるが、その量は少なく、大部分が共晶凝固する。そして初晶の過冷度は顕著にあらわれるが、共晶の過冷度もまた図に示した ΔT_E のごとくあらわれる。しかしながら、この場合でも結晶粒度は、むしろ初晶の過冷度

Fig. 1 The effect of adding elements on the cast grain size of 99.99% Al (a), and Al-2% Mg alloy (b) Casting temp.; 750°C Mold; Isolute brick (room temp.)

Fig. 2 The effect of elements on the cast grain size of Al-5% Mg (a), and Al-7% Mg (b) alloys. Casting temp.; 750°C Mold; Isolute brick (room temp.)

Fig. 3 The effect of elements on the cast grain size of Al-4% Cu (a), and Al-12% Si (b) alloys. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 4 The effect of Ti on the cast grain degree size of Al-Si (8%, 12%, 15%) alloys. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 5 The effect of Ti on the undercooling degree obtained from the cooling curve of 99.99% Al. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 6 The effect of Ti on the undercooling degree obtained from the cooling curve of Al-2% Mg alloy.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 7 The effect of Ti on the undercooling degree obtained from the cooling curve of Al-Cu 4% alloy.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 8 The effect of Ti on the undercooling degree obtained from the cooling curve of Al-12% Si alloy.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

と関係があるらしく、Ti 0.1% までは 2.6~3.3°C の大きい値を示すが、結晶粒が微細化した 1.0% Ti の添加では初晶過冷度は 0.5°C と小さくなっている。しかも Ti 1.0% になると初晶晶出温度は急速に高くなり、初晶量の多くなっていることが示される。そこで今初晶 α の比較的多い Al-Si 8% の合金を溶製し、これに Ti を同様に添加した場合の冷却曲線を示すと **Fig.9** のごとくであり、初晶過冷度は Ti 添加量とともに順次小さくなり、結晶粒度もこれに対応して微細化していることは前に示したとおりである。一方共晶過冷度は Ti% とともに逆

Fig. 9 The effect of Ti on the undercooling degree obtained from the cooling curve of Al-Si 8% alloy.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 10 The effect of Ti on the undercooling degree obtained from the cooling curve of Al-15% Si alloy.
Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 11 Relationships between the average grain size and the undercooling degree of 99.99% Al, Al-Fe (0.5%), Al-Si (12%) Al-Cu (4%), and Al-Mg (2, 5, 7%) alloys. Casting temp.; 750°C Mold; Isolite brick (room temp.)

Fig. 12 Schematic phase diagram of Al-Ti alloy

Fig. 14 Schematic representation of scanning line by electron micro-analyzer on Al-Ti (0.1%) alloy cast substructure

A.C.V.; 30K.V.; H.V.; 80V, Scanning speed 0.1A°/min, Beam spot, 2μφ
Fig. 13 Qualitative analysis of centre substance (regard as nuclei substance) in Al-Ti (0.1%) substructure by micro-analyzer method.

A.C.V. : 30 kV
 H.V. : 80 V
 S.C. : 0.1 μ A
 Mode : Multiple profile
 Scan speed: 6.67 μ /min.
 Beam spot : 2 $\mu\phi$

Fig. 15 The distribution of Al and Ti concentration in the substructure of Al-Ti (0.1%) alloy by micro-analyzer.

にごくわずかずつであるが増大している。このことは特になにか意味があるのが、偶発的なものであるか、その理

由についてはよくわからない。そしてこの場合も Ti を 1.0% 添加すると急速に初晶晶出温度が上昇し、 α 領域が多くなっていることを示している。

最後に Al-Si 15%合金、すなわち、過共晶合金の冷却曲線を示すと **Fig. 10** のごとくであり、この場合は Ti 0.1% まで初晶に Si が晶出するが、Si が晶出するときは α の場合と異なり、すべて過冷却が起らない。そして共晶の過冷却度が一般に増大している。Ti 1.0% 添加されると初晶が α となり、その過冷却度も小さく、結晶粒度も微細である。

以上のような凝固様相から、たとえ初晶 α 量が少なくてもその過冷却度と結晶粒度が関係があるようであり、初晶に Si が晶出する過共晶合金の場合は Si の晶出時における過冷却度はまったく 0°C となり、この過冷却度は結晶粒度とも無関係のようである。そして Ti などの微細化元素は α 初晶の領域内においてのみ微細化効果を示し、初晶 α 量が多いほどその効果はいちじるしく、ごくわずか

(a)

($\times 52$)

(b)

($\times 105$)

(c)

($\times 105$)

Photo. 6 Microstructures of Al-Ti (0.1%) alloy.

Photo.7 Electron micrograph of nuclei substance.

な添加量でも微細化するが、 α 量が少なくなると多量添加しないと効果が認められない。

第1報においてはAl-Fe(0.5%)合金に対する微細化元素の添加による過冷度と結晶粒度の関係を示したが、本実験においても以上の結果から同様な関係のあることが予想されるので、今高純度アルミニウム、Al-Mg合金、Al-Cu合金、Al-Si合金ごとに初晶 α のみについて、その過冷度と結晶粒度の関係を図に示すと、Fig.11のごとくである。すなわち合金の種類によって、その関係係数が異なってくるが、いずれも微細化元素の添加により、その効果のいちじるしいものほど、初晶 α の過冷度が減少することがわかる。

ただ合金の種類によつて無添加試料の結晶粒度、あるいは過冷度が異なっているため、傾向は同じであつても、たとえば、高純度アルミニウム、Al-Fe(0.5%)合金では、わずかの過冷度の変化でも結晶粒度がいちじるしく変化するが、Al-Cu、Al-Mg合金ではその変化が少なく、Al-Si(12%)合金ではその中間程度の変化をする。このような相違はなお多数の合金試料についての結果を総合してみなければわからないが、平衡状態図を対照してみ、凝固温度範囲と関係があるようにも思われる。なお詳細は今後の研究結果をえた上で考察したい。

4. 微細化機構に関する実験的考察

第1報において微細化元素の添加により過冷度の減少することは、溶体中に核物質が存在するためであると考え、それら核物質となりうる化合物、あるいは単体金属を予想した。本研究においては高純度アルミニウムにTiを添加した試料の観察結果を中心として、その微細化機構を推察したいと思う。

まず高純度アルミニウムにTi 0.1%添加し、750℃よりイソライト鋳型に鋳造した試料の断面を電解研磨し、引続いて電解腐食した場合の顕微鏡組織を示すと、

Photo. 6 (a)(b)(c)のごとくである。同図(a)は低倍率で観察したものであるが、Tiを添加した試料に特有な花卉模様の下部組織が観察される。そして結晶粒と対照してみると、同図(b)あるいは(c)などに、この花模様の花卉が結晶粒界と交錯しているものもみられるが、おおむね1個の花模様が1個の結晶粒に相当することがわかる。したがつて、この花模様と微細化とが何か関連があるものと思われる。さて、(b)、(c)図からわかることは比較的形狀の整つた花模様の中心部には黒点状の異物が存在していることである。この花模様の中心に存在する異物質は顕微鏡面が、立体的にみたこの花模様の中点切断面と一致するときに観察され、そしてこれが溶融アルミニウムとの包晶反応によつて、その周囲のごく小領域にわたつて α_p (包晶反応によつてできた α を意味する)を形成する。 α_p が形成されると格子常数の関係などからその周囲に通常の α が凝固成長しやすくなる。かくして、 α_p についてTi濃度が高く、溶融点の高い α_1 がまず凝固し、続いて α_2 、 α_3 の順に凝固したものと予想される(Fig.12参照)。したがつてEborall¹⁾も指適しているように凝固直後はこの花模様を取囲んで結晶粒界が存在したのであるが、その後常温に冷却するまでに、不安定な粒界が安定状態を保つために、粒界移動を起し、(b)、(c)図のごとく花卉と粒界が交錯した様相を呈するものと思われる。またこのような下部組織はTiを添加した試料のみにあらわれるのではなく、微細化元素、たとえばTa、Nbなどを添加しても認められるが、その痕跡は弱く写真の上ではほとんど観察できない程度であつた。Tiの場合はアルミニウム中への拡散係数が小さいために十分拡散せず、このように明瞭にあらわれたものと思われる。かくのごとく、花模様の結晶を作りやすい物質が中心にあつて、これが核として作用し、その数が多いほど微細化に有効であると考えられる。またAl-Fe、Al-Cu、Al-Mg系合金にもTiを添加するとまったく同じような下部組織が観察されるので、その微細化過程については高純アルミニウムと同じように考えてよいと思われる。さて、このようにTiを添加した場合微細化される原因を予想することができるが、この中心物質がなんであるか、および花模様にそつたTi濃度の変化が、上の想像と一致するかということが問題である。電子顕微鏡で観察した結果はPhoto. 7のごとく、比較的結晶性の外観を呈することがわかる。そこで筆者らはこれら花模様のうち、比較的中心的物質の明瞭にあらわれている部分を選び、マイクロアナライザーによつて、その中心物質の定性分析を行なうと同時に、花卉周辺におけるTiおよびAlの濃度分布を検討した。まづFig. 13は2 $\mu\phi$ の電子線ビームを中心物質に照射し、定性分析を行なつた結果であつて、AlK α 、K β 、Ti K α 、K β のみが検出

されるが、他の元素はなんら認められない。ただ残念ながら現状では原子番号11以下に属する極軟波長の元素は検出することができないので、Tiと結合して核となつていてと考えられているC,あるいはNなどは存在しても検出することができない。つぎに花模様周辺について、6.67 μ /minの走査速度でFig. 14に示したような直線上にそつてTiおよびAlの濃度変化を検らべてみた結果がFig. 15である。

図より明かなように花卉内のB点ではTi濃度は相当高いが、花卉間の点Aではほとんど0になり、再び花卉内に入ると除々にTi濃度が増加し、中心物質に達すると急速にTi濃度が増大することがわかる。Alの濃度はTiと対照的にほぼ反対の濃度変化を示す。分析試料はAl-Ti二元合金であるから、A点におけるAlの濃度を100%と考えると、中心物質上でも約80%のAlが存在することになる。しかしながら、中心物質の下地にはAlが存在するので、照射する電子線の透過深さ、あるいは、また、素地Alに入射されたとして、これから発生するAlの特性線が外部に放射されるまでの吸収係数などを考慮しなければならない。したがつて80%のAl全体が中心物質を構成するAlの濃度であるとはいえないが、もしCibula²⁾などのいうごとく、中心物質がTiCであるならば、Alの濃度は0でなければならないのであるから、検出された80%Al全部が素地のAlから検出されたものであると考えることにも疑問がある。

したがつて中心物質内にはTiおよびAlの両者が共存すると考えるのが妥当であると思われるが、それがTiAlかあるいはまた、TiAl₃であるか今のところ解明できない。なお今後さらに詳細な結果を得たいと考えている。

5. 結 論

(i) Ti, B, Ta, Nb, Zr, V, W, Mo, および Y, Be, Li Siの12種の添加元素は、高純度アルミニウムの鑄造結晶粒度を微細化すると同時に、微細化効果のいちじるしいものほど凝固に際する過冷度を減少する。

(ii) Al-Mg (2, 5, 7%), Al-Cu(4%), Al-Si(8, 12, 15%)合金に上記12元素のうち、Ti, Ta, Zr, Be, Yの5元素を添加した結果、Alと包晶反応系を形成するTi, Ta, Zr, の3元素は微細化効果を示すが、Be, Yは効果がなかった。そしてこの場合もまた、初晶 α の過冷度と結晶粒度の関係は(i)項と同じ傾向を示す。

(iii) これらの微細化元素は、Al-Si系の合金に対する実験結果より、初晶がAlを主体とする α 固溶体である場合にのみ効果を示し、初晶 α 量が多いほどその効果は顕著であるように思われる。

(iv) 高純度アルミニウムにTiを添加した試料について、顕微鏡観察を行つた結果から、微細化機構に対する推論を行い、核物質と考えられる花模様の中心物質を、マイクロアナライザーによつて定性分析した結果、AlとTiが共存することがわかつたが、その組成についてはなお今後検討を要する。

終りに臨み本実験のマイクロアナライザー分析は島津製作所のご好意によるものであり、担当者若林忠男氏に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) M. D. Eborall: J. of Inst of Metals. Vol. 76 (1949) 295.
- 2) A. Cibula: J. of Inst of Metals. Vol. 76 (1949) 321.

×

×

×