

# 211 粗大結晶粒を有するAl-Cu合金の製作

埼玉大学大学院 ○小林 一夫  
工学部 加藤 寛 吉川 敬治

## 1 緒言

今日、材料組織の制御は重要な研究課題となっている。これまでに結晶粒の大きさや樹枝状晶枝間隔が温度勾配・成長速度・濃度などの鑄造条件によって変化することはよく知られている。しかし、種子基盤を用いて成長組織を制御し粗大化した結晶を製作することは行われていない。このことが容易に行われるならば、異方的でかつ粗大な結晶粒からなる鑄塊が製作され、ひいては溶質偏析を有する結晶の力学的挙動を解明していく上で有効な手段を与えるものと予想される。そこで、本研究では、方向性凝固させたAl-Cu合金の種子基盤上に同一成分の溶湯を注湯することにより、基盤の一部を再溶解させ、その後再凝固を行わせた。さらに、得られた鑄塊の柱状晶部から種子基盤を切出して同様の鑄造を繰返し行い、その工程で結晶粒が成長していく過程を観察した。また、粗大結晶粒について引張試験を行い、降伏強さに及ぼす樹枝状偏析の影響を調べた。

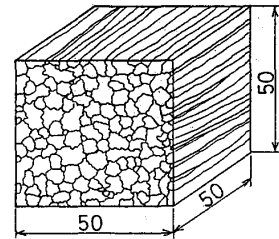
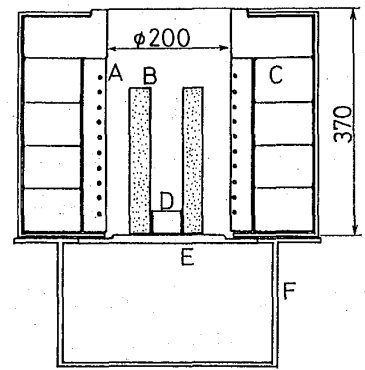


図1 種子基盤の形状寸法

## 2 実験方法

2.1 種子基盤 水冷銅盤上で方向性凝固させたAl-4質量%Cu合金鑄塊(砂型予熱温度1020K, 鑄込温度993K)の柱状晶部より種子基盤を切出す。種子基盤は一辺50mmの立方体とし、各稜を柱状晶成長方向に平行ならびに直角になるように切出した。その形状寸法を図1に示す。



A: 発熱体 B: CO<sub>2</sub>ガス型  
C: 断熱材 D: 成長基盤  
E: チル板 F: 支持台

図2 再溶解凝固装置

2.2 再溶解凝固実験 図2に再溶解凝固装置を示す。鑄型はCO<sub>2</sub>ガス型(内容積50×50×250mm)で底に種子基盤を配した。鑄型および基盤は装置中で基盤上面温度が903Kになるまで加熱し、基盤と同一成分の合金溶湯を鑄込温度993Kで注湯した。その後、電源を切り炉冷した。得られた鑄塊について2・3節で述べる組織観察を行った後、この再凝固組織の柱状晶部より図1に示す形状の種子基盤を切出し、同様の鑄造を繰返し行った。その工程で得られた鑄塊はそれぞれ区別するために、種子基盤の利用回数nを取りn次鑄

1次鑄塊 2次鑄塊→3次へ

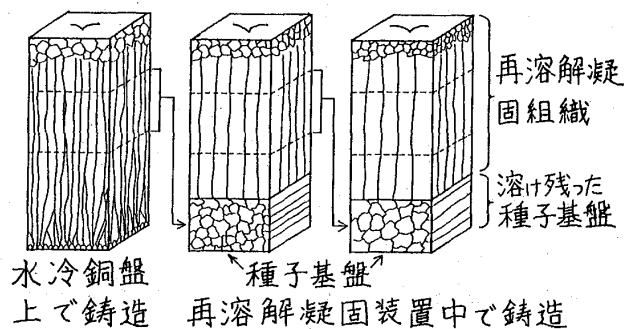


図3 再溶解凝固の実験手順

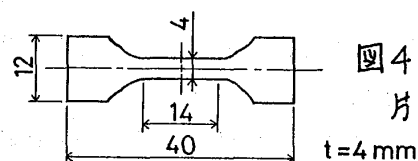


図4 引張試験片の形状寸法

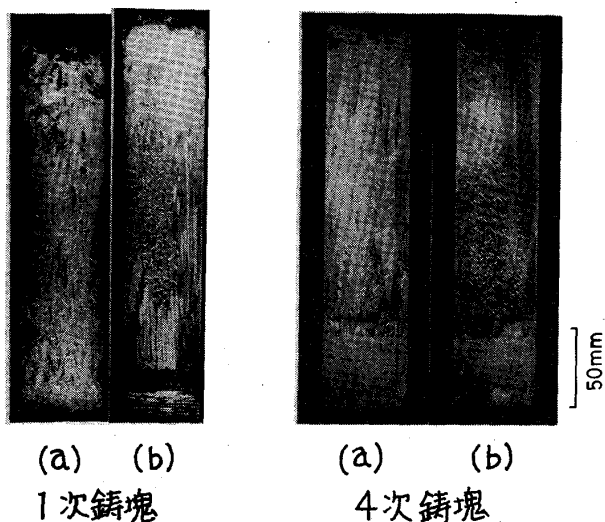


図5 再溶解凝固鑄塊の縦断面組織

塊と呼ぶこととする(図3)。なお、本実験では4次鑄塊まで製作した。

2.3 組織観察 再溶解凝固して得られた鑄塊の側面を4面とも研磨・腐食して、種子基盤が一樣な深さに溶解していることを確認した後、溶出し位置から高さ30, 60, 90, 120, 150 mmの位置で横断面を顕微鏡撮影し、結晶粒配向、平均結晶粒径、柱状晶枝間隔を測定した。

2.4 引張試験 結晶粒の粗大化した鑄塊の柱状晶成長方向に対し垂直な面内から試験片を切出し、図4に示す形状寸法に成形した。その際、試験片平行部内に同一の成長方向をもつ柱状晶二次枝だけが存在するようにした。また、種子基盤中の柱状晶成長方向と平行に成長している二次枝と引張軸とのなす角 $\phi$ を0 rad から $\pi/4$  rad まで $\pi/12$  rad ごとに変化させた。さらに、この鑄塊試料に以下の条件で熱処理を施し、組織を均質化したものについても行った。溶体化処理(813K, 252ksec)→水冷→時効処理(463K, 90ksec)

### 3 結果および考察

3.1 再溶解凝固組織 図5に再溶解凝固させた1次および4次鑄塊の縦断面組織を示す。ここで、(a)は基盤の成長方向に対し垂直面、(b)は平行面である。種子基盤は表面からほぼ一樣な深さで再溶解し、溶残った基盤組織が鑄塊底部に観察された。また、再溶解凝固した組織は柱状晶を形成し、溶出し面からほぼ垂直に整列して成長した。次に、4次鑄塊の溶出し位置から30 mm 上方における横断面組織を図6に示す。ここで、(a)は横断面全体の組織、(b)はその面内の柱状晶組織である。二次枝がほぼ一定の方向に成長している

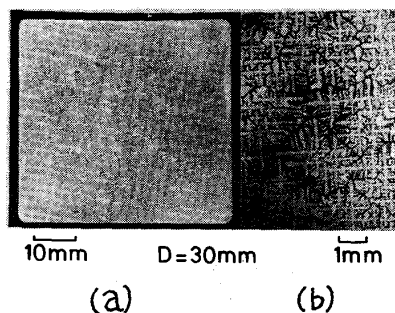


図6 4次鑄塊の横断面組織

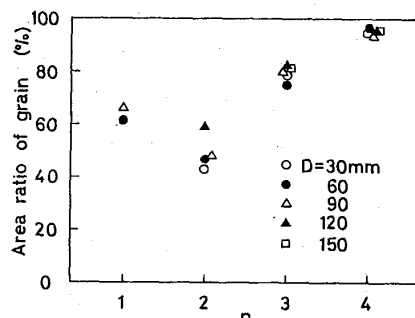


図7 鑄塊次数と結晶粒配向との関係

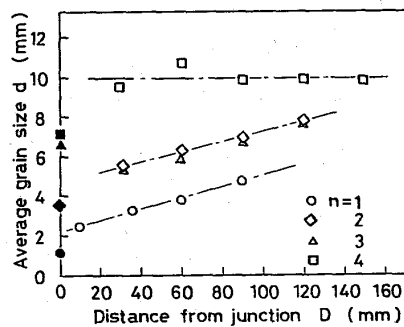


図8 平均結晶粒径の溶出し位置からの高さ変化

ことが観察される。

3.2 結晶粒配向 結晶粒配向は種子基盤内の柱状晶成長方向を基準とし、これと柱状晶に垂直な断面内の二次枝成長方向とのなす角 $\alpha$ で定義した。各鑄塊の結晶粒配向はいずれも各高さ断面で種子基盤の成長方向に近い角度に集中した。図7は結晶粒配向が $-\pi/36$  radから $\pi/36$  radまでの範囲内にある結晶粒の面積率を各鑄塊ごとに示している。このことから、結晶粒配向が規則化された種子基盤を用いることで凝固組織の二次枝成長方向がさらに規則化されることがわかる。

3.3 平均結晶粒径 図8は各鑄塊について種子基盤の溶出し位置から測定面までの高さDとその断面内に存在する柱状晶の平均結晶粒径との関係を示している。また、縦軸上に種子基盤の平均結晶粒径を示した。再凝固組織の平均結晶粒径は基盤内の平均粒径よりも大きくなった。

3.4 樹枝状晶枝間隔 1次鑄塊の溶出し位置における二方向の縦断面組織を図9に示す。ここで(a)は垂直面、(b)は平行面である。樹枝状晶組織に注目すると、再溶解凝固組織中の一次枝は基盤中の二次枝から継続して成長していることがわかる。そこで、基盤中の枝間隔 $\Lambda_1$ と再凝固組織中の一次枝間隔 $\lambda_1^v$ との関係を図10に示す。ただし、一次枝間隔 $\lambda_1^v$ および $\lambda_1^p$ は溶出し位置より高さ30mm上方の横断面で測定した値である。(a)は $\Lambda_1$ と $\lambda_1^v$ との関係を示している。2次以降の鑄塊では、一次枝は基盤中の一次枝間隔 $\Lambda_1$ に無関係にほぼ一定の間隔 $\lambda_1^v \approx 0.8$  mmで成長し、1次鑄塊の場合と異った値を示した。次に、 $\Lambda_2$ と $\lambda_1^p$ との関係を図(b)に示す。二次枝間隔 $\Lambda_2$ は鑄塊次数にかかわらず0.2 mm前後に限られ、ここから成長する一次枝間隔はほぼ0.8 mmであった。

3.5 降伏強さ 0.2%耐力と偏角 $\phi$ との関係を図11に示す。降伏応力は未処理材・熱処理材ともに同様の傾向で変化した。しかし、その値は熱処理したものが小さくなった。また、結晶に一樣な応力が生じるとしてSchmid則を適用し、降伏強さを算出した。ただし、ここでは結晶方位による弾性異方性のみを考慮した。その結果を図11に示す。組織を均質化した場合、実測値はほぼ計算結果と一致した。一方、未処理材では両者に隔りがあった。これは結晶中に存在する溶質偏析の影響によるものと考えられる。

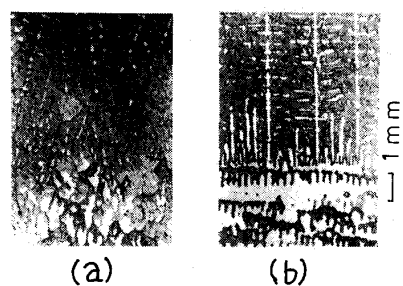


図9 溶出し位置の樹枝状晶組織

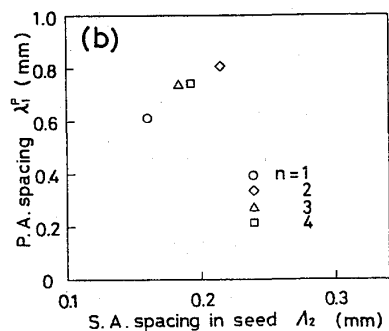
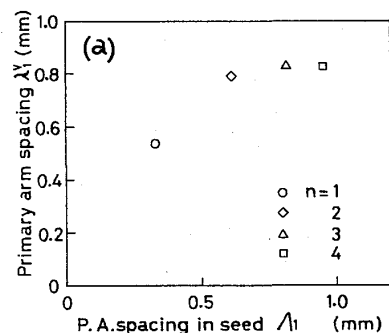


図10 種子基盤の樹枝状晶枝間隔と再凝固組織の一次枝間隔との関係

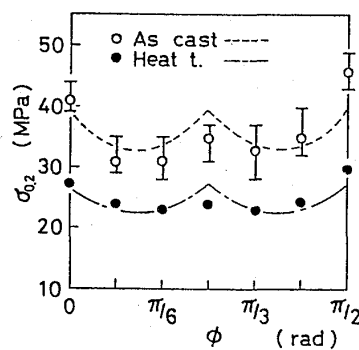


図11 降伏強さの偏角 $\phi$ による変化