

埼玉大学工学部 学 〇阿部 千幹
正 加藤 寛
正 吉川 敬治

1 緒言

近年、機械構造用部材の製造工程において非破壊的な欠陥検査に対する要求が高まってきている。なかでも、鉄鋼材料やその鋳塊における非破壊検査の報告は数多くなされ、実用化されてきている。これに対し、銅、アルミなどの非鉄金属材料やその鋳塊についての報告はほとんど見られない。一方、測定装置の発達にともない超音波を用いた非破壊検査を材質へ適用することが可能になってきている。

本研究では、一方向凝固させて得たAl-4wt% Cu合金鋳塊中の組織を超音波によって推定することを目的とし、超音波試験により得られた減衰率及び音速と鋳塊の組織観察より得られた結晶粒径及び主軸間隔との関係を調べた。また、均質化処理した材料の減衰率及び音速を調べ、鋳造材中に存在する共晶及び溶質偏析が超音波特性にどのような影響を与えるかを調べた。

2 実験方法

2.1 試験片の製作

99.9%純AlおよびAl-50wt% Cu母合金よりAl-4wt% Cu合金注湯を得た。これを、水冷銅板上にのせた砂型(予熱温度、約1020K)に約940Kで注湯し、一方向凝固させた。これにより、柱状晶が十分に成長した鋳塊を得た。次いで、図1に示すように鋳塊から柱状晶成長方向に対し平行と

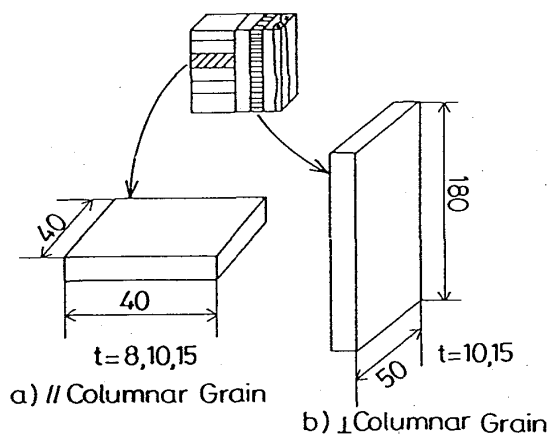


図1. 超音波試験用試験片寸法図

垂直に超音波用試験片を切り出した。同時に、組織観察用試験片を切り出した。以下、超音波の測定方向が柱状晶成長方向に対して垂直な試験片を垂直試験片、平行な試験片を平行試験片と呼ぶ。各超音波用試験片の寸法を図1に示す。なお、柱状晶が鋳塊上端まで成長しているかを確認し、チル層及び等軸晶部分を避けて試験片を切り出した。

2.2 組織観察

組織観察用試験片を鋳塊の各位置より切り出し、エメリー及びバフ研磨を施した後にエッチングし、結晶粒径及び主軸間隔を調べた。

2.3 熱処理

超音波測定には鋳放し材と溶体化処理を行った材料を供した。溶体化処理は、できるだけ均一に固溶させるため高温(813K)で長時間(72時間)を行った。本条件によれば、材料内はほぼ均一になり結晶粒の粗大化も少ないことが確かめられている[2]。

2.4 超音波試験

図2に超音波測定システムを示す。また、超音波試験における測定条件を表1に示す。減衰率および音速は以下のように測定した。すなわち、第一反射エコー(B1)および第二反射エコー(B2)の高さを測定し、(1)式に代入することにより、減衰率を求めた。

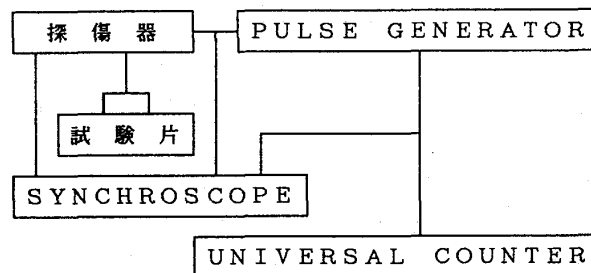


図2. 超音波測定システム

表1. 超音波測定条件

検査法	一探触子垂直パルス法
接触媒質	マシン油
接触圧力	24.5 KPa
探触子直径	10 mm
周波数	5 MHz

$$\alpha = \frac{1}{2t} \left(\frac{B_1}{B_2} + X \right) \dots (1)$$

ここで、Xは音場補正值、tは板厚である。また、音速測定はパルスエコーオーバーラップ法[1]で行なった。つまり、超音波探傷器より得られたエコーとパルス発生器で発生させたパルスをシンクロスコープ上で同期させ、エコー間の所要時間をパルスカウンターで測定した。所要時間および板厚より音速を求めた。

3 実験結果及び考察

3.1 超音波因子の高さによる変化

図3に鋳塊下端からの高さで減衰率の関係、図4に高さで音速の関係を示す。図3により、超音波の伝播方向によらず高さに従って減衰率は大きくなることわかる。熱処理後でも同様の傾向を示した。また、超音波の伝播方向が柱状晶に垂直な場合は熱処理に伴う減衰率の変化は認められなかったが、平行な場合は熱処理後に減衰率が全体に小さくなった。これは超音波の散乱源として存在していた共晶及び溶質偏析が熱処理により均一に固溶されたためと思われる。一般に多結晶金属の場合、超音波の減衰の原因は粒界での散乱による場合が多い。本研究においても粒界散乱が減衰の主たる原因と考えられるが、超音波が柱状晶に平行に伝播する場合は結晶粒内の溶質偏析による散乱もある程度、減衰に寄与するものと思われる。

垂直試験片において高さが60mm以下の時、減衰率が逆の高さ依存性を示した。現在、この点に関して原因は明らかでない。

音速は鋳塊下端からの高さが高くなるにつれ減少傾向を示しているが、これは、測定の誤差であると考えられる。すなわち、シンクロスコープ上でパルスを同期させる時、高さが高くなるにつれて反射エコーが弱まりエコーの立ち上がりが遅れて来るため、パルスをやや長めに同期させたためと思われる。なお、熱処理に伴う音速の顕著な変化は認められなかった。

3.2 金属組織の高さによる変化

図5に鋳塊下端からの高さで結晶粒径の関係を示す。この図より、高さが高くなるにつれて結晶粒径が大きくなっているのがわかる。また、図6より主軸間隔についても同様の関係が成立することがわかる。

以上の事より、減衰率に対して結晶粒径及び主軸間隔が影響を与えているのではないかと予想される。

3.3 減衰率と金属組織との関係

図7に結晶粒径と減衰率、図8に主軸間隔と減衰率の関係を示す。これらの図より、結晶粒径や主軸間隔が大きくなると減衰率が増加するのが分かる。

等軸晶を有する多結晶金属材料において、散乱減衰

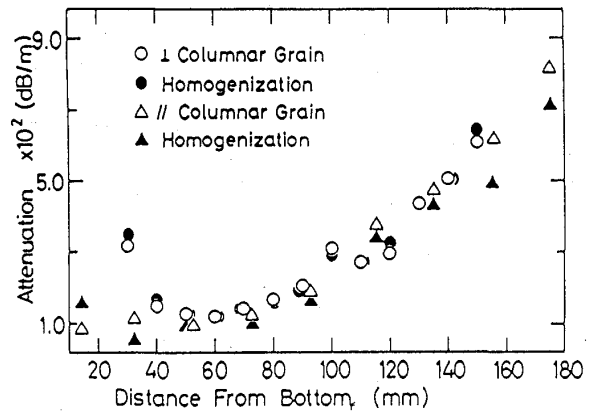


図3. 鋳塊下端からの高さで減衰率との関係

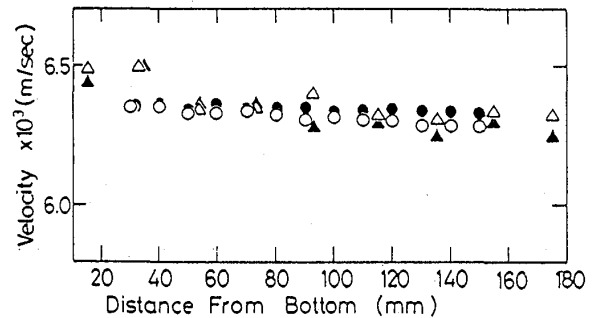


図4. 鋳塊下端からの高さで音速との関係

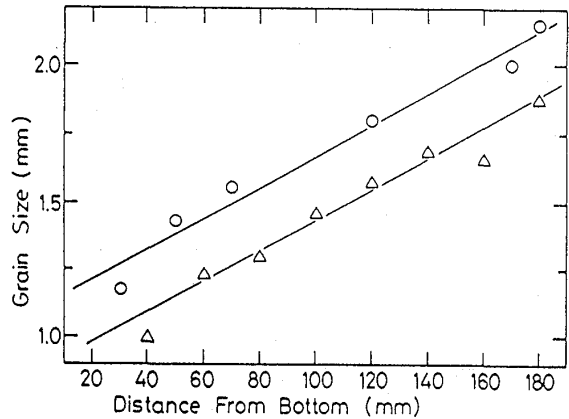


図5. 鋳塊下端からの高さで結晶粒径との関係

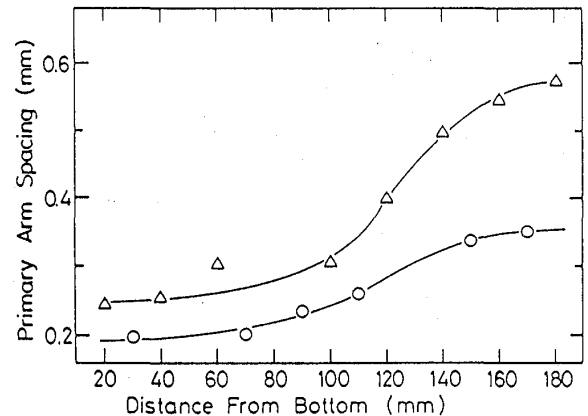


図6. 鋳塊下端からの高さで主軸間隔との関係

率が結晶粒径のn乗に比例することが理論的に導かれている[3]。Mason[4]，Bhatia[5]によれば、散乱減衰率 α 、結晶粒径D、波長 λ 、散乱因子H及び音速Cの関係は

Mason

$$\alpha_1 D = \frac{H}{3} \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right) \quad \dots \quad D/\lambda < \frac{1}{3}$$

Bhatia

$$\alpha_1 D = \frac{H}{15} \left[1 + \frac{3}{2} \left(\frac{C_1}{C_s} \right)^5 \right] \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^4$$

$$\dots \quad D/\lambda < 1$$

となり、減衰率は結晶粒径の3乗に比例する。ここで、添字lは縦波、sは横波である。そこで、

$$\alpha = A + B \cdot D^3$$

を仮定して最小自乗近似することにより、以下の近似式を得た。

⊥Columnar Grain

$$\alpha = (1.26 D^3 - 0.76) \times 10^2 \quad \dots \quad (2)$$

Homogenization

$$\alpha = (1.07 D^3 - 0.75) \times 10^2 \quad \dots \quad (3)$$

//Columnar Grain

$$\alpha = (1.05 D^3 - 2.24) \times 10^2 \quad \dots \quad (4)$$

Homogenization

$$\alpha = (1.11 D^3 - 2.47) \times 10^2 \quad \dots \quad (5)$$

4 結言

一方向凝固の結果柱状晶組織よりなるAl-4wt%Cu合金鑄塊の組織と超音波の減衰率と音速との関係について調べ、以下の結果を得た。

- 1) 結晶粒径に従って増加する。両者の関係は式(2) - (5)で与えられる。
- 2) 音速は組織及び熱処理に影響されない。
- 3) 異相として存在する共晶及び偏析は減衰率に大きな影響を与える。

5 参考文献

- [1] 根岸、高木：超音波技術、p.109(1984) 東京大学出版会
- [2] 山口、加藤、吉川：柱状晶組織を有するAl-Cu合金の弾性係数に及ぼす溶質量および熱処理の影響、材料、30,352,p.94(1983).

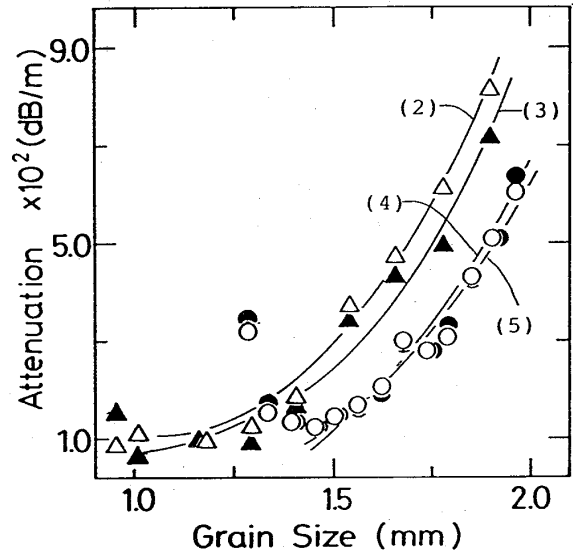


図7. 結晶粒径と減衰率との関係

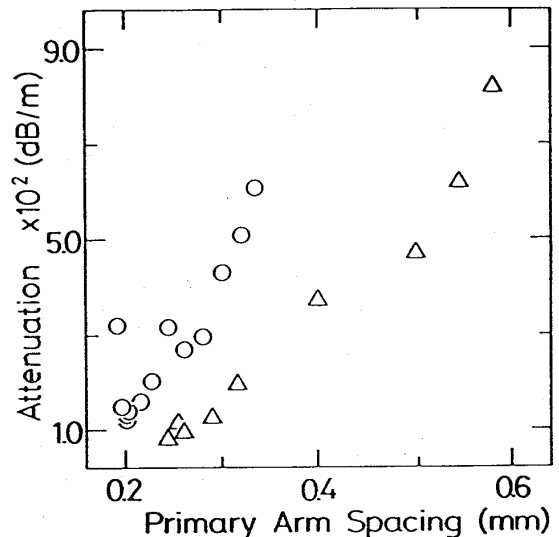


図8. 主軸間隔と減衰率との関係

- [3] 学振編：超音波探傷法、p.722(1974), 日刊工業新聞社
- [4] Mason, W.P. and McSkimin, H.J.: Energy losses of sound waves in metallic due to scattering and diffusion, J.App.Phys, 19(1948), p.940-946
- [5] Bhatia, A.B.: Scattering of high frequency sound waves in polycrystalline materials, J.Acoust.Soc.Am, 31(1959), p.16-23.