- (9) 依田連平, 佐藤有一, 真下美佐男, 山内 勘: 日本金属学会誌, **34** (1970), 526.
 (10) 平 修二編: 金属材料の高温強度, 養賢堂, (1968), 37.
 (11) P.N.Randall: Proc. ASTM, **60** (1960), 885.
 (12) C.E.Birchenall and R.E.Mehl: Trans.AIME, **188** (1950), 144.
 (13) 松島成夫: 材料, **15** (1966), 37.
 (14) 松島成夫: 材料, **11** (1967), 89; 機械学会論文集, **33** (1967), 327.
 (15) T.Yamashita and Y.Taneda: Jap. J. Appl. Phys., **2** (1963), 266.
 (16) 松島成夫: 日本金属学会誌, **42** (1978), 75.
 (17) たとえば, (10) の p.11; F.Garofalo (足立訳): 金属クリープの基礎, 丸善, (1968), 50.

黒鉛分散AlおよびCu 鑄造合金の減衰能*

大 貫 仁** 添 野 浩** 諏 訪 正 輝**

Jin Onuki, Kô Soeno and Masateru Suwa: Damping Capacity of Graphite-dispersed Al and Cu Casting Alloys. Al and Cu casting alloys were produced with variations in quantity (0~24 vol%) and size (177~900 μm) of graphite particles and in matrix composition in order to determine their effect on the damping capacity. The damping capacity Q^{-1} of graphite-dispersed Al and Cu casting alloys has been investigated in transverse vibration in the temperature range from room temperature to 150°C. The results obtained are as follows. (1) The damping capacity Q^{-1} of graphite-dispersed Al and Cu casting alloys increases with increasing graphite content and this is independent of matrix composition. (2) Al casting alloy containing 23 vol% graphite and Cu casting alloy containing 16 vol% graphite exhibits damping capacity Q^{-1} of 6×10^{-3} and 4×10^{-3} , respectively. (3) The damping capacity Q^{-1} of Al and Cu casting alloys depends on the graphite size and increases as the graphite size increases. (4) The temperature dependence of the damping capacity Q^{-1} in graphite-dispersed Al and Cu casting alloys is small.

(Received April 7, 1979)

I. 緒 言

構造物あるいは機械の振動を減衰能の高い材料を用いて防止しようという試みがなされている。従来から知られている減衰能の高い合金には (1) Mn-Cu 系合金⁽¹⁾⁽²⁾, Cu-Al-Ni 系合金⁽³⁾, Ti-Ni 合金⁽⁴⁾, (2) 12%Cr 鋼⁽⁵⁾, (3) 片状黒鉛鋳鉄^{(6)~(11)}, Al-Zn 合金⁽¹²⁾, (4) Mg-Zr 合金⁽¹³⁾ Mg-Mg₂Ni 合金⁽¹⁴⁾ 等があり, 減衰機構から (1) は双晶型, (2) は強磁性型, (3) は複合型, (4) は転位型と呼ばれている⁽¹⁵⁾。強磁性型に属する減衰能の高い合金として, 最近増本らは Fe-Mo 系合金⁽¹⁶⁾ および Fe-Co 系合金⁽¹⁷⁾ を見出した。また上記のいずれにも属さないが, ステンレス鋼に粒界腐食を施した高減衰能合金⁽¹⁸⁾ も見出されている。さらに Al 合金中に黒鉛を体積比で 4% 程度分散させた鑄造合金も, 減衰能がかなり高いと報告されている⁽¹⁹⁾。

一方, 著者らは黒鉛を体積比で 20% 程度分散させた Al および Cu 鑄造合金が乾式摩擦下において優れた耐摩耗性を示すことを既に報告したが^{(20)~(22)}, これらの合金も高い減衰能を示すことが期待される。減衰能が高ければ耐摩耗性を必要とするような騒音, 振動源の部材として有効であると考え, 黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の減衰能に

ついて調べ, 既知高減衰能合金の減衰能と比較, 検討したのでその結果を報告する。

II. 実験方法

1. 試料の作製方法

用いた黒鉛は 15~24 (粒径 710~900 μm), 24~32 (500~710 μm), 32~60 (250~500 μm), 60~80 (177~250 μm) メッシュに分粒した天然黒鉛破砕粉である。形状は **Photo. 1** に示すように角ばっており, へき開面も認められ, 鱗状黒鉛よりも厚みがあることが特徴である。これらの黒鉛に無電解メッキ法で前報同様 Cu⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ あるいは Ni を被覆したが, 前者は Cu 合金, 後者は Al 合金への黒鉛の分散を容易にするために行った。さらにメッキした黒鉛を Cu および Al 合金溶湯中にそれぞれ体積比で 0~20% となるように添加し, 61.7 MPa で加圧しつつ高圧鑄造凝固させ 30×50×150 (mm) の鋳塊を作製した。Cu および Al 合金の組成としては黒鉛を分散したときの耐摩耗性が特に優れている Cu-5%Sn-5%Zn-4%Pb-0.8Ti 合金⁽²¹⁾⁽²²⁾, Al-12%Si-3%Cu-0.3%Mg 合金⁽²⁰⁾ を選んだ。なお Al 合金の場合, 黒鉛添加時に黒鉛粒子表面の Ni が溶出して合金化され,

** 株式会社日立製作所日立研究所 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd., Hitachi)

* 1978 年 4 月日本金属学会東京大会に発表

黒鉛添加量が体積比で20%の場合 Al 合金中の Ni 含有量が約4.7%になる。Photo.2 にこれらの合金中に粒径24~32 メッシュの黒鉛を体積比で16~20% 分散した後の組

Photo.1 Appearance of graphite.
(b) : magnification of encircled region of (a).

Photo.2 Microstructure of graphite-dispersed Al and Cu casting alloys.

(a) Al-4.7%Ni-12%Si-3%Cu-0.3%Mg-20 vol% C.
(b) Cu-5%Sn-5%Zn-4%Pb-0.8%Ti-16 vol% C.

織を示す。黒鉛はいずれも端部は角ばっており、鑄塊中に分散後もその形状は保持されている。また減衰能に及ぼす合金組成の影響を調べる目的で Cu-27.5%Mn, Cu-5%Sn-5%Zn-0.8%Ti, Al, Al-12%Si 合金中にも同様に黒鉛を分散した鑄塊を作製した。次に黒鉛を分散した鑄塊から $5 \times 2 \times 120$ (mm) の減衰能測定用の試料を切り出したが、切削歪を除去するために $300 \sim 400^\circ\text{C}$ の温度で1h 加熱し空冷した。減衰能測定用試料中の黒鉛量はリニアルアナリシス⁽²³⁾によりその量を確認した。なお減衰能の高い合金としては同様な形状に加工した 65%Mn-35%Cu 鑄造合金および片状黒鉛鑄鉄 FC10, FC25 を選んだ。

2. 装置と測定方法

減衰能測定用横振動装置の概略を Fig.1 に示す。回路は試料の共振周波数で発振する自励発振方式で、試料の駆動、ピックアップとも静電方式で行った。スタート、ストップ回路の信号で励振を止め、検出回路からの出力を波高検出器に入れ、振幅が最初の振幅の $\exp(-\pi/5)$ なる値に減衰するまでの波数を数えて内部摩擦 $Q^{-1} (= \delta/\pi)$ を求めた。ここで δ は対数減衰率である。 $5 \times 2 \times 120$ (mm) の試料を振動の節に相当する部分で $\phi 0.15$ mm の焼鈍した Ni 線で吊り、さらに同一寸法の試料に熱電対を点溶接したものをつなげておき、この温度を Q^{-1} 測定用試料の温度とした。また試料全体の温度不均一をできるだけ少なくするために常温から 150°C まで約 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ で昇温した。なお測定槽内は 10^{-3} mmHg に排気してあり、測定の際試料表面に発生する最大歪は 10^{-6} のオーダーである。

A : Driving electrode, B : Pick-up electrode, C : Specimen for measuring Q^{-1} , D : Specimen for measuring temperature, E : Thermocouples
Fig.1 Block diagram of apparatus.

III. 実験結果および検討

1. 黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の減衰能

Fig.2 は Ni メッキした粒径 24~32 メッシュの黒鉛を Al, Al-12%Si および Al-12%Si-3%Cu-0.3%Mg 合金溶

Fig.2 Effect of graphite on the damping capacity of Al casting alloys.

湯に添加して铸造した試料の Q^{-1} に及ぼす黒鉛量の影響を示す。ここで Ni 量は黒鉛の添加量によって変動しないよう黒鉛の添加量が少ない場合には、あらかじめ Ni を溶湯中に添加しておき補充した。なお黒鉛量が 20 vol% 以上になっている場合があるのは黒鉛が鑄塊中に完全に均一には分散してないため、一方 Ni は Al 合金中に溶出しているため合金中の Ni 量としては一定である。いずれの合金においても黒鉛を添加しないときには Q^{-1} が約 4×10^{-4} と低い。しかし黒鉛量が増加するにつれて Q^{-1} はほぼ直線的に増加し、20 vol% 以上の黒鉛量が約 5×10^{-3} 以上の値になる。また Q^{-1} は黒鉛量が同じであれば、基質の合金組成が異ってもほぼ同じ値を示すことがわかる。

Fig.3 は Cu メッキした 24~32 メッシュの黒鉛を Cu-27.5%Mn, Cu-5%Sn-5%Zn-0.8%Ti および Cu-5%Sn-

Fig.3 Effect of graphite on the damping capacity of Cu casting alloys.

5%Zn-4%Pb-0.8%Ti 合金に分散させた鑄造試料の Q^{-1} と黒鉛量との関係である。Pb を含む Cu 合金では、Pb それ自体の Q^{-1} が高い⁽¹⁵⁾ため全体としての Q^{-1} が他の合金より多少高くなる傾向にあるが、しかしいずれの場合も Q^{-1} は黒鉛量とともに直線的に増加し、黒鉛を分散した基質の合金組成にはあまり影響されない。また黒鉛を 16 vol% 分散した Cu 合金の Q^{-1} はほぼ 4×10^{-3} となる。さらに Cu 合金と Al 合金の Q^{-1} を同じ黒鉛量で比較してもほぼ同等であることがわかる。以上の結果からこれらの合金の高い Q^{-1} は主として黒鉛が存在することによって得られ、黒鉛を分散する基質の種類および基質の合金組成の影響は少ないと言える。さて減衰機構から言えば本合金と同じ複合型に属する片状黒鉛鑄鉄は、黒鉛が大きいくほど Q^{-1} が高くなると報告⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾されている。そこで粒径の影響について検討した結果を Fig.4 に示す。試料としては粒径の異なる黒鉛を 20 vol% 分散させた Al-4.7%Ni-12%Si-3%Cu-0.3%Mg 合金および 16 vol% 分散させた Cu-5%Sn-5%Zn-4%Pb-0.8%Ti 合金を用いた。いずれの合金の場合も黒鉛粒径が大きくなるにつれて Q^{-1} は高くなる。また黒鉛粒径は耐摩耗性にも影響し、黒鉛粒径を大きくすると耐摩耗性も改善される⁽²²⁾。

Fig.4 Graphite size dependence of damping capacity of graphite-dispersed Al and Cu casting alloys.

以上述べたように黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の Q^{-1} は黒鉛量および大きさによって変化し、基質の種類や基質の合金組成にはあまり影響されない。これは本合金の Q^{-1} が既に提案されたいわゆる複合型の高減衰材料の減衰機構である基質と第 2 相との界面での摩擦⁽¹⁵⁾⁽¹⁹⁾あるいは第 2 相の変形に基づくエネルギーの吸収⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽¹⁹⁾のうち、主として後者に依存していることを示唆していると考えられる。もし前者であるとすれば、 Q^{-1} は内在する黒鉛の表面積および基質の影響を強くうけるので黒鉛の表面積が大きいほど、すなわち同じ体積であれば粒径の小さいほど高

くなり、また基質の種類や合金組成によりかなり変化しなければならぬからである。

次に Q^{-1} の温度依存性について検討した結果を述べる。

Fig.5 は黒鉛を 9~23 vol% 分散させた Al 合金の Q^{-1} の温度変化を示す。**Fig.6** は黒鉛を 5~18 vol% 分散させた Cu 合金の Q^{-1} の温度変化を示す。上記した本合金の減衰機構からも予想されるように、この温度範囲ではいずれの場合も Q^{-1} の温度による変化は少ない。

Fig.5 Temperature dependence of damping capacity of graphite-dispersed Al casting alloys.

Fig.6 Temperature dependence of damping capacity of graphite-dispersed Cu casting alloys.

2. 既知高減衰能合金の減衰能

黒鉛分散铸造 Al および Cu 合金の Q^{-1} を既知高減衰能合金と比較するため、同じ装置を用いて Mn-Cu 合金および片状黒鉛鑄鉄 FC10, FC25 などの Q^{-1} を測定した。

Fig.7 は 65%Mn-35%Cu (wt%) 合金を 850°C にて 2 h 加熱保持後水冷し、400°C にて時効したときの時効時間と Q^{-1} との関係および Q^{-1} の温度変化を示す。ここで温度依存性測定は Q^{-1} の最高値が得られる条件で時効した試料について行った。2 h の時効により Q^{-1} は約 14.5×10^{-3} という高い値になった。しかしこの合金系では既に報告⁽¹⁾⁽²⁾されているように、昇温とともに Q^{-1} は急激に減少する。

次に片状黒鉛鑄鉄 FC10 および FC25 を 950°C にて 2 h 加熱保持後空冷し、さらに 710°C に 3 h 保持後、除冷するという熱処理を施して基質をフェライト化した試料の Q^{-1} を測定した。**Photo.3** に熱処理後における FC10 および 25 の組織を示す。FC10 および FC25 の黒鉛含有量

Fig.7 Effect of aging time on damping capacity in Mn-Cu alloy and temperature-dependence of damping capacity in Mn-Cu alloy aged for 2 h at 400°C

Photo.3 Microstructure of flaky graphite cast irons. (a) FC 25, (b) FC 10.

はそれぞれ約 13 vol% および約 6 vol% である。また FC 10 の基質はほぼ完全にフェライト化されていたが、FC25 の場合には面積比で約 20% 程度のパーライトが認められた。

Fig.8 は上記試料の Q^{-1} の温度変化を示す。室温付近での FC 10 の Q^{-1} (4×10^{-3}) は FC 25 の Q^{-1} (1.5×10^{-3}) に比較して高いが、これは前者では後者に比較して黒鉛が大きく、しかも量が多いこと (Photo.3) および基質がフェライト化しており磁気 - 機械的損失⁽⁶⁾⁽²⁴⁾の寄与が大きいこと

Fig.8 Temperature dependence of damping capacity of flaky graphite cast iron (FC10, FC25.)

によるものであろう。しかし、いずれの場合も Q^{-1} は黒鉛を 16~20 vol% 分散させた Al および Cu 合金の Q^{-1} より低い。また Q^{-1} は温度が高くなっても黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の場合と同様低下しない。なお同じ体積比で片状黒鉛鑄鉄と黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の Q^{-1} とを比較した場合、FC25 では約 0.2×10^{-3} 、FC10 では約 1×10^{-3} だけ黒鉛分散合金よりも高い。これは組成のほぼ同じ鑄鉄において黒鉛の形状が片状から球状に変化すると Q^{-1} がかなり小さくなる⁽⁸⁾⁽⁹⁾ ことから推定されるように、FC10 および FC25 の場合には黒鉛が片状であるのに対し、黒鉛分散合金では黒鉛の形状が片状というよりはむしろ塊状に近い (Photo.1) ことおよび FC10 においては基質の磁気 - 機械的損失⁽⁶⁾⁽²⁴⁾ の寄与があるためと考えられる。

IV. 結 言

Ni メッキおよび Cu メッキした天然黒鉛粉末をそれぞれ Al および Cu 合金溶湯中に投入添加して作製した鑄造合金ならびに Mn-Cu 合金および片状黒鉛鑄鉄 FC10, FC25 の減衰能 Q^{-1} を自動発振方式の静電型の横振動装置を用いて室温から 150°C の温度範囲で測定し、以下の結論を得た。

(1) 黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の Q^{-1} は黒鉛量とともにほぼ直線的に高くなる。また黒鉛を分散する基質の種類および合金組成の影響は少ない。

(2) 黒鉛を 16 vol% 分散させた Cu 合金および 23% 分散させた Al 合金の Q^{-1} はそれぞれ約 4×10^{-3} 、 6×10^{-3} である。なお比較のために測定した高減衰能合金 65%Mn-

35%Cu 合金の Q^{-1} は室温で 14.5×10^{-3} 、フェライト化した片状黒鉛鑄鉄 FC10 および FC25 の Q^{-1} はそれぞれ 4×10^{-3} および 1.5×10^{-3} であった。

(3) 黒鉛分散 Al および Cu 鑄造合金の Q^{-1} は黒鉛粒径を大きくすると増加し、また Q^{-1} の温度依存性は小さい。

本研究を行うにあたり御指導頂いた日立研究所 飯塚富雄技術主幹ならびに機械研究所 岡田千里主管研究員、森本庄吾主任研究員、中江秀雄主任研究員、また実験に協力して頂いた当研究室 土屋正利氏、小室勝博氏に感謝します。

文 献

- (1) D.Birchon, D.E.Bromley and D.Healey : Met. Sci. J., **2**(1968), 41.
- (2) 杉本孝一, 水谷啓嗣 : 日本金属学会誌, **39**(1975), 503.
- (3) I. A. Arbuzova, U. S. Gavriluk and L. G. Khandros : Fiz. Metal. Metalloved., **27**(1969), 1126.
- (4) R.Hasiguti and K.Iwasaki : J.Appl. Phys., **39**(1968), 2182.
- (5) 織田貞四郎, 中村 誠 : 日本金属学会会報, **6**(1967), 729.
- (6) 松井 啓, 松野 亮, 木津文生, 高橋 睦, 菅野秀雄 : 日本金属学会誌, **40**(1976), 1062.
- (7) M.A.O.Fox and R.D.A.Adams : J.Iron Steel Inst., **210**(1972), 527.
- (8) R.D.Adams and M.A.D.Fox : J.Iron Steel Inst., **211**(1973), 37.
- (9) M.A.O.Fox and R.D.Adams : J.Mech. Eng. Sci., **15**(1973), 81.
- (10) T.Morooka, Y.Sugiyama and S.Ito : Modern Casting, **53**(1968), 3, 90.
- (11) 松井 啓, 高橋 睦, 寄高政史 : 鑄物, **45**(1973), 508.
- (12) A.S.Nowick : J.Appl. Phys., **22**(1951), 952.
- (13) G.F.Weissmann : Proc. ASTM, **58**(1958), 869.
- (14) K.Sugimoto, K.Niiya, T.Okamoto and K. Kishitake : Trans. JIM, **18**(1977), 277.
- (15) 杉本孝一 : 鉄と鋼, **14**(1974), 2204.
- (16) 増本 量, 沢谷昭八, 比内正勝 : 日本金属学会誌, **41**(1977), 820.
- (17) 増本 量, 沢谷昭八, 比内正勝 : 日本金属学会誌, **42**(1978), 337.
- (18) 森本庄吾, 中江秀雄 : 日本金属学会会報, **17**(1978), 126.
- (19) P.K.Rohatgi, N.Murali, H.R.Shetty and R. Chandrashekar : Mater Sci. Eng., **26**(1976), 115~122.
- (20) 諏訪正輝, 小室勝博, 添野 浩 : 日本金属学会誌, **40**(1976), 1074.
- (21) 諏訪正輝, 小室勝博, 添野 浩 : 日本金属学会誌, **41**(1977), 511.
- (22) 諏訪正輝, 小室勝博, 添野 浩 : 日本金属学会誌, **42**(1978), 1034.
- (23) 日本金属学会編 : 材料検査法, (1959), p.28.
- (24) 杉本孝一, 茨木正雄 : 日本金属学会誌, **31**(1967), 67.