(001)[$\bar{1}10$]へ移り変わる温度)は降下する。この降下の程度は圧縮軸方位に依存する。

(2) 降伏応力が極大になる温度が降下するのは、(111)[$\bar{1}01$] すべり系および(001)[$\bar{1}10$] すべり系に対する臨界剪断応力が Co 添加により変化することに起因する。

文 献

- (1) H-r.Pak, T.Saburi and S.Nenno : *Proceedings of the 1974 Symposium on Mechanical Behavior of Materials*, Society of Materials Science, Kyoto, Japan, II (1974), 23.
- (2) 朴 漢龍, 佐分利敏雄, 稔野宗次 : 金属学会誌, **39**(1975), 1215.
- (3) J.H.Westbrook : *Trans. Met. Soc. AIME*, **209**(1957), 898.
- (4) R.W.Guard and J.H.Westbrook : *Trans. Met. Soc. AIME*, **215**(1959), 807.
- (5) P.A.Flinn : *Trans. Met. Soc. AIME*, **218**(1960), 145.
- (6) R.G.Davies and N.S.Stoloff : *Trans. Met. Soc. AIME*, **233**(1965), 714.
- (7) S.M.Copley and B.H.Kear : *Trans. Met. Soc. AIME*, **239**(1967), 977.
- (8) P.Beardmore, R.G.Davies and T.L.Johnston : *Trans. Met. Soc. AIME*, **245**(1969), 1537.
- (9) P.H.Thornton, R.G.Davies and T.L.Johnston : *Met. Trans.*, **1**(1970), 207.
- (10) N.T.Travina and A.A.Nikitin : *Fiz. Metal. Metalloved.*, **30**(1970), No.6, 1291.
- (11) R.A.Mulford and D.P.Pope : *Acta Met.*, **21**(1973), 1375.
- (12) 佐分利敏雄, 浜名孝年, 稔野宗次, 朴 漢龍 : 金属学会講演概要, (1975-10), 165.
- (13) A.E.Staton-Bevan and R.D.Rawlings : *Phys. Status Solidi*, (a)**29**(1975), 613.
- (14) P.H.Thornton and R.G.Davies : *Met. Trans.*, **1**(1970), 549.
- (15) S.Takeuchi and E.Kuramoto : *J. Phys. Soc. Japan*, **31**(1971), 1282.
- (16) S.Takeuchi and E.Kuramoto : *Acta Met.*, **21**(1973), 415.
- (17) M.J.Marcinkowski, N.Brown and R.M.Fisher : *Acta Met.*, **9**(1961), 129.
- (18) B.H.Kear and H.G.F.Wilsdorf : *Trans. Met. Soc. AIME*, **224**(1962), 382.
- (19) A.Howie and P.R.Swann : *Phil. Mag.*, **6**(1961), 1215.
- (20) S.Mader : *Electron Microscopy and Strength of Crystals*, Ed. by G.Thomas and J.Washburn, Interscience, New York, London, (1963), 183.
- (21) T.Ericsson : *Acta Met.*, **14**(1966), 853.
- (22) R.D.Rawlings and A.E.Staton-Bevan : *J. Mat. Sci.*, **10**(1975), 505.
- (23) 青木 清, 和泉 修 : 金属学会誌, **39**(1975), 1282.

黒鉛分散 Al-Si 系鑄造合金の機械的性質と耐摩耗性

諏訪正輝* 小室勝博* 添野 浩*

Masateru Suwa, Katsuhiro Komuro and Kô Soeno : Mechanical Properties and Wear Resistance of Graphite-dispersed Al-Si Casting Alloys. Methods for uniform dispersion of graphite particles in Al-Si melts, and mechanical properties and wear resistance of graphite-dispersed Al-Si alloys have been investigated. The weight per cent of graphite varied from 2.1 to 17.4%.

Uniform dispersion of graphite particles was obtained by adding nickel-coated graphite particles into the melts. Gas hole formation during the solidification of the melts was suppressed under a pressure of about 560 kg/cm².

Two series of graphite-dispersed Al-8% Si and Al-12% Si alloys containing 3% Cu, 0.3% Mg and less than 5.6% Ni were used for the investigation of mechanical properties and wear resistance.

Although the strength and elongation in this alloy system decreased with increasing graphite content, even the alloys containing 17.4 wt% graphite seemed to be capable of industrial use.

Under dry friction, the wear resistance of the alloys increased with increasing graphite content. The wear rate of the alloys containing 17.4 wt% graphite was about 10⁻⁸ mm³/mm²·kg, which was nearly equal to that under lubricated friction of the graphite-free base alloys. Under lubricated friction, the wear resistance of the alloys increased over the composition range of 5 to 10 wt% graphite. However, the wear resistance decreased in the alloys containing graphite in excess of the amount which gives the maximum wear resistance. It was also found that the graphite content corresponding to the maximum wear resistance increased with increasing strength of the alloys, or with decreasing load in the wear test.

(Received April 17, 1976)

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

I. 緒 言

アルミニウムおよび銅合金中に黒鉛を分散すれば低摩擦、低摩耗となることが知られている⁽¹⁾。しかし溶融アルミニウムおよび銅に対する黒鉛の溶解限がそれぞれ 0.05 および 0.0001% 以下で⁽²⁾、またこれらの合金と黒鉛とのぬれ性もよくないため⁽³⁾、工業的には黒鉛分散アルミニウム合金や銅合金は粉末冶金法で製造される場合が多い。このため寸法・形状などに多くの制約をうけ、しかも 5% 以上の黒鉛を分散すると強度・伸び衝撃値なども小さくなるため、一般には黒鉛量 3% 以下の合金が用いられている⁽⁴⁾。最近になり黒鉛粒子を合金溶湯中に分散して鋳造合金を製造しようとする試みが行なわれるようになり、Al-Si 系合金の試作に成功した例がある^{(5)~(7)}。黒鉛分散 Al-Si 鋳造合金の製造方法としては、ニッケルカルボニール法によりニッケルを被覆した黒鉛粉末を用いてのインジェクション法⁽⁵⁾やボルテックス法⁽⁶⁾が提案されているが、いずれも 4% 以下の黒鉛を分散した場合についての報告である。耐摩耗性は黒鉛の多いほど好都合であると期待される反面、強度、伸びは低下するであろう。そこでより黒鉛の多い領域での機械的性質ならびに耐摩耗性を検討し、耐摩耗合金としてどの程度黒鉛が存在すれば有効であるかの目安を得る目的で黒鉛分散アルミニウム鋳造合金を試作し検討したので、その結果を報告する。

II. 試料の溶製方法

入手した通常の市販黒鉛をそのままの状態合金溶湯中に添加して分散させることはほとんど不可能である。そこで黒鉛粒子に金属被覆して検討を進めた。用いた黒鉛は灰分 5.69%、揮発分 0.78%、粒度 32~100 メッシュの天然黒鉛粉末である。金属被覆は市販のブルーシューマー液(次亜りん酸ナトリウム 2.5 mol/l, 硫酸ニッケル 0.9 mol/l, フマル酸ナトリウム, マレイン酸ナトリウム, コハク酸ナトリウムの 3 種を計 2.0 mol/l, 残部水)によるニッケル無電解メッキ(80~85°C, 25 min 浸漬攪拌)により行なった。黒鉛塊へのニッケルメッキと同様に、メッキ前処理として塩化すずによるセンシタイジング(水 1 l に対し塩化第一錫 100 g, 塩酸 50 cc の割合の常温水溶液 300 cc に黒鉛 100 g を 5 min 間浸漬)および塩化パラジウムによるアクティブイティング(水 1 l に対し塩化パラジウム 1 g, 塩酸 4 cc の割合で 50~55°C の水溶液 300 cc に 100 g の黒鉛を 2 min 間浸漬)処理を行なうことにより、黒鉛粉末へも容易にメッキできることがわかった。ニッケルメッキした黒鉛粒子の断面観察例を Photo.1 に示す。写真に見られるようにニッケルメッキ層の厚さは 5~10 μm で、かつ黒鉛粒子の表面全体にほぼ均一にメッキされている。このようなニッケル被覆黒鉛粉末を用い、不活性ガスを搬送ガスとして溶湯底部より黒鉛を吹込むインジェクション法と、大気

Photo.1 Cross section of nickel-coated graphite particles.

中で溶湯表面より直接投入添加する方法とについて予備的に検討した結果、後者の投入添加法を採用することにした。合金溶湯が所定温度になったところで所定量のニッケル被覆黒鉛粉末を添加し、湯面より黒鉛粒子が消失して溶湯中に混入したことを確認して溶湯を金型に注いだ。本報告の場合の合金組成は JIS AC4B 相当の Al-8% Si-3% Cu-0.3% Mg および AC8B 相当の Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg であるが、黒鉛添加時に黒鉛粒子表面のニッケルが溶出混入するので前記組成に溶出ニッケル量加わることになる。このようにして溶製した金型鋳塊の黒鉛分布の状況を Photo.2 に示す。細かい黒点が黒鉛粒子である。本鋳塊の溶解温度は 750°C で、鋳塊 a および b の鋳造温度はそれぞれ 690 および 650°C である。Photo.2(a), (b) の比較から明らかなように、気孔は鋳造温度の高い鋳塊 a の方が若干少ないが、黒鉛の分布は鋳造温度の低い鋳塊 b の方が均一である。しかしいずれの鋳塊においても気孔が多く、工業的に使用する場合鋳造欠陥として問題になる。

黒鉛分布が均一でかつ健全な鋳塊を得る方法として、今回は高圧下で凝固させた鋳塊を用いて諸性質の検討を進めた。Photo.2に示したような黒鉛分散合金を 690°C で再溶

Photo.2 Graphite distribution in Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-5.6% Ni-17.4% Graphite ingots. (a) Casting temperature: 690°C, (b) Casting temperature: 650°C.

解して5 min 間保持後金型に鑄造し、再溶解による黒鉛分散状態の変化を検討した結果、鑄塊表面への黒鉛浮上による黒鉛量の減少および黒鉛の不均一分散の傾向などは認められなかった。そこで Photo.2 のような黒鉛分散合金

Photo.3 Graphite distribution in a Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-5.6% Ni-17.4% Graphite ingot solidified under 560 kg/cm².

を再溶解し、その溶湯を 200°C に予熱した直径 50 mm の金型に鑄造し、上面よりプランジャーで圧力 560 kg/cm² で加圧しつつ凝固させた。その結果得られた鑄塊の縦断面の一例を Photo.3 に示す。写真からはほとんど完全に気孔は消失しており、かつ黒鉛の分散状況も良好である。

Photo.4 は高圧凝固鑄塊の組織写真である。いずれの写真においてもニッケルメッキ層は溶出し、黒鉛表面にニッケルは残っていない。この傾向は再溶解した鑄塊にかぎらず Photo.2 のような第1回溶解の鑄塊においても同様である。天然黒鉛粉末の密度が約 1.8、熔融アルミニウム合金の密度が約 2.7 であり、両者の密度差は 0.9 程度であるが、この程度の密度差であれば一旦黒鉛が熔融アルミニウム合金とぬれてしまえばその後も浮上しにくいことがわかる。なお溶出ニッケルが多い場合、写真(c), (d)に見られるごとく Al₃Ni の晶出が多くなる傾向がある。写真では Al₃Ni はシリコン結晶よりも淡い灰色に見えている。また本写真ならびに E.P.M.A. より分析結果からは、再溶解後も黒鉛表面にアルミニウム炭化物の形成は認められなかった。

以上のことからメッキすることが黒鉛分散上有効に作用し、投入分散後ニッケルメッキ層が溶出し消失しても黒鉛単体でアルミニウム合金溶湯とのぬれ性が保持されていることがわかる。

Photo.4 Microstructure of the graphite dispersed Al-Si alloys after solidification under 560 kg/cm². (a), (b) : Al-8% Si-3% Cu-0.3% Mg-2.8% Ni-8.4% Graphite, (c), (d) : Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-5.6% Ni-17.4% Graphite.

III. 実験方法

本報告で取扱う合金組成は、マトリックスとしては前記 Al-8% Si-3% Cu-0.3% Mg および Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg であり、これにニッケル被覆黒鉛粒子を添加したものである。ニッケルメッキした黒鉛のニッケルメッキ比は重量比で 21% である。黒鉛添加量は 2.1, 4.2, 8.5, 17.2 および 17.4% であり、これは体積比でそれぞれ 2.5, 5, 10, 20% に相当する。これらの組成の合金鑄塊を前述の高圧凝固法で、直径 50 mm、高さ 120 mm に溶製し、その鑄塊より引張試験片ならびに摩耗試験片を切出した。引張試験片は、平行部長さ 37 mm、平行部直径 8 mm、標点距離 28 mm のものである。摩耗試験は Fig.1 に示す自家製往復摺動摩耗試験機により、乾式摩擦ならびにタービン油 # 140 の油中摩擦下で行なった。乾式摩擦の場合、面圧 7 kg/cm²、油中摩擦の場合面圧 50 および 100 kg/cm² で、それぞれ往復摺動速度 60 回/min (平均摩擦速度 0.2 m/sec)、相手材可動試験片としては調質した S 45 C (Hv 205) を用いた。固定片側試験片として用いた黒鉛分散アルミニウム合金の形状は直径 8 mm の丸棒でその両端は平面である。可動片形状は 10 mm×15 mm、長さ 120 mm の S 45 C 製角棒であり、丸棒端面と角棒の平面とが接触し角棒が升道摺動距離 100 mm で往復動する機構である。したがって摺動面両端部では摩擦速度が零となりかつ摩擦の方向が正逆に転換するため油膜破断しやすいことが本試験機の特徴である。このような装置で摩耗試験を行ない、摩擦面の状況は走査型電子顕微鏡により観察した。

1: Bullet specimen, 2: Going and returning bar made of S 45 C, 3: Weight, 4: Stay for bullet specimen, 5: Stay for bar, 6: Base
Fig.1 Schematic representation of the wear test apparatus.

IV. 実験結果および考察

1. Al-Si 合金の強度に及ぼす黒鉛の影響

Fig.2 は、黒鉛分散鑄造合金の引張強さ、伸びに及ぼす黒鉛の影響を Patton の測定値と比較して示したものである。なお本図引張試験片の場合、ニッケル量は 5.6% 一定になるよう組成を調整したので、すべてに Al₃Ni が晶出している。一方 Patton の場合は、Al-11% Si-2.5% Ni がマトリックスであり、これに黒鉛を 0.11~3.9% 添加した鑄造合金である。したがって Patton の測定値が筆者らの

Fig.2 Effect of graphite on the strength of the Al-Si alloys. Solid lines: as cast. Dotted line: aged for 8 hr at 175°C after solution treatment.

場合より若干高くなっているのは、主として晶出 Al₃Ni 量が少ないためと推定される。しかし Patton の測定値から 4% 以上の高濃度側の性質を予想すると、著者らの測定値に極めて近いようである。Fig.2 に示されているように黒鉛量の増加に伴ない引張強さ、伸びともに減少している。しかし黒鉛体積 10% の場合、鑄放し材で引張強さは約 15 kg/mm² であり、さらに熱処理すると 20 kg/mm² 程度に向上し、体積比で黒鉛が 20% になっても熱処理材では 15 kg/mm² 近い値が得られる。この値は Y 合金やローエックス合金の強さに近い値であり、工業的に使用可能な強度と考えられる。

2. 摩耗に及ぼす黒鉛の影響

(1) 乾式摩擦の場合

乾式往復摺動摩擦下での Al-Si 系合金の摩耗に及ぼす黒鉛の影響について検討した結果を Fig.3 に示す。黒鉛 0% の場合、Si 8%, 12% いずれの合金においても摩耗が激しく摩耗進行曲線の勾配が大きいが、黒鉛 4.2% の場合初期摩耗は小さいが、0.5 あるいは 1 km 摺動後の摩耗が大となり、黒鉛 0% の場合の摩耗進行曲線の勾配と大略等しくなっている。これは黒鉛粒子による潤滑効果が、4% 程度では不足で持続しがたいことを示すものであると考えられる。一方黒鉛が 8% 以上になると摩耗率も小さく、終始正常摩耗を呈している。このことから面圧 7 kg/cm² 程度で乾式摩擦する場合、少なくとも黒鉛は 8% 以上必要であるといえる。また Fig.3 によって Si 量の違いによる差異は小さいが、Si 12% の場合摩耗はやや小となることわかる。

乾式摩擦の場合の摩擦面を走査型電子顕微鏡で観察した

Fig.3 Effect of graphite on the wear resistance of the Al-Si alloy.
Dry friction, load 7 kg/cm^2 , sliding velocity 0.2 m/sec .

Photo.5 Surface after dry friction. (a), (b) : $\text{Al-12\% Si-3.5\% Cu-0.3\% Mg-1.9\% Ni-4.2\% Graphite}$, (c), (d) : $\text{Al-12\% Si-3\% Cu-0.3\% Mg-5.6\% Ni-17.4\% Graphite}$.

結果を **Photo.5** に示す。いずれも 2 km 摺動後の摩擦面であるが、黒鉛 4.2% の場合摩擦面に黒鉛被膜も黒鉛粒子も認められず、ひっかきによる条痕が多数存在していて abrasive wear が生じていたことがわかる。一方黒鉛 17.4% 合金の場合、摩擦面に明瞭に黒鉛粒子が認められることが特徴である。さらにひっかき条痕も非常に少なくマトリックスの損傷は軽微である。また黒鉛表面とマトリ

ックス表面とのレベル差はなく、黒鉛が剥離脱落した痕跡が若干認められるが、黒鉛潤滑の効果が持続しているものと考えられる。

Photo.6 は 2 km 摺動後の、摩擦方向と平行な摩擦面断面を示すものである。黒鉛 4.2% の場合、摩擦面直下に 20 ないし 30 μm の摩擦による塑性流動層が認められる。一般に凝着が激しいほど塑性流動層は厚くなる。この流動層

Photo.6 Section through graphite dispersed alloy.
(a) Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-1.4% Ni-4.2% Graphite, (b) Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-5.6% Ni-17.4% Graphite.

のせり出しによって、摩擦面に顔を出していた黒鉛粒子が覆われていることが写真からよくわかる。この傾向は 8% Si 合金においても同様である。したがって Fig.3 において 0.5 あるいは 1 km 以上になると黒鉛 4.2% の摩耗曲線の勾配が黒鉛 0% 合金のそれと等しくなって摩耗が急激に増大したのは、摩擦面に顔を出していた黒鉛がマトリックスの塑性流動層によって覆いかくされることにより潤滑効果を発揮できなくなったためと説明できる。一方黒鉛が多い場合には塑性流動層は発生していない。これは黒鉛の供給が十分に行なわれて、潤滑作用が持続する結果凝着頻度が少なかったことを示すものと考えられる。

以上の結果から乾式摩擦の場合、黒鉛量は少なくとも

Fig.4 Wear resistance of copper alloys and the graphite dispersed Al-Si alloy.

8% 以上必要であり、黒鉛量の多いほど低摩耗となることがわかった。

次に体積比で 20% の黒鉛を含む合金の乾式摩擦下における摩耗を、市販の耐摩耗銅合金と比較した結果を Fig.4 に示す。市販銅合金としては砲金 (BC 2), リン青銅 (PBC-2 B), 鉛含有リン青銅 (SAE 640), および高力黄銅 (SAE 430) を選んだ。面圧 7 kg/cm², 平均摩擦速度 0.1 m/sec, 乾式摩擦下では、市販耐摩耗銅合金はいずれも abrasive wear となり直線的に摩耗が進行し、ほぼ合金強度の低い順に摩耗量が多くなっている。一方黒鉛分散合金では固体潤滑剤である黒鉛の存在により abrasive wear には進行せず, mild wear を呈し極めて耐摩耗性が良好である。

(2) 油中摩擦の場合

タービン油 # 140 中、面圧 100 kg/cm² で往復摺動摩擦した結果を Fig.5 に示す。油中摩擦の場合には Fig.3 に示すような乾式摩擦の場合と異なり、黒鉛 0% 合金におい

Fig.5 Effect of graphite on the wear of the Al-Si alloys under lubrication.
Lubricated by turbine oil # 140, load 100 kg/cm², sliding velocity 0.2 m/sec.

でも定常摩耗域が存在している。さらにもう一つの大きな違いは、乾式摩擦の場合黒鉛量の増大とともに摩耗が低減する傾向であったが、油中摩擦、面圧 100 kg/cm^2 の場合には黒鉛量 4.2% のときにもっとも摩耗が小さくあり、黒鉛がそれ以上になると黒鉛の増大につれ摩耗が増大する点である。このような傾向は銅-黒鉛や銅-二硫化モリブデン焼結合金の摩擦においても認められて⁽⁸⁾⁽⁹⁾いるが、その原因は明らかにされていない。しかしこのような傾向は、Fig.2 に示したように合金強度は黒鉛量とともに低下することから、強さと関係があると考えられる。すなわち黒鉛 8% 以上の場合その合金の強度に対して面圧 100 kg/cm^2 という値は過大であることを示していると予想される。そこで面圧を $\frac{1}{2}$ に下げ 50 kg/cm^2 で同様に摩耗試験を行ない比摩耗量で整理した結果を Fig.6 に示す。図から明らかのように摩耗の極小点は面圧 100 kg/cm^2 の場合の黒鉛 5% の点から 50 kg/cm^2 では 10% の位置まで移動している。つまり面圧 50 kg/cm^2 の場合には、黒鉛体積 10% 合金の強度でも耐荷重性の点で十分であることを示している。

以上の結果は as cast 材での摩耗試験結果であるが、時効処理によっても約 5 kg/mm^2 程度の強度の改善が可能である (Fig.2 参照)。そこで時効処理によって強度を上げた試料を用いて摩耗試験した結果を比摩耗量で整理すると Fig.6 の点線のようになった。この場合の面圧は 100 kg/cm^2 、摺動速度は 0.2 m/sec である。この結果から面圧を下げるかわりに合金自体の強度を上げることによっても、摩耗の極小点を高濃度側に移動させることが可能であることがわかる。

次に乾式摩擦の場合の比摩耗量と潤滑下のそれとの比較

Fig.6 Relationship between wear rate and graphite volume in the graphite dispersed Al-Si alloys.

により、面圧が 7 kg/cm^2 と低く乾式摩擦下では黒鉛量の増大とともに黒鉛の潤滑効果が顕著にあらわれ、黒鉛を 20% ないしはそれ以上分散させた場合 10^{-8} 台の比摩耗量となり、黒鉛 0% 合金の油潤滑下の耐摩耗性に匹敵する可能性を有することがわかる。

以上の結果から黒鉛分散合金の耐荷重性は、黒鉛量の増大に伴う潤滑効果の増大と、逆に黒鉛増加ともなう強

Photo.7 Surface after lubricated friction. (a), (b): Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-1.4% Ni-4.2% Graphite, (c), (d): Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-2.8% Ni-8.4% Graphite, (e), (f): Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-5.6% Ni-17.4% Graphite.

度の低下とのかねあいによってきまり、摩擦条件および合金強度を勘案して分散すべき黒鉛量を決定すべきであるといえる。

Photo.7 は as cast 材の摩擦面の観察結果であり、Photo.8 は摩擦面の断面組織写真である。油中摩擦ではいずれの場合も、乾式摩擦下でもっとも損耗軽微であった黒鉛体積 20% 合金の場合より摩擦面は平滑であり、摩擦条痕も少ない。ある黒鉛量で摩耗の極小点が生じ、その量以上で摩耗が増大する原因としては次のようなことが予想される。すなわち、負荷に対して強度が不足するため、黒鉛粒子の周囲からマトリックスが座屈、崩壊すること、あるいは油膜を介して圧力が作用する際黒鉛量が多いほど黒鉛の剥離脱落が容易となることなどが考えられる。しかし今回の観察結果からは、黒鉛量の違いによる摩擦面の変化を見出すことはできなかった。また Photo.8 に示すごとく、黒鉛量のいかんにかかわらず摩擦による塑性流動層は生じておらず、黒鉛 5% 以上と以下とで差異も認められなかった。

Photo.8 Section through graphite dispersed Al-Si alloy after lubricated friction. (a) Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-1.4% Ni-4.2% Graphite, (b) Al-12% Si-3% Cu-0.3% Mg-5.6% Ni-17.4% Graphite.

V. 総 括

ニッケルメッキした天然黒鉛粉末を溶湯中に投入添加して黒鉛分散 Al-Si 系鋳造合金を試作し、機械的性質ならびに耐摩耗性に及ぼす黒鉛の影響について検討した。得られた結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 無電解メッキによりニッケル被覆した黒鉛粉末はアルミニウム合金溶湯中に分散させることができる。一度分散した黒鉛粒子は、その表面のメッキ層が溶出消失後も分散しており、かつ凝固後再溶解しても分離せず分散している。

(2) 高圧凝固法の活用により均一な黒鉛分布の健全鋳塊が得られる。その強度は黒鉛量の増大に伴い低下するが Y 合金やローエックス合金に近い強度を持たせうる。

(3) 乾式摩擦下では黒鉛量とともに耐摩耗性は向上し、黒鉛体積が 20% 以上になると比摩耗量が 10^{-8} 台になり、黒鉛 0% 合金の油潤滑下の値に近づく。黒鉛 5% 以下では黒鉛の潤滑効果が持続せず初期摩耗後は黒鉛 0% の場合と大略等しい摩耗率となる。

(4) 油中摩擦下では、黒鉛体積 5~10% の領域で摩耗の極小点があられる。この極小点は面圧の小さいほど、合金強度の高いほど高濃度側に移動する傾向である。したがって黒鉛量はその合金強度と摩擦条件にあわせて決定すべきである。

本研究を行なうにあたり御指導御支援をいただいた日立研究所飯塚富雄部長ならびに機械研究所藤井則久研究員に深甚なる謝意を表する。

文 献

- (1) 川崎景民：オイルレスベアリング，アグネ，(1973)，130.
- (2) M. Hansen : *Constitution of Binary Alloys*, McGraw-Hill, (1958), 75, 353.
- (3) Yu.V.Naidich and G.A.Kolesichenko: Poroshkovaya Met., Akud Nauk Ukr SSR, 1(1961), 55.
- (4) 金属学会編：金属データブック，丸善，(1974)，218.
- (5) F.A.Badia and P.K.Rohatgi : Trans.AFS., 77 (1969), 402.
- (6) A.M.Patton : J.Inst.Metals, 100(1972), 197.
- (7) B.C.Pai, P.K.Rohatgi and S.Ventatesh : Wear, 30(1974), 117.
- (8) 矢島郁夫，佐藤 正：金属材料，8(1968-8)，14.
- (9) 津谷裕子：潤滑，19(1974)，739.