

熱処理性アルミニウム—マグネシウム系 耐食鑄物用合金の研究 (第1報)

加藤正夫・中村康治

1. 緒言

アルミニウム—マグネシウム系のいわゆるヒドロナリウム合金は比較的優秀な機械的性質と良好な耐食性、特に耐海水性を併せもっているため、展伸材としてまた鑄物材としても耐用命数の長いことを要求される一般構造物及び船舶関係に広く用いられている。

鑄物用合金としては鑄造のままで最もよい性質を示す4~5% Mg のものと熱処理による性質改善の最もすぐれた10% Mg のものが実用され、わが国でもそれぞれJIS 船用アルミニウム合金鑄物1種及び2種とされている。(第1表) 前者の合金に及ぼす Fe, Mn の影響に関する研究はさきに軽金属誌⁽¹⁾ に発表し、また耐食アルミニウム合金について著者らの行つた一連の研究は既に本誌⁽²⁾ に概括的に報告した。今回報告する合金に関しては最近イギリスの Parker ら⁽³⁾ によつて行われた研究に示唆されるところが多かつた。

この10% Mg を含むアルミニウム合金は鑄物として非常にすぐれた機械的性質をもち耐食性もよいが、マグネシウムが多いために溶解鑄造法が比較的むづかしく、また不純物の影響についてもまだ不明の点が多い。諸外国でもその優秀な性能を知られていながら現場生産の困

難さのためにごく限られた使用しか行われていない。わが国でも戦争末期に紹介されわずかな研究が行われただけで今日なお一般的工業材料になり得ない。著者らはこの合金の安定した作業条件の確立と不純物および熱処理の影響に関する研究を行いつつあり、その結果をここに第1報としてまとめてみた。

2. Al-10% Mg 合金の特性と他の鑄物用合金との比較

この合金の特徴の第一はアルミニウムにマグネシウムを加えたものであるから比重が小さいことで、また機械的性質がすぐれているので強度を比重で割つた比強度は他の合金に比べて非常に有利である。第2表は1948年版 Metals Handbook に記載された数種の鑄物用合金に関する機械的性質の標準値を集録して表にしたもので比引張強さおよび比耐力は計算値である。

またこの合金の衝撃値は比較的高く、ただし4に後述するようにこの衝撃値は微量の不純物に影響されるところが非常に大きいものではあるがその比較的よいものをとればシャルピー衝撃値は3.5 kg-m/cm² で最優秀なものでは8.8 kg-m/cm² に達する。これを一般のアルミニウム合金鑄物の衝撃値0.3~1 kg-m/cm² に比べると格段の差異が認められるのである。

第1表 Al-Mg 合金鑄物の規格

| 合金分類 | 各国の規格名称 | 主な化学成分 % | | | | 機械的性質 | | |
|---------|---------------------------|----------|---------|-------|-------|----------------------------|---------|------------|
| | | Mg | Mn | Si | Fe | 引張強さ kg/mm ² | 伸び % | ブリネル 硬度 |
| 4~5% Mg | 日本 JIS 船用 アルミニウム合金鑄物1種 | 3.5/5.5 | 0/0.8 | <0.4 | <0.5 | 19 | 7 | |
| | 米国 Alcoa 214 | 3.5/4.3 | <0.6 | <0.3 | <0.6 | 17.6 | 6 | |
| | 英国 B.C. A.C. 5 | 3.0/6.0 | 0.3/0.5 | <0.3 | <0.6 | 17.6 | 5 | |
| | カナダ Alcan 320 | 3.5/4.5 | <0.6 | <0.4 | <0.5 | 15.4 | 6 | |
| 10% Mg | 日本 JIS 船用 アルミニウム合金鑄物2種 | 9.5/11.0 | <0.1 | <0.35 | <0.35 | 28 | 10 | (80) |
| | 米国 Alcoa 220 | 9.5/11.0 | — | <0.2 | <0.3 | 29.4 | 12 | 75 |
| | 英国 B.C. A.C. 10 | 9.5/11.0 | — | <0.35 | <0.35 | 29.4 | 12 | — |
| | カナダ Alcan 350 | 9.5/11.0 | — | <0.2 | <0.3 | 32 | 12 | 75 |

第2表 数種の鑄物用合金(砂型)の比較

| 合金の種類 | 比重 | 弾性係数 kg/mm ² | 引張強さ kg/mm ² | 耐力 kg/mm ² | 伸び % | 比引張強さ kg/mm ² | 比耐力 kg/mm ² |
|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|---------------------------|
| 4% ヒドロ鑄物 | 2.65 | 7210 | 17.5 | 8.4 | 9 | 6.6 | 3.2 |
| 10% ヒドロ鑄物 | 2.58 | 7210 | 32.2 | 17.5 | 14 | 12.5 | 6.8 |
| 鉛入砲金 | 8.80 | 9450 | 23.8 | 11.9 | 25 | 2.7 | 1.3 |
| 實銅鑄物 | 8.40 | 9100 | 23.1 | 9.1 | 35 | 2.7 | 1.1 |
| 普通鑄鉄 | 7.03~7.37 | 7000~10000 | 10~15 | 5~10 | 0~2 | 1.8 | 1.0 |
| 高級鑄鉄 | 7.10~7.45 | 7000~10000 | 25~30 | 10~15 | 5~8 | 3.7 | 2.1 |
| 高可鑄 | 7.20~7.45 | 17000 | 38 | 25 | 20 | 5.2 | 3.4 |
| 鑄鋼 | 7.83~7.84 | 20000 | 45 | 24 | 20 | 5.8 | 3.1 |

またさらにこの系統の合金は 1 に述べたように耐食性が良好で引張試験片を 5.85% NaCl+0.3% H₂O₂ 水溶液に浸漬して引張強さ、伸びの低下から耐食性の比較を行った結果を第 3 表に示す。これらの数値から明らか

第 3 表 腐食試験結果

| 合 金 | 腐 食 前 | | 腐 食 1 月 | | 備 考 |
|-----------|----------------------------|---------|----------------------------|---------|-----------------------------|
| | 引張強さ kg/mm ² | 伸び % | 引張強さ kg/mm ² | 伸び % | |
| Al-5% Mg | 23.2 | 16.6 | 22.8 | 12.5 | 金型鋳物 JES 4号 |
| Al-10% Mg | 34.4 | 28.8 | 33.5 | 27.4 | " |
| ジュラルミン | 43.6 | 16.0 | 30.5 | 8.5 | 14S-T6 板 8.5 mm |
| 軟 鋼 | 48.8 | 23.9 | 44.9 | 18.7 | JES 5号 1 mm 板 |
| 四六黄銅 | 40.8 | 23.2 | 37.5 | 20.0 | JES 5号 1 mm 板 |
| 砲 金 | 33.1 | 14.0 | 31.3 | 12.5 | Sn 9, Zn1. 金 型 JES 4号 |

のように Al-10% Mg 合金は引張強さ、伸びの低下は極めて僅かであつて、ジュラルミンのような Al-Cu 系は格段に耐食性が劣つているのに対して、この合金は軟鋼よりはるかにすぐれ、砲金と同等あるいはややそれに勝る程度である。

3. Al-10% Mg 合金の溶解鑄造方法について

1 に述べたようにこの合金は化学的に活性なマグネシウムを多く含むために溶解鑄造方法が他のアルミニウム合金に比べてむづかしく細心の注意を要する。

溶解に鉄鍋を使うことは溶解中に鉄の混入があつて、このために耐食性を害するので好ましくなく、黒鉛坩堝耐火坩堝はその中の成分の SiO₂ をマグネシウムが還元して硅素として合金中に入つて機械的性質を著しく劣化させるからよくないので、いずれにせよアルミナなどを適当に水ガラスでねつて十分なライニングを施して坩堝材と合金との接触を防ぎ、その他の溶解器具についても同様な注意を払ふことが必要である。またマグネシウムを添加するときにもその酸化燃焼を防ぐため適当な溶剤被覆をして、アルミニウムの溶湯の中にマグネシウムを押しこんで合金させ、さらに攪拌除滓を十分に行ふ必要がある。溶解中の過熱は絶対に避け、ガス除去及び溶湯の清浄のために塩素ガスその他六塩化エタンのような適

当な脱ガス剤を使用し、その後さらに十分な静置を行い、流動性を害しない程度なるべく低い温度で鑄込みを行わなければならない。鑄造に当つては金型の場合は必要にして十分な金型の予熱が肝要で、砂型の場合生砂型でも鑄造可能であるが、砂中の水分と合金との反応のために燃えがおこるから砂の中に硫黄・弗化アンモニウムその他の酸化防止剤を加え、溶湯の触れるところにはさらに硫黄粉末の撒布を行ったほうがよい。金型砂型ともに十分な押湯をつける必要がある。

4. Al-10% Mg 合金に及ぼす硅素の影響

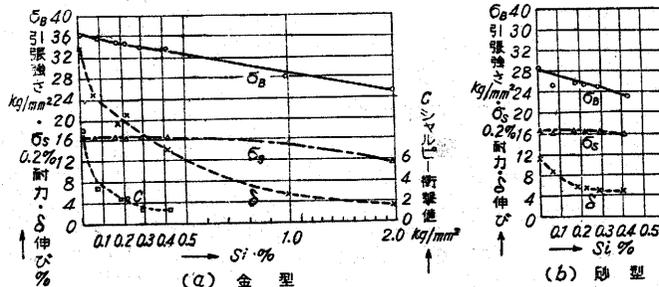
アルミニウム地金中には必ず不純物としての鉄硅素を含み、またこれらは工場内廻転返材として増加する傾向がある。この内硅素の影響を確めるために 99.996% Al (0.0007% Si, 0.0007% Fe) の高純度地金と 99.85% Al (0.07% Si, 0.07% Fe, 0.01% Cu) の地金を使用し、Al-Si 合金によつて硅素を添加して金型 5 本、砂型 4 本の試料を鑄造し、430°C ± 5°C で 24 時間溶体化処理を行つて、引張および衝撃試験を行った結果の平均を一括して第 4 表に示す。これを図示したものが第 1, 2 図である。

これにみられるように硅素は引張強さと耐力に及ぼす影響はあまり大きくないが、伸びと衝撃値に及ぼす影響は甚だ大で、少量の混入でも著しく低下させることが知られた。このように微量の硅素がこの合金を脆化させる機構に関しては目下研究中である。

耐食性に及ぼす影響は 10 mm φ × 30 mm に仕上げた小試片を 5.85% NaCl+0.3% H₂O₂ 水溶液に浸漬して重量減と外観変化から比較を行つているが 2 月に及ぶも硅素の差による差異はほとんどなく、腐食減量はいずれも平均 6 × 10⁻⁴ mg/cm²/day の程度である。これは硅素がこの合金中でマグネシウムと共存すると Mg₂Si なる金属間化合物を容易に形成し、この化合物の電溶圧がアルミニウム固溶体のそれと近似しているから選択的腐食を受けにくいためであると説明される。

5. Al-10% Mg 合金の熱処理

この合金を 400~430°C の間に長時間保持して、いわゆる溶体化処理を行つて空冷すると、鑄造のままの状態



第 1 図

第 2 図

Al-10% Mg 合金の機械的性質に及ぼす Si の影響

第4表 Al-10% Mg 鋳物用合金の機械的性質に及ぼす Si の影響

| 記号 | 分析値 | | | 型の種類 | 引張性質 | | | | | | | | シャルピ ー衝撃値 kg- m/cm ² |
|----|-------|-------|-------|------|----------------------------------|---|--|--|--|--|--|---------|--|
| | Mg % | Si % | Fe % | | 弾性係数 E, kg/mm ² | 比例限 σ_p , kg/mm ² | 0.03% 耐力 $\sigma_{0.03}$, kg/mm ² | 0.1% 耐力 $\sigma_{0.1}$, kg/mm ² | 0.2% 耐力 $\sigma_{0.2}$, kg/mm ² | 0.3% 耐力 $\sigma_{0.3}$, kg/mm ² | 引張強さ σ_B , kg/mm ² | 伸び % | |
| JA | 10.45 | 0.007 | 0.007 | 金型 | 7380 | 13.1 | 15.2 | 16.4 | 17.3 | 17.8 | 35.3 | 34.1 | 8.83 |
| | | | | 砂型 | 7350 | 10.8 | 14.6 | 16.2 | 17.2 | 17.9 | 28.4 | 11.4 | — |
| JB | 9.02 | 0.07 | 0.09 | 金型 | 7350 | 12.8 | 14.9 | 16.1 | 17.1 | 17.7 | 35.9 | 25.3 | 3.47 |
| | | | | 砂型 | 7250 | 10.9 | 13.9 | 15.4 | 16.5 | 17.1 | 25.3 | 8.1 | — |
| JC | 10.75 | 0.18 | 0.13 | 金型 | 7090 | 12.0 | 14.5 | 16.0 | 17.1 | 17.8 | 35.4 | 19.0 | 2.28 |
| | | | | 砂型 | 7170 | 11.5 | 14.4 | 16.1 | 17.3 | 18.0 | 25.2 | 6.4 | — |
| JD | 9.74 | 0.22 | 0.13 | 金型 | 7000 | 12.1 | 14.1 | 15.5 | 16.6 | 17.2 | 34.6 | 20.7 | 2.26 |
| | | | | 砂型 | 7000 | 11.8 | 14.4 | 15.7 | 16.7 | 17.3 | 25.3 | 5.9 | — |
| JE | 10.51 | 0.29 | 0.13 | 金型 | 7120 | 12.0 | 13.9 | 15.5 | 16.5 | 17.2 | 34.1 | 16.6 | 1.47 |
| | | | | 砂型 | 7100 | 11.8 | 13.9 | 15.3 | 16.3 | 17.0 | 25.0 | 5.1 | — |
| JF | 10.39 | 0.41 | 0.14 | 金型 | 7200 | 11.2 | 13.9 | 15.2 | 16.3 | 17.1 | 33.5 | 15.4 | 1.47 |
| | | | | 砂型 | 7100 | 10.5 | 13.4 | 15.0 | 16.2 | 17.0 | 23.1 | 4.3 | — |
| JG | 10.0 | 1.0 | — | 金型 | 7020 | 10.3 | 11.4 | 13.6 | 15.0 | 15.9 | 24.1 | 5.2 | — |
| JH | 10.0 | 2.0 | — | 金型 | 7050 | 5.7 | 8.2 | 10.1 | 11.6 | 12.6 | 23.5 | 3.7 | — |

定では 400~430°C で 20 時間以上保持後空冷と規定しているが、英国 DTD 規格では 430°C で 16 時間以上保持後 150°C の油中に急冷、同温度に 30 分以上保持後空冷と規定されている。この差を求めるために第4表の .B, C の試料について DTD 熱処理を行つて引張試

第5表 Al-10% 鋳物用合金の機械的性質に及ぼす熱処理の影響

| 合金の 区別 | 型の 種類 | JIS 熱処理 | | | DTD 熱処理 | | |
|-----------|----------|----------------------------|---------|-------------|--------------|---------|-------------|
| | | 引張強さ kg/mm ² | 伸び % | 衝撃値 kg-m | 引張強さ kg-m | 伸び % | 衝撃値 kg-m |
| B | 金型 | 35.9 | 25.3 | 3.47 | 36.5 | 28.0 | 5.10 |
| | 砂型 | 25.3 | 8.1 | — | 28.8 | 12.2 | — |
| C | 金型 | 35.4 | 19.0 | 2.28 | 35.5 | 18.9 | 3.49 |
| | 砂型 | 26.2 | 6.4 | — | 28.6 | 10.6 | — |

験および衝撃試験を行つた結果を JIS 熱処理と比較したものが第5表である。この結果 DTD 熱処理のほうが幾分抗張性、耐衝撃性の改善に有効であるようであるが、なお、さらに腐食的性質、特に応力腐食に関して実験検討中である。

6. 結 言

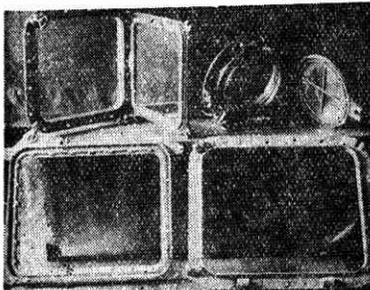
以上に今日までの研究結果を述べたが、未だ理論的に解明しなければならぬ問題が多くあるので研究を続行中であるが、一応実験的成果を得たのでここに第一報として報告し、現場技術者の参考に供する次第である。

この合金の極めてすぐれた性能とその製造方法が明らかになるにしたがつてその利用面が非常に拡大することを確信している。

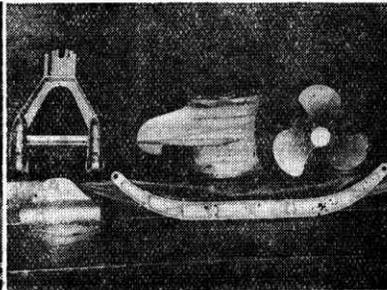
なお本研究に関しては東京軽合金株式会社の援助によるところが大きであつた。ここに謝意を表する次第である。(1953. 6. 30)

文 献

- (1) 軽金属 No. 5, 加藤, 中村
- (2) 生産研究 Vol. 5, No. 2, 加藤, 中村
- (3) The Journal of the Institute of Metals, Vol. LXXIII (1947) Parker, Cox and Jurner.



A. 舷窓 (アルマイト仕上げ)
耐食性があり、アルマイト仕上げがしてあるので保守手入れの労がはぶける。強度的には従来の銅合金製と殆んど同様に 1/3 の重量となる。



B. モーターボート部品
耐食性があり強力である。
銅合金製と全く同様に使用される。



C. 煙草製造器部品 (アルマイト仕上げ)
高速遠心分離器 寫真機シャッター部品
耐食性と堅韌性、強力性の利用されたもの。
また切削加工面が優秀であることが利用される。