耐食軽合金鋳物の腐食疲労および潰食について*

塩 田 信 雄** 今 林 守**

Nobuo Shiota and Mamoru Imabayashi: Studies on Corrosion Fatigue and Cavitation Erosion of Corrosion-Resistant Al Casting Alloys. In the previous report, the authors described the results of their study the statical and the stress corrosion of 5% Mg-Al casting (AC 7A), 10% Mg-Al casting (AC 7B) and K.S. Seewasser alloys. To estimate the corrosion resistances of these alloys in practical use, corrosion-fatigue and cavitation-erosion tests were carried out with AC 7A and AC 7B alloys. The results obtained are summarized as follows: (1) In atmosphere into which 3% NaCl solution was sprayed, the fatigue strength of AC7A and AC7B alloys decreased to almost one-half of the values obtained in ordinary atmosphere. (2) Although the tensile strength of AC7B alloy is superior to AC7A alloy, its fatigue strength in corrosive atmosphere is not superior. And in such an atmosphere, it was found that the fatigue strength of five specimens of AC7A alloy, which differ in foundry condition, is not correlated with their tensile strength, because the former is influenced by the gas occluded in them. (3) Of the specimens prepared under the same conditions, the erosion by magnetostrictive cavitation apparatus occurred almost in inverse proportion to the hardness number. (4) Comparing the erosion of AC 7 A alloy with that of AC 7 B alloy, no difference could be accurately determined.

(Received October 21, 1959)

I. 緒 言

前報⁽¹⁾において5% Mg-Al 鋳物(AC 7A), 10% Mg-Al 鋳物(AC 7B) および K.S. の Seewasser 合金鋳物の静

** 防衛庁技術研究本部第1研究所
* 1959年4月本会東京大会に発表

(1) 中城, 塩田, 今林: 本誌, 24(1960), 300.

置状態、および静的応力付加状態における腐食試験の結果について報告した。ところがこれらの材料が実際に使用される場合の腐食環境を考えると、繰返し応力の付加される状態、あるいはキャビテーション エロージョン (潰食) を受けるような状態で使用されることが多い。本報では AC 7A および AC 7B について行つた腐食疲労試験および磁歪式キャビテーション試験機による潰食試験の結果を述べ、各試料のガス分析の結果から試料の吸蔵ガス量と前記疲労強度との関連について検討した。

II. 試料および実験方法

1. 試料

ここで使用した試料はすべて引張試験片と同じ溶湯から採取した。したがって化学組成は前報の Table 1 のとおりである。

Table 1 Volume of extracted gas (cc/100 g).

Specimen	Metallic mold	Sand mold (small)	Sand mold (large)
AC 7A-a	0.41	0.60	0.53
AC 7A-b	0.76	0.78	0.58
AC 7A-c	0.12	0.10	0.24
AC 7A-d	0.18	0.28	0.27
AC 7A-e	0.26	0.27	0.29

2. 実験方法

(1) 腐食疲労試験

Fig. 1-(a), (b) に示すような質量効果を考慮した砂型

Fig. 1 Dimensions of corrosive fatigue specimen.

- (a): Sand casting (large)
(b): Sand casting (small)
(c): Finished shape

Fig. 2 に示す小野式回転曲げ疲労試験機に腐食装置を取りつけた試験機を用いて、3% NaCl 溶液を一定圧力で一定量連続的に噴霧しながら疲労試験を行つた。試験条件は下記のとおりである。

腐食室雰囲気温度	15~18°
NaCl 溶液噴霧圧力	1.5 kg/cm ²
NaCl 溶液噴霧量	30 cc/min

(2) キャビテーション試験

磁歪式キャビテーション試験機により、下記の条件でキャビテーション試験を行つた。Fig. 3 に試験機の主要部の

機構および試験片の寸法を示す。

試験液: 3% NaCl 溶液 液温: 25°

Fig. 2 Schematic diagram of the apparatus for corrosive fatigue test.
1: NaCl solution tank 2: Spray nozzle
3: Test piece 4: NaCl solution receiving tank 5: Pump.

Fig. 3 Schematic diagram of magnetostrictive cavitation tester and dimensions of specimen.

- 1: Specimen 2: Ni-vibrator
3: Coil 4: 3% NaCl solution

Fig. 4 Schematic diagram of the apparatus for measurement of gas occluded in molten metal.

- 1: Crucible 2: Bell-jar
3: Thermister element
4: Micro-ammeter 5: McLeod gage
6: U-tube for blank test

試験時間: 30 min 発振器出力: 500W

共振周波数: 6.5 kC 振動振幅: 8/100 mm

試験片の表面はエメリー 05 まで研磨し、充分脱脂洗滌した。試験前後の液温の変化は $3\sim 5^\circ$ 程度であり、特別に液温調節のための処置は施さなかつた。

(3) 吸蔵ガス量の分析

Fig.4 に示すような迅速ガス分析装置⁽²⁾⁽³⁾により各試料の吸蔵ガス量を分析した。

装置はサーミスタの電気抵抗が温度により敏感に変化する特性を微量ガス検出に応用したものであり、試料 1 からの放出ガスによる真空度の低下に応じてまわりの熱伝導度

がよくなるので、電圧 e のもとにおけるサーミスタエレメント 3 の平衡温度が低くなる。したがって電気抵抗が減少し、ブリッジ回路の電流計 4 に不平衡電流が流れるようになる。予め適当なガスを使用して不平衡電流とガス量の関係を求めておけば、不平衡電流から直ちにガス量を知ることができる。

試料は引張試験片のつかみの部分の表面を約 2mm 削った内部から 50g を採取し、予め充分焼いて水分を除いた井 1 黒鉛るつぼに入れ、シリコニット電気炉で再溶解した。溶湯の温度が 800° に達したときるつぼごとベルジャーに収め、真空ポンプを 2min 間運転して 10^{-1} mmHg の真空中で凝固させ、この時の不平衡電流の値から各試料の吸蔵ガス量を比較した。

III. 実験結果

1. 腐食疲労試験

AC 7A の各試料および AC 7B についての腐食疲労曲線を Fig.5 に示す。いずれ

も金型試料の疲労強度が高く、砂型の大と小では幾分砂型小の疲労強度が高い傾向が認められる。AC7B では金型の実験結果はないが、砂型試料の腐食疲労強度において AC7A と比較した場合、引張強さにおけるように明瞭な優位は認められず、むしろ劣る傾向を示している。また同じ AC7A でも試料によりかなり疲労強度の差が認められ、化学組成その他溶解および鑄造条件の影響とともに、後述する吸蔵ガスの影響についても留意する必要があることがわかる。なおこれらの耐食軽合金鑄物の腐食疲労試験では

S-N 曲線が直線的に降下し、明瞭な疲労限は求められないようである。

Photo. 1 に

腐食疲労試験後の試験片の破面を示した。写真からわかるように少い繰返数で破断したもの、すなわち応力の高い状態 (a) では腐食の影響は現われておらず大気中で疲労試験を行つた場合の破面と何れも変りがない。繰返数が 3.57×10^5 程度 (b) になると破面に腐食を受けたと考えられる黒ずんだ部分が認められ、 1.33×10^6 程度 (c) になるとさらにこの傾向が顕著にあらわれる。この場合試験片表面は Photo. 2 に示すようになりかなり激しい点食を生じている。

$\sigma = 12.21 \text{ kg/mm}^2$ $N = 9.12 \times 10^4$
(a)

$\sigma = 10.19 \text{ kg/mm}^2$ $N = 3.57 \times 10^5$
(b)

$\sigma = 8.15 \text{ kg/mm}^2$ $N = 1.33 \times 10^6$
(c)

Photo.1 Fractured surface of corrosive fatigue specimens.
Specimen: metallic mold casting of AC 7A-d.

$\sigma = 8.1 \text{ kg/mm}^2$ $N = 1.33 \times 10^6$
Photo.2 The specimen after corrosive fatigue test has finished.
Specimen: Metallic mold casting of AC 7A-d

2. キャピテーション試験

Fig.6 に各試料の潰食量および硬度の測定結果を示す。AC7A について見れば、a, b, c, d, e の各試料を通じて潰食量の変化は大体鑄型の種類による硬度変化と反対の傾向

Fig.5 S-N curves in the corrosive atmosphere.

(2) 塩田：軽金属，11(1954)，67.

(3) 塩田：軽金属，13(1954)，44.

を示しているが、各試料間に明瞭な差は認められない。また AC 7A と AC 7B を比較すると、AC 7B の熱処理の相違に

められる。

IV. 考 察

1. 腐食疲労試験

金型鋳物の大気中における疲労強度は繰返し数 10^6 回において、AC 7A で約 10 kg/mm^2 、AC 7B で約 12 kg/mm^2 と報告されている⁽⁴⁾。本実験のような腐食環境における疲労強度は同じく 10^6 回において Fig. 5 に示したように、AC 7A の金型で 6 kg/mm^2 程度であり、砂型試料では一般にさらに低い値を示している。AC 7B についても同様のことがいえるが、AC 7A との比較において引張強さでは AC 7A より明らかに優れているにもかかわらず腐食疲労強度では差がなく、AC 7A の上位のものに比べるとむしろ劣る傾向が認められる。

Table 2 は AC7A 各試料の疲労特性を、応力 6 kg/mm^2 における破断繰返し応力付加回数で表わしたものであり、考察の便のためこれに試料ごとおよび鋳型の種類ごとの引張強さ、吸蔵ガス量の平均値を併記した。表から各試料について見ると、引張強さが優れているものでも疲労強度が劣ることがありうること、すなわち前述の AC 7B が腐食疲

Fig. 6 Erosion and hardness of specimens.

M: Metallic mold casting
SS: Sand casting (small)
SL: Sand casting (large)

による β 相の有無にかかわらず明らかな差は認められない。なおこれらの潰食量は同じ試験条件における A1-青銅などの耐潰食が良いといわれる材料の潰食量の 5~10 倍に相当する。

3. 吸蔵ガス量の分析

Fig. 7 は使用した迅速ガス分析装置における標準状態の H_2 ガス量と不平衡電流の関係を示す。Fig. 8 は不平衡電

Fig. 7 Relation between H_2 volume and unbalanced current obtained by the apparatus.

Table 2 Number of cycles to fracture, corresponding to 6 kg/mm^2 .

Specimen	Metallic mold	Sand mold (small)	Sand mold (large)	mean	Gas vol. mean (cc/100g)	T.S. mean (kg/mm ²)
AC 7A-a	11×10^5	3×10^5	2×10^5	5×10^5	0.51	21.6
AC 7A-b	3×10^5	3×10^5	3×10^5	3×10^5	0.71	23.0
AC 7A-c	10×10^5	3×10^5	4×10^5	6×10^5	0.15	18.5
AC 7A-d	14×10^5	10×10^5	6×10^5	10×10^5	0.38	18.2
AC 7A-e	10×10^5	4×10^5	4×10^5	6×10^5	0.27	17.4
mean	10×10^5	5×10^5	4×10^5	—	—	—
Gas vol. mean (cc/100g)	0.35	0.49	0.38	—	—	—
T.S. mean (kg/mm ²)	24.5	18.2	15.8	—	—	—

Fig. 8 Relation between time and unbalanced current.
Specimen: 50g of AC7A-(c)

る。吸蔵ガス量は Fig. 7 の関係にもとづいて不平衡電流から換算したものである。したがって試料から抽出されたガスをすべて水素と見做し、これを標準状態における体積に換算した値である。試料によりかなりガス量があり、また一般に金型試料のガス量は砂型試料に比べて少い傾向が認

められる。流 (抽出ガス量) と時間の関係の一例を AC7A の C 試料について示したものである。AC7A 各試料の吸蔵ガス量分析の結果は Table 1 のとおりである。

疲労強度において AC 7A より優れているとはいえないことをも含めて、この場合引張り強さが必ずしも腐食疲労強度を代表しないということがいえる。この原因として試料が鋳物であるため引張試験片と疲労試験片の引張強さがもとと同じでなかったこと、各試料の組成、溶解条件および鋳造条件が厳密に同じでなかったことなどが考えられるが、一方吸蔵ガス量の多い試料は疲労強度が低い傾向が認められることから、上記原因の外に吸蔵ガスの影響を無視することはできない。引張強さとガス量についてはむしろガス量の多い試料が引張強さが大きい傾向を示している。

また鋳型の種類別に見ると、金型の試料の疲労強度が最も高く、砂型の (大) と (小) とでは (小) の方がやや高い傾向が認められ、引張強さの傾向と一致しているが、吸蔵ガス量とは明瞭な対応は示していない。この場合鋳造条件が明らかに異なるので、これに伴う組織変化の影響が吸蔵ガスの影響より強く現われたと考えられる。

V. 総 括

(4) 軽金属協会: アルミニウム合金鋳物, (1958), 89.

5% Mg-Al 鋳物 (AC 7 A) および 10% Mg-Al 鋳物 (AC 7B) について、腐食雰囲気中における疲労試験およびキャビテーション試験を行いつぎの結果をえた。

(1) 3% NaCl 溶液を噴霧した腐食雰囲気中での疲労強度は AC 7A, AC 7B ともに大気中での疲労強度の 1/2 程度に低下する。

(2) AC 7B は張強さでは AC 7 A より優れているにもかかわらず、腐食雰囲気中での疲労強度は優れているとはいえない。また AC 7A の各試料についての比較においても、引張強さの大きいものが必ずしも高い疲労強度を示さず、吸蔵ガス量の多い試料は疲労強度が劣る傾向が認められる

(3) 鋳型による質量効果は腐食疲労強度においてもかな

り明瞭に認められ、金型試料に比べて砂型試料の疲労強度は低い。

(4) 腐食雰囲気中での疲労試験では S-N 曲線はほぼ直線的に降下し、明瞭な疲労限は求め難い。

(5) 磁歪式キャビテーション試験機による潰食量は、同じ試料については大体において硬度の高いもの程潰食量が少い傾向を示しているが、各試料間には明瞭な差は認められない。またこの種材料では一般に潰食量は大きく、耐潰食性のよいといわれる Al-青銅に比べると 5~10 倍の値を示す。

最後に本研究を行うにあたって、実験に尽力を戴いた当時東京理科大学学生 鶴見達也君および当研究所員 中里四郎君に厚く謝意を表する。