Proposal of Defect Assessment Methods in New Mg Casting Alloy

○江頭 良太 (九大院) 正 濱田 繁 (九大) 正 野口 博司 (九大)

Ryota EGASHIRA, Graduate School of Kyushu University, 744 Moto-oka, Nishi-ku, Fukuoka

Shigeru HAMADA and Hiroshi NOGUCHI, Kyushu University

Key Words: Mg Casting Alloy, Defect, Stress Intensity Factor, Tensile Strength

1. 緒言

近年、環境問題やエネルギー問題が深刻化する中、自動車等輸送機械の軽量化は重要なテーマの一つである。Mg 合金は、比強度が高いため、実用化が期待されている材料の一つである。本研究で取り扱う新 Mg 合金は難燃性 Mg 合金 AZCa912 に Si を添加した材料で、中温域での引張強さの向上を目的とした新しい Mg 合金である。この新合金の鑄造材について引張試験を行ったところ、一般的な Mg 合金と比べて引張強さのばらつきが大であることが判明した。実用化のためには、引張強さに影響を及ぼす、破壊の起点となる欠陥とその大きさを特定する必要がある。しかし、この新合金の破面様相は通常の破面様相と異なるため、起点を特定することが困難である。そこで、本研究では、引張試験および破面の観察を元にした、破壊起点の特定が困難な材料における欠陥評価法の提案を行う。

2. 試験片及び試験方法

供試材は、難燃性 Mg 合金 AZCa912 に Si を 1% 加えた合金鑄造材と 2% を加えた合金鑄造材を使用した。表 1 に各材料の化学成分を示す。なお、鑄造の際には溶湯の表面にスラグが発生する。添加した Si の一部はスラグとして表面に浮き、スラグとともに廃棄されるため、添加した Si 量と合金中に含まれる Si 量との間には違いが生じている。図 1 に試験片形状を示す。試験片は機械加工の後、試験部に対し、エメリー紙で #1200 まで研磨を行った。試験片は直径 12mm の試験片 (φ12 試験片) と直径 5mm の試験片 (φ5 試験片) の 2 種類を用意した。試験は常温、大気中で行った。φ12 試験片は、万能試験機を用いて試験を行った。なお、万能試験機は試験片固定部が自在継手になっていないため、試験時に試験片に曲げが作用する可能性がある構造になっている。そのため、φ12 試験片の表面には、作用する曲げ応力を測定するために、両側の試験片固定部付近の円周を四等分する位置に合計 8 枚のひずみゲージを貼り試験を行った。φ5 試験片は、島津製オートグラフを用いて試験を行った。引張試験後の破面の観察には、走査型電子顕微鏡 (SEM) と光学顕微鏡を使用した。

Table 1 Chemical composition (wt%)

AZCa912+Si1%

Al	Ca	Si	Mn	Zn	Mg
8.82	1.90	0.93	0.26	0.65	Bal.

AZCa912+Si2%

Al	Ca	Si	Mn	Zn	Mg
9.14	1.71	1.41	0.24	0.68	Bal.

Fig.1 Shapes and dimensions of the specimen

3. 試験結果および考察

3.1 引張試験結果 引張試験結果を図 2 に示す。破断荷重と断面積から求められる見かけの破断応力を σ_B^* 、ひずみゲージの値から求めた曲げ応力を σ_M 、 σ_B^* に曲げ応力 σ_M を加味した応力を破断応力とした。破断応力 σ_B には最大 20% 程度のばらつきがみられた。

3.2 破壊起点 引張試験後の破面を観察した結果、破壊の起点は引け巣もしくは酸化物の単体、または引け巣と酸化物の両方であった。SEM による観察によって引け巣を判別でき、目視による色の違いで酸化物を判別することができる。破壊起点付近の SEM 写真を図 3 に示す。欠陥を囲む外側の白い実線が $\sqrt{\text{area}}$ の範囲である。図 3 の欠陥は、1 つの引け巣の両側に 2 つの酸化物が接して、3 つ足し合わせて 1 つの欠陥となっている。

3.3 破壊起点における $\sqrt{\text{area}}$ の決定 破壊起点における欠陥面積の平方根を $\sqrt{\text{area}}$ と定義する。観察の結果、起点の $\sqrt{\text{area}}$ を決定することができた。なお、引け巣と酸化物が接している場合においては、引け巣と酸化物両方の面積を足し合わせた面積を欠陥面積とした。2 つの欠陥が離れている場合は、2 つの欠陥の間の距離が小さい方の欠陥寸法より小さい場合、1 つに足し合わせた欠陥とみなした。

3.4 破断応力 σ_B と $\sqrt{\text{area}}$ の関係 図 4 に σ_B と $\sqrt{\text{area}}$ の関係を示す。欠陥の大きさが試験片断面積に比べて十分小さいとき、任意形状の表面き裂前縁における応力拡大係数の最大値 $K_{I \max}$ は以下の村上の式⁽¹⁾

$$K_{I \max} = 0.65 \sigma \sqrt{\pi \sqrt{\text{area}}} \quad (1)$$

によって求められる。本研究では、欠陥が試験片形状に対し、無視できない大きさを持つので、以下の式

$$K_{I\max} = F_I \sigma \sqrt{\pi b} \quad (b: \text{き裂深さ}) \quad (2)$$

を用いて補正を行った。補正係数 F_I を導入し、破断応力 σ_B を $F_I/0.65$ で補正した。本実験で扱う材料は $1000 \mu\text{m}$ 以上の欠陥面積を有し、図2で示す試験片寸法 ($\phi 12$, $\phi 5$) に対して無視できない欠陥面積を有している。そこで、試験片寸法に対する欠陥面積の割合を考慮した白鳥らの解析結果(2)を使って補正係数 F_I を計算した。結果を図4中に▲で示す。

3.5 K_{IC} による評価 式(1)を用いた計算結果を図5に示す。図5から分かるように、式(1)の計算によって求めた K_{IC} は一定値の傾向を示さない。その理由は、式(1)は、欠陥面積が試験片寸法に対して無視できない大きさのときは適用できないからである。式(2)を用いた計算結果を図6に示す。図6より、 F_I を用いることにより $K_{I\max}$ をほぼ一定に補正することができ、欠陥の評価が可能になった。以上より、本研究で用いた難燃性 Mg 合金 AZCa912 に Si を加えた合金の鋳造材において、欠陥は引け巣と酸化物であり、欠陥を評価するためには、試験片寸法に対する欠陥の大きさを F_I を用いて補正することが必要であると考えられる。

4. 結言

難燃性 Mg 合金 AZCa912 に Si を 1% 加えた合金と、2% 加えた合金を用いて引張試験を行った。破面観察の結果、引け巣と酸化物の大きさを決定でき、起点とその $\sqrt{\text{area}}$ を決定することができた。以下に結果を示す。

- (1) Si 添加難燃性 Mg 合金は引張強さがばらつく。
- (2) Si 添加難燃性 Mg 合金は $\sqrt{\text{area}}$ が増大するに従って σ_B が低下する。
- (3) Si 添加難燃性 Mg 合金の破壊の起点は引け巣もしくは酸化物の単体、またはその両方からなる欠陥である。
- (4) 欠陥寸法が試験片寸法に対して無視できないので、補正係数 F_I を求め、補正を加えることによって、 $K_{I\max}$ がほぼ一定となり、欠陥面積を考慮した上での σ_B と $\sqrt{\text{area}}$ との関係を示せた。

参考文献

- (1) Murakami, Y., Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions (1993), YOKENDO Ltd.
- (2) Shiratori, M., Miyoshi, T., Sakai, Y. and Zhang, G., Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series A, Vol.53, No.488, pp.779-785 (1987).

Fig.2 Experimental results

Fig. 4 Relationship between σ_B , $\sigma_B * F_I / 0.65$ and $\sqrt{\text{area}}$

Fig. 5 Relationship between $K_{I\max}$ and $\sqrt{\text{area}}$ (calculated by Eq.(1))

Fig. 6 Relationship between $K_{I\max}$ and $\sqrt{\text{area}}$ (calculated by Eq.(2))