マグネシウム・ダイカスト製品の熱的性質と 機械的性質について*

作 井 誠 太** 小 野 田 博**

Seita Sakui and Hiroshi Onoda: The Thermal Characteristics and Mechanical Properties of Magnesium Die Cast Specimens. (On the Characteristics of Magnesium Die Casting, 2nd Report).

Concerning the three kinds of conventionally used die-casting alloys (Mg-, Al-and Zn alloys), we have studied (a) the relation between the temperature of specimens that are ejected from the die and the shot numbers, and (b) the tensile properties and the impact value of specimen at room- and high temperature, with due reference to the shot numbers. By these investigations, the following distinctive features of Mg alloys were found in comparison with those of the other two alloys: (1) The temperature of dies has a strong influence on that of Mg-alloy castings. (2) The mechanical properties of Mg-alloy castings are inferior to those of Al-and Zn alloys. (3) The deformation of castings caused by the ejector pin is mildest in Mg alloys, judging from the strength of castings at high temperature and the casting temperature. (4) It was also ascertained that the heat-loss of the dies varies proportionally to the temperature of the dies.

(Received August 4, 1959)

I. は し が き

第1報では金型の熱的特性を中心として Mg 合金ダイカストが在来の Al 合金および Zn 合金ダイカストと異なる点を明らかにしたが、今回は製品の熱的特性および金型温度、製品温度、製品の機械的性質の三者の関連について調べた結果を述べ、これより Mg 合金ダイカストの特長を明

各測定点の平均を求めずに上限に近いところに実線を引き、たのは測定法の不備のために製品は冷却して実際の表面温度より低い値しか得られず、稀に高い値を得たとすればそれが比較的に真に近い値になろうと推定したのである。Mg 合金では測定点の分散が甚だしいが、Zn 合金ではそれが比較的によく揃うのは各々の合金の熱容量の大小で説明

Table 1 Heat balance in die-casting technique with same typical alloys.

	Temperature of molten metal (°C)	Saturated die temperature (°C)	Saturated temperature of product (°C)	Heat content of molten metal (calorie/shot)	Heat content of product (calorie)	Heat loss from die (calorie)
AZ91A	600	155	180	6120	1550	4570
	640	160	170	6350	1460	4890
	680	175	180	6890	1550	5340
Silumin	600	200	260	8280	2060	6220
	640	215	280	8650	2220	6430
	680	220	280	9070	2220	6850
ZAC No.1	420	155	180	6100	1560	4540
	500	165	190	7050	1650	5400
Pb alloy	320	84	78	2310	350	1960
Sn	300	102	96	3255	550	2705

らかにした。

II. 製品の温度について

第1報と全然同じ金型で小型の試片を鑄造し、金型から取出した試片は数秒以内にその表面温度を接触型の表面温度計で測定した。その結果は Table 1 に示す如く Zn 合金の製品の平衡温度は略々 Mg 合金のそれに等しく、Al 合金では最高である。Fig.1,2,3 は製品温度とショット数との関係を示す。測定点はかなり分散しているがこれは温度計の製品表面への接触が仲々様いにかず、また金型から取出して後の温度測定までの時間も揃わぬためであろう。

** 東京工業大学

* 1959 年 4 月本会東京大会に発表；マグネシウムダイカストの特性に関する研究(第2報)

Fig.1 Temperature of products-shot number curve.

できよう。

これらの曲線に興味があるのは金型温度が常温の時の製

品温度と、金型温度が平衡温度に達した時の製品温度との差である。Mg 合金では 130° の上昇を示し約 325 % の上

Fig.2 The same as Fig.1.

Fig.3 The same as Fig.2.

昇率であり、Al 合金では 150° , 115 %, Zn 合金では 80° , 80% の上昇を示している。このような差異も矢張り合金の熱容量の大小で説明がつく。金型温度の如何によつて製品が金型に奪われる熱量は変化するが、それに伴う製品温度の変化は熱容量の小さな製品ではげしいことは当然であろう。以上の事実から Mg 合金の製品の温度は金型温度の影響を受けることが甚だしいので、製品の性質を保つためには金型温度を一定に保つ必要が大で、その点では Zn 合金、Al 合金よりも難かしい合金であるように見える。

飽和した金型温度および製品温度に対する熔湯温度の影響を示したのが Fig.4 である。この両者が熔湯温度の上

Fig.4 Relation between temperature of molten metal and temperature of die and product.

昇に伴つて高くなることは当然であるが、その他に製品温度と金型温度との差が各合金で異なることが一目で判る。Mg 合金は鑄造の間に持てる熱量を殆んど吐き出し金型温度に近づいた形であり、Al 合金は Mg 合金と殆んど同量の熱量を吐き出した後にもなお多くの熱量を保持し、金型に対して自身の高温を維持しているのであろう。

III. 金型よりの熱損失について

多数のショットの後に金型が平衡温度に達した時には、金型に入る熱量と金型より出る熱量とは等しくなる*。熔湯の持つ熱量を Q_0 、製品が持つて逃げる熱量を Q_1 、熔湯

から金型に移動する熱量を Q_2 とすると

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad \therefore Q_2 = Q_0 - Q_1$$

この式から Q_2 、従つて金型から外部へ逃れ去る熱量を知ることができる。本実験の 3 合金についての Q_0 および Q_1 の値を Table 1 に示す。これより我々は金型の平衡温度と金型からの熱損失 Q_2 との関係を求めることができる。

Fig.5 によれば両者の関係は直線的である。これはもちろん本実験に使用した特定の金型を水冷せずに 25 秒間隔で鑄造した時の特性を示すもので、これらの条件が変ればまた別の関係が生ずるものである。実用されている各種の金型でこの関係を測定することは興味ある研究題目である。Fig.5 から本実験の金型では金型の平衡温度は金型が製品から受取る熱量に比例していることが明らかである。

本実験では金型の平衡温度を測定すれば Fig.5 により Q_2 を知りそれより製品の温度を知ることができるし、逆に製品の平衡温度から金型のそれを推定することも可能である。

IV. 製品の機械的性質について

1. 引張試験

Fig.1, 2, 3 などに示した金型の平衡温度に対応して製品の機械的性質がどのように変化するかを見るために、製品

Fig.6 Relation between tensile strength or elongation and shot number.

Fig.7 The same as Fig.6.

の機械的性質とショット数との関係を Fig.6 以下に示す。最初に引張試験の結果について検討する。

(1) Mg 合金

Fig.6, 7 は Mg 合金における引張試験の結果である。これによれば引張強度と伸びは共にショット数の増加に伴つて増加している。10 ショット目と 150 ショット目のこれらの

* 麻田：軽金属, 26(1957), 55; 和田：精密鑄造, 1(1956), 152.

なえられている 200° 以上が良好な結果を示すのであろう。次に熔湯温度の影響を見るに、640° と 680° では上記の諸性質に対する効果に殆んど差異はないが、600° の熔湯温度では明らかに伸び、引張強度共に劣化してこの温度の不適當なことを示している。

Fig. 8 The same as Fig. 7.

(2) Zn 合金

Fig. 8, 9 に示す如く引張性質に対するショット数の影響は殆んどない。これは製品温度が金型温度に左右されないという上記の事実によるものであろう。熔湯温度の影響は顕著で 420° の時に比べて 500° の場合は伸

Fig. 9 The same as Fig. 8.

びは約 85%，引張強度は 18% の増加を来たしている。

(3) Al 合金

Al 合金製品の引張強度、伸びも Fig. 10, 11, 12 に示す如く殆んど型温の影響を受けない。Fig. 11 の如く金型温度が上昇するとやや強度が低下して伸びが増加する傾向のものもある。ただ引張強度の測定値が著しく散乱しているが目立つ。伸びの測定値は比較的によく揃っているように見えるが、これはその値が 2% 前後の小さいものであるためであらう。熔湯温度の影響としては 600° のものが他の 640°、680° のものに比して強度、

Fig. 10 The same as Fig. 9.

伸び共に劣り、この温度が不適當なことを物語っている。

(4) バーナー加熱による実験

以上は普通の操業の如くに連続的に 25 秒間隔で铸造した場合であるが、さらに高い金型温度においては機械的性質が改善されるのではないかと考えて、常温の金型表面をガスバーナーで加熱し希望温度に達すると直ちに铸造する

実験を行つた。一つの希望温度に対して常に室温から急速に加熱して行くことにした。

Fig. 11 The same as Fig. 10

Fig. 12 The same as Fig. 11.

温度までの変化は上記の曲線の傾向と一致する。Zn 合金の場合何故に上記と著しい差異が見られるのかは判らないが、多分今回の如き急速加熱では金型の表面のみが過熱され金型内部は温度上昇せず急激な温度勾配を生じており、金型のチル効果が大きいためであらう。3 種類の合金について顕微鏡組織の検査の結果は Zn 合金では柱状の樹状晶から成るチル層の発達著しく、Al 合金のチル層の厚さは Zn 合金の 1/3 の程度であり Mg 合金にはチル層は見られない（紙面の都合で写真は省略）。また Zn 合金のチル層の厚さが金型温度で顕著に変化する有様は別の報告で述べるが、金型温度の低い時にはチル層の発達著しく、薄肉鋳物

Fig. 13 Relation between die temperature and tensile strength.

以上を要約すると Mg 合金の引張強度は他の 2 合金に比べると低く、伸びは Al 合金と同程度で共に Zn 合金に比べて低い。熔湯温度の低過ぎるのは引張性質に対して悪影響がある。

これらの試片について引張強度を調べたのが Fig. 13 である。各曲線に附した矢印は前述の連続铸造作業における平衡温度を示す。Zn 合金以外では 50° から矢印の

ではこのため引張強度が著しく増加すると考えると Fig. 13 の説明はつく。Mg 合金で引張強度があまり金型に左右されない原因もわかる。これらはあくまでバーナーで急熱の特殊な場合で普通操業では (4) 項以外で述べていることの方が实际的であらう。

2. 衝撃試験

本実験の板状試片を 2 kg-m 容量の小型シャルピー衝撃

Fig. 14 Impact value of specimens-shot number curve.

試験機で試験の結果は Fig. 14 に示す如くである。振子は試片板面に直角に当るように試片を取りつけた。ダイカスト製品が動的荷重を受ける場合、とくに薄肉壁面の場合を考えると、この種の試験を行つておく必要がある。3 種類の合金の中、Zn 合金は破断せずに塑性的に曲がつてしまい吸収エネルギーの測定はできなかった。Mg 合金および Al 合金では図の如く、Mg 合金は Al 合金に比べると遙かに小さな衝撃値を示している。この衝撃試験の間における時間-荷重曲線を振子に附した水晶と陰極線オシログラフの系で測定した一例は Fig. 15 に示す。

Fig. 15 Load-time curve at impact test.

Mg 合金は最大荷重 40 kg 程度、破断までの時間は 0.0021 秒の程度であるが、Al 合金では 52 kg 前後、0.0045 秒であり、破断の際の荷重降下も Mg 合金に比べて緩やかで靱性の多いことを示している。このように Mg 合金は吸収エネルギーも Al 合金より少く、その荷重-時間曲線も Al 合金より劣り、靱性は少ないといわねばならない。衝撃荷重に対して Zn 合金は最も安全といえよう。また衝撃値が金型温度の上昇と共に向上しているのも興味深い。ことにその向上が Al 合金に著しいのは多分脆いチル層が金型温度の上昇に伴って減少するためであろう。

3. 高温引張強度および伸びの測定

一般に鋳造の際に鋳造残留応力の生ずるのはある臨界温度以下における現象であつて、試片の強度が熱応力および変態応力に十分に堪えうるほど大なる時期である。この意味で臨界温度は高温強度の大きいものほど高く、上記の残留応力発生機会は大きい。ダイカストの場合も同様であろう。この他ダイカスト特有の事柄として押出ピンで製品を金型から押出す作業がある。これは上記の如く相当の高温であり製品の高温強度の小なる時は歪を生ずる恐れがある。また製品自体が高温で使用されることもある。いろいろの点で高温強度を知つておくことが大切で、Fig. 16、

17 はそれぞれ高温における引張強度および伸びを示したものである。

Fig. 16 Tensile strength of specimens at high temperature.

これによれば Zn 合金は温度と共に急激に強度減少、伸び増加を示して、Zn 合金は残留応力は生じ難いが、矢印の温度での押出では押出ピンによる歪の生じ易いことを示している。Mg 合金、Al 合金は略々同様な傾向を示すが、いずれも Zn 合金よりは残留応力が発生し易い。ただ Mg 合金製品の離型時の温度が矢印の如く低いので、押出ピンによる歪は少ないと思われる。その点 Al 合金は離型時の温度が高く、そのため強度は Zn 合金よりも低く押出ピンによる変形を研究しなければならない。

V. 総括

Fig. 17 Influence of temperature on elongation.

3 種類の合金についてダイカスト製品を金型から取出す時の製品温度を測定し、製品温度と製品の機械的性質の関係を考察した。これらの考察において Mg 合金が他の 2 合金と如何なる点が相違する

かを考察した。

(1) 製品温度が金型温度に支配される程度は Mg 合金において最大で Zn 合金で最小である。(2) 本実験の金型では金型よりの熱損失は金型の表面温度に正比例することが明らかになった。(3) 各合金共に、熔湯温度が低きに失する時は機械的性質は明らかに劣化する。(4) 金型温度の機械的性質に対する影響はガス・バーナーで金型を急熱した時と普通の連続作業の場合とは異なる。(5) 薄板状試片では衝撃値は Mg 合金は Al 合金に比べて著しく低い。その事実の内容を衝撃時の荷重-時間曲線で説明した。

(6) 製品の高温強度を測定した。押出ピンによる変形は Mg 合金で最も少いと推定された。

今回の実験に試料用地金について御援助を頂いた三井金属鉱山株式会社、古河マグネシウム株式会社に感謝の意を表します。