研 究

ダイカストにおける湯の充てん時間の最大限界*

太 田 信 之** 小 林 康 男*** 古 川 泰 博†

On the Maximum Limit of a Filling Time of
Molten Metal in Die CastingNobuyuki OHTA, Yasuo KOBAYASHI
and Yasuhiro FURUKAWA

This report deals with the maximum limit $t_{g\max}$ of filling time t_g in which molten metal is able to be enough filled into the cavity of dies. In order to make good die castings, the molten metal injected from the gate of dies must be completely filled in the cavity, before the beginning of the solidification of molten metal. The die castings of various wall thickness can be die-casted by the installation of the core of different outer size in the dies. The

filling time t_g is calculated by the equation $t_g = Q_g / av$, where a is the sectional area of gate, Q_g the volume of cavity, and the velocity v of molten metal from gate is obtained by the speed meter of casting plunger. On the other hand, E. W. Rearwin investigated the solidification time τ of Al-alloy die castings in the dies according to their wall thickness. By the experiment, it is shown that the maximum limit $t_{g\max}$ of the filling time t_g in which molten metal is able to be well filled in the dies is equal to the above solidification time τ .

Key words: die casting, molten metal, die cavity, wall thickness, filling time, solidification time, maximum filling time.

1. ま え が き

ダイカストにおいて、肉薄鋳物の鋳造対策は重要な問題である。肉厚の鋳物では、湯は金型のキャビティのすみずみまで行きわたる。しかし肉薄鋳物では、湯の充てん時間が長いと、湯は湯流れの途中で、その熱を失い、凝固して、その場所にとどまり、湯は金型のすみずみまで行きわたらない。しかし肉薄鋳物でも、充てん時間を短くすると、湯はキャビティのすみずみに行きわたる。すなわち最大充てん時間がある、充てん時間がそれ以下のときは十分に湯の充てんができるが、それ以上のときは金型のキャビティに湯を十分充てんできない。最大充てん時間は鋳物の肉厚と関係がある。本研究の目的は、この最大充てん時間と鋳物の肉厚との関係を明らかにすることにある。また金型設計では、 $t_g < \tau$ としている¹⁾。 t_g はキャビティへの湯の充てん時間、 τ は所定の肉厚の鋳物が金型内で凝固する時間である。本研究の目的は、 $t_g < \tau$ の関係を確かめることにもある。

2. 理 論 的 考 察

金型設計において、 t_g, v は次のようになる²⁾。 v はゲートからの湯の流出速度である。

$$t_g = Q_g \sqrt{\frac{1}{V_m^2 A_c^2} + \frac{A_c}{v_0^2 A_s a^2}} \quad (1)$$

$$v = \sigma \sqrt{\frac{\beta}{\frac{\beta}{V_m^2} + \frac{\sigma^2}{v_0^2}}} \quad (2)$$

ただし、 Q_g は鋳物の体積、 V_m はドライサイクルの鋳造プランジャの速度、 A_c は鋳造プランジャの断面積、 A_s は油圧プランジャの断面積、 a はゲートの断面積、 $\beta = A_s / A_c$ 、 $\sigma = A_c / a$ である。また P_a はアキュムレータ内の圧力、 c をゲートの流出係数、 g を重力の加速度、 γ を湯の単位体積の重量とすれば、 $v_0 = c\sqrt{2gP_a/\gamma}$ である。

式(1)の充てん時間 t_g は金型のキャビティの体積 Q_g 全体を湯で充てんする場合で、キャビティの途中で湯が凝固して、 Q_g の一部に空隙 すなわち巣を残して充てんする場合は考えられていない。

測定において、 t_g の正確な値が求まらなくて、 v が正確に測定できるときは、次のようにすると、 t_g の正確な値が求まる。

$$t_g = \frac{Q_g}{av} \quad (3)$$

他方において、所定の厚さの湯が金型内で凝固する時間 τ を、著者の一人は熱伝導の理論から推定している³⁾。しかし最近多数の人々によって、この凝固時間 t は求められている。ここでは E. W. Rearwin のものを使用している。

ダイカスト鋳造において、ゲートから一番最初に流出した湯が凝固する前に、キャビティを湯で充てんしてお

* 原稿受付 昭和54年5月16日。精機学会・日本機械学会共催日立地方講演会(昭和53年9月29日)にて発表。

** 名誉会員 東洋大学工学部 (川越市鯉井中野台2100)

*** 正会員 東洋大学工学部

† 学生会員 東洋大学工学部

A: 固定金型, B: 可動金型, C: コールドチャンパ,
D: 中子, E: キャビティ, F: ゲート, G: 押出しピン
穴, K: ガイドピン

図1 金 型

かないと、湯は流れの途中で凝固して、強い射出圧力が働いても、湯は金型のすみずみに行きわたらない。したがって湯が金型のすみずみに行きわたる条件は、

$$t_g \leq \tau \quad (4)$$

したがって湯が金型のすみずみに行きわたる最大充てん時間 $t_{g\max}$ は次のとおりである。

$$t_{g\max} = \tau \quad (5)$$

3. 実験装置

3.1 ダイカストマシン

三条機械製作所製 DC 50 型で、型締力は 50 t、油圧プランジャの直径は 90 mm、また V_m は最高 2.5 m/s である。鋳造プランジャは、本研究の場合には、直径 45 mm のものだけ使用したので、 $A_c = 15.90 \times 10^2 \text{ mm}^2$ である。 V_m は速度調整弁を調整するごとに変えられるので、弁の開度と V_m の関係をあらかじめ測定しておく⁴⁾。 P_a は 85 kgf/cm² に設定している。しかしポンプの容量の関係で、鋳造プランジャが予備行程から湯の射出に移るときは、 P_a は設定圧力 85 kgf/cm² より 10~25 kgf/cm² 低下している。この低下の割合は V_m の大きいほど大きくなる。そこで本研究では、鋳造プランジャが予備行程から湯の射出に移るときのアキュムレータの圧力をその圧力計で読み取り、その圧力を P_a としている。

3.2 金 型

本研究に使用した金型を図1および図2に示している。図2において、中子Dを取り換えることのできるようにして、その寸法を変えて、肉厚 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 mm の浅いカップをダイカスト鋳造できるようにしている。鋳物（キャビティ）の寸法は図2の中の表に示している。本研究では、鋳物の肉厚は均一であることが望ましいが、肉薄鋳物では、押出しピンの当たる部分が必要となる。図2の中の表の Q_g にはこの部分の体積が加わ

A: 固定金型, B: 可動金型, C: コールドチャンパ, D: 中子, E: キャビティ, F: ゲート, G: 押出しピン穴, H: 中子位置決めピン, I: 中子固定ボルト, K: ガイドピン

肉厚 t (mm)	0.5	1	2	3	4	5	6	10
寸法 a (mm)	99.0	98.0	96.0	94.0	92.0	90.0	88.0	80.0
寸法 b (mm)	39.5	39.0	38.0	37.0	36.0	35.0	34.0	30.0
Q_g (10 ³ mm ³)	18.10	20.95	38.30	51.15	67.50	85.21	99.71	152.0

図2 金型およびキャビティの寸法

っている。

金型のゲートの形状は図2に示している。この形状のゲートの流出係数は既に測定している⁵⁾。そこで本研究では $c = 0.7$ とする。またゲートの断面積はなるべく小さくとり、 $a = 15.50 \text{ mm}^2$ の1種類である。

3.3 鋳造プランジャの速度測定装置

速度測定装置については前報⁶⁾で報告したので説明は省略する。

4. 研究方法

本研究では、湯が金型のすみずみに行きわたる充てん時間の最大の限界を研究するのであるから、湯がキャビティに行きわたらない場合も必要である。湯がキャビティに行きわたらないようにするには、鋳物を肉薄にして、凝固時間を短くする必要があるが、本研究では工作精度の関係から、肉厚の最小限は 0.5 mm で、この場合の偏心は 0.05 mm である。また湯がキャビティのすみずみに行きわたらないようにするには、ダイカスト鋳造にあたって、充てん時間を長くすることで、式(1)で、 Q_g を大きく、 V_m を小さく、 a を小さく選ぶ必要がある。本研究の場合の a は小さく、 $\sigma = A_c/a = 102.6$ である。

そこで図1および図2の金型を使用して、肉厚 0.5, 1, 2, ..., 10 mm のアルミニウム合金鋳物を、 V_m を変えてダイカスト鋳造して、各々の場合の充てん時間を求める必要がある。しかし測定した速度の波形記録からは、湯の射出開始の位置および湯の充てん終了の位置が正確にわからないので、 t_g の正確な値はわからない。そこで速度

表1 アルミニウム合金鋳物の肉厚と凝固時間 τ の関係

アルミニウム合金鋳物の肉厚 (mm)	0.5	1	2	3	4	5	6	10
凝固時間 τ (10^{-2} s)	0.34	1.65	6.20	14.63	26.01	39.72	57.20	164.7

測定装置を使用して、湯の充てん期間の鋳造プランジャの平均速度 V を求め、ゲートからの湯の平均流出速度 v を、 $v = A_c V / a$ の式から求める。この v を式(2)から算出したものと比較する。この v が決まり、キャビティに流入した湯が凝固後にその体積を求めると Q_g が決まる。 a はわかっているから、式(3)によって t_g が求まる。この充てん時間を充てん時間の実験値 t_{g2} とする。他方、式(1)から t_g を算出する場合、 Q_g は図2の中の表の Q_g を使用して計算する。式(1)から算出した充てん時間を充てん時間の計算値 t_{g1} とする。この充てん時間の計算値 t_{g1} と実験値 t_{g2} を比較する。

他方において、アルミニウム合金鋳物の肉厚と凝固時間 τ の間の関係について、Rearwin の実験による表がある⁷⁾。また τ は鋳物の肉厚の2乗に比例することは一般によく知られている。この表に基づいて、本研究のアルミニウム合金鋳物の肉厚 0.5, 1, 2, ..., 10 mm について、 τ が鋳物の肉厚の2乗に比例する関係を使用してこれを計算したのが表1である。

そこで前の研究で製作したダイカスト鋳物の内でキャビティに湯が行きわたったもの、また行きわたらないものについて、充てん時間の計算値 t_{g1} と実験値 t_{g2} 、および表1の凝固時間 τ を比較して、湯がキャビティに行きわたる場合の肉厚と充てん時間の関係を検討し、式(5)の $t_{g\max} = \tau$ の関係を確認する。

なお本研究に使用した合金は、すべてアルミニウム合金 ADC-12 で、 $\gamma = 2.7 \text{ gf/cm}^3$ としている。

5. 研究結果

5.1 ゲートからの湯の流出速度

図3は鋳造プランジャの速度測定装置によって描かれた波形線図である。図3において、鋳造プランジャは左端から右方に進んでいる。波の高い部分はドライサイクルの期間に相当し、波の低い部分は鋳造期間すなわち湯の射出期間に相当する。この研究では、湯はキャビティに行きわたることを期待できない。したがって波形線図で湯の射出の最初の位置および最後の位置が正確に求まらない。そこで湯の射出期間の鋳造プランジャの平均速度を求める。鋳造プランジャが3 mm 移動するごとに、波形が1山現れる。湯の射出期間の0.02 sの間に波形が6山現れているから、0.02 sの間に鋳造プランジャは18 mm 進み、 V は0.9 m/s となる。 $\sigma = A_c / a = 102.6$ であ

肉厚: 5 mm, $V_m = 1.38 \text{ m/s}$

掃引時間: 20 ms/div, 垂直感度: 1 V/div

図3 鋳造プランジャの速度測定装置による波形線図

るから、 $v = A_c V / a = \sigma V$ より、 v は92 m/s となる。

そこで肉厚 0.5, 1, 2, ..., 10 mm のアルミニウム合金ダイカスト鋳物について、 V_m を変えてダイカスト鋳造を行い、 v を求めて図4に示している。図4において、計算値は式(2)により算出したもので、実験値は前に述べた方法により求めたものである。計算値と実験値は大体において一致している。

5.2 充てん時間

図5(a)は式(1)により算出している。この場合の t_{g1} は、湯が流れの途中で凝固することなく、キャビティのすみずみに行きわたる場合の仮想的なもので、湯がキャビティのすみずみに行きわたらないときは適用できない。

図5(b)においては、 v は前に実験により求めたものを使用し、 $a = 15.50 \text{ mm}^2$ とし、キャビティに流入して凝固した湯の重量を計り、比重で割って体積を求め、その体積を Q_g としている。式(3)によって、 t_{g2} を求めている。

図5(a)および図5(b)において、湯がキャビティ全部を充てんする場合、 t_{g1} と t_{g2} は大体において一致している。湯がキャビティのすみずみに行きわたらない場合は、 $t_{g1} > t_{g2}$ となる。したがって $t_{g1} - t_{g2}$ は、キャビティに残った空隙を充てんする時間に相当する。

5.3 充てん時間と凝固時間の関係

5.3.1 肉厚 0.5 mm の場合

図6において、 t_{g1} は V_m の大きさにかかわらず τ より大きいから、湯はキャビティのすみずみに行きわたらない(図7(a)および図7(b)参照)。また $t_{g1} > t_{g2}$ であ

図4 ゲートからの湯の流出速度 v 図5 充てん時間 t_g と V_m の関係 (1)

るから、これからしても、湯がキャビティに行きわたっていないことは明らかである。

5.3.2 肉厚 1mm の場合

図8において、 V_m が 1.36 m/s 以上では、 $t_{g1} \approx \tau$ であるから、湯はキャビティを一応充てんできる。 V_m が 1.36 m/s 以下では、湯はキャビティを十分に充てんできない。図9(a)では $V_m = 0.15$ m/s であるから、湯はキャビティに行きわたっていないし、図9(b)では $V_m = 1.36$ m/s であるから、湯はキャビティを一応充てんしている。

5.3.3 肉厚 2mm の場合

図10において、 $V_m = 0.45$ m/s 以下では、 $t_{g1} > \tau$ で、 $V_m = 0.45$ m/s 以上では、 $t_{g1} < \tau$ であるから、 $V_m = 0.45$ m/s 以下ではキャビティを十分に充てんできない。 $V_m = 0.16$ m/s では、 $t_{g1} > \tau$ であるし、 $t_{g1} > t_{g2}$ であるから、湯はキャビティを十分に充てんできない。図11において、鋳物の上方に湯が行きわたっていない。

5.3.4 肉厚 3mm の場合

図12に示すごとく、肉厚 2mm の場合と同様である。

5.3.5 肉厚 5mm 以上の場合

図13は肉厚 5mm の場合の充てん時間である。 t_{g1} は

(a) $V_m = 0.15 \text{ m/s}$ (b) $V_m = 1.81 \text{ m/s}$
肉厚: 0.5 mm

図7 ダイカスト鑄物(1)

図8 充てん時間 t_g と V_m の関係(3)

(a) $V_m = 0.15 \text{ m/s}$ (b) $V_m = 1.36 \text{ m/s}$
肉厚: 1 mm

図9 ダイカスト鑄物(2)

V_m の大きさのいかんにかかわらず, $t_{g1} < \tau$ であるから, 湯はキャビティのすみずみに行きわたる. 肉厚が5 mm 以上になっても, τ は肉厚の2乗で大きくなるから, もちろん $t_{g1} < \tau$ の関係は保たれる. 図14には, 肉厚5 mm で $V_m = 0.89 \text{ m/s}$ の場合の鑄物を示しているが, 湯は一応キャビティのすみずみに行きわたっている. しかし肉厚の厚いときは, τ が大きくなって, t_g も大きくなるから, ゲートから最初に流出した湯は金型の表面で冷却して凝固し, 後から来た湯がこれを融かすことが出来なくて, 鋳はだが汚くなっている. なお $t_{g\max} = \tau$ では, 湯はキャビティを充てんするだけで, 鋳はだは汚い. 良好な

図10 充てん時間 t_g と V_m の関係(4)

肉厚: 2 mm, $V_m = 0.16 \text{ m/s}$

図11 ダイカスト鑄物(3)

製品を得るためには, t_g は $t_{g\max}$ より2,3割短いか, その1/2程度の必要がある.

終わりにコールドシャットを防ぐ対策としては, τ を大きくして, t_g を小さくすることである. τ を大きくするためには, 金型の温度を上げ, 湯の鋳込温度を高くすればよい. t_g を小さくするには, Q_g を小さくすれば, 肉厚は同じでも t_g は小さくなる. また V_m および a を大きくすれば, t_g は小さくなる. 式(1)および $v_0 = c/\sqrt{2gP_a/\gamma}$ から, P_a を大きくすれば, t_g は小さくなる. しかしこの影響は a に比較して小さい.

6. 結 論

以上を要約すると次のようになる.

- (1) ゲートからの湯の流出速度 v は式(2)から算出したものと一致する.
- (2) 湯がキャビティを十分充てんする場合には, 充てん時間の実験値 t_{g2} は, 式(1)による計算値 t_{g1} に一

図12 充てん時間 t_g と V_m の関係 (5) 図13 充てん時間 t_g と V_m の関係 (6)

致する。

- (3) 湯がキャビティのすみずみに行きわたらない場合には, t_{g2} は t_{g1} より小さく, $t_{g1} - t_{g2}$ がキャビティ

肉厚: 5 mm, $V_m = 0.89$ m/s

図14 ダイカスト鋳物 (4)

に残った空隙を充てんする時間である。

- (4) ドライサイクルの鋳造プランジャの速度 V_m が大きくなると, t_{g1} および t_{g2} ともに小さくなる。
 (5) 湯がキャビティを十分に充てんする場合には, $t_{g1} < \tau$ で, 湯がキャビティのすみずみに行きわたらない場合には, $t_{g1} > \tau$ である。
 (6) 湯がキャビティを十分に充てんする充てん時間の最大限界 t_{gmax} は凝固時間 τ である。
 (7) 良好な製品を作るためには, 充てん時間 t_g は t_{gmax} より 2, 3 割短いか, その 1/2 程度とする必要がある。

終わりに本研究の基礎となる研究にあたった大学院学生平山賢実君, 村山浩一君, また学部学生本間正己君など多数の学生諸君に感謝の辞を呈する。

参 考 文 献

- 1) 金型便覧, 日刊工業新聞社 (1972) 719.
- 2) 同上, p. 715.
- 3) 太田信之: ダイカスト(改訂新版), 日刊工業新聞社(1968) 180.
- 4) 太田信之, 小林康男, 村山浩一: ダイカスト金型のゲートからの湯の噴出速度, 精密機械, **46**, 4 (1980) 410.
- 5) 太田信之, 小林康男, 古川泰博: ダイカスト金型のゲートにおける湯の流量係数の測定, 精機学会・日本機械学会共催日立地方講演会講演論文集 (1977) 85.
- 6) 太田信之, 小林康男, 村山浩一: ダイカストマシンの鋳造プランジャの速度測定装置, 昭和51年度精機学会秋季大会学術講演会前刷 (1976) 3.
- 7) E. W. Rearwin: Gating of Aluminum Diecastings, Foundry, **88**, 11, (1960) 106.
- 8) 3) に同じ, p. 186.