

自動車用アルミニウム合金 ダイカストの現状

西 直 美*

1. はじめに

ダイカストは、アルミニウム合金、亜鉛合金、マグネシウム合金、銅合金などの熔融金属を精密な金型の中に圧入して、高精度で铸肌の優れた铸物を短時間に大量生産する铸造方式である。優れた寸法精度、美麗で滑らかな铸肌、高い生産性などの長所がある。特にアルミニウム合金ダイカストは、薄肉・軽量で機械的性質も良いことから、シリンダーブロック、トランスミッションケース、ロッカーカバーなどのケース類・カバー類を中心とした自動車部品の用途がダイカスト生産量全体の約95%を占める。一方、一般的に铸造による欠陥が多く発生することや製品内のガス含有量が多くT6熱処理・溶接が難しい。そのために自動車の足回り部品やボディ部品などの要求機能の高い部品への適用が難しい。しかし、最近では層流ダイカストや高真空ダイカストなどの特殊ダイカスト法が開発され、難易度の高い製品への適用も進みつつある。

ここではアルミニウム合金ダイカストの用途を拡大しつつある高品質化技術、薄肉化技術、合金材料技術の現状について紹介する。

2. 高品質化技術

通常のダイカスト法(以後、普通ダイカスト法と呼ぶ)では、プランジャ速度が1~3 m/sの高速(ゲート通過速度は30~90 m/s)で射出され、0.1 s以下の短時間に充填が完了する。また、ゲートの厚さは1~3 mm程度であり、非常に短時間に閉塞し、铸造圧力の伝達は早期に途絶える。その結果、ガス欠陥であるブローホールやひけ巣が発生し、機械的性質や耐圧性の悪化や巻き込まれたガスのためにT6熱処理・溶接が難しい。そこで、これまでに表1に示すような特殊ダイカスト法が開発されてきた。以下、これらのダイカスト法について簡単に紹介する。

表1 特殊ダイカスト法.

充填速度	名 称
低速充填	スクイズダイカスト
	低速充填ダイカスト
	セミソリッドダイカスト
高速充填	高真空ダイカスト
	PFダイカスト

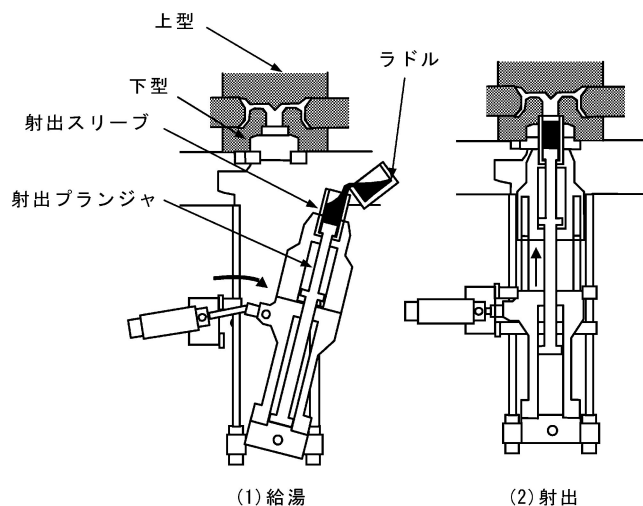


図1 スクイズダイカスト法の原理図.

(1) 低速充填によるダイカスト

スクイズダイカスト法は、図1に示すように傾転した縦型の射出スリーブ内に溶湯を注湯した後に、スリーブを金型部に連結し、厚いゲートから溶湯を静かに金型キャビティ内に充填する方法である⁽¹⁾。50~110 MPaの高圧力で加圧することにより、ひけ巣が少なく微細な凝固組織を有するダイカストを得ることができる。また、ガスの含有量も1 mL/100

* 一般社団法人日本ダイカスト協会技術部；技術部長(〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8) Current Conditions of Aluminum Alloy Die Castings for Automotive; Naomi Nishi (Technology division, Japan Die Casting Association, Tokyo)

Keywords: die casting, aluminum, squeeze die casting, vacuum die casting, semi-solid die casting, pore-free die casting, thin wall die casting, new die casting alloy

2014年7月22日受理[doi:10.2320/materia.53.589]

g Al 以下と少ないことから T6 熱処理や溶接が可能で、自動車のホイールなどが生産されている。横型のダイカストマシンを用いて、低速で溶湯を充填する方法も開発されている⁽²⁾。スクイズダイカスト法と同様にひげ巣、ブローホールが大幅に低減され、高強度で延性、靱性の高いダイカストを得ることができる。

アーレスティでは図2に示すようなエア加圧により直接に金型キャビティ内へ溶湯を充填し、加圧子により加圧する NI 法(New Injection Die Casting Process)⁽³⁾を開発した。同方法は、ランナーやキャビティ表面に粉体離型剤を塗布して充填過程での溶湯の冷却を防止し、また層流で金型キャビティに溶湯を充填するため空気の巻き込みも少なく、図3に示すナックルアームのような機械的性質の優れたダイカストの生産を可能にしている。

セミソリッドダイカスト法は、初晶を粒状化することにより固液共存状態で casting できる方法である。凝固収縮量が少なくひげ巣が発生しにくい、粘性流動のためガスの巻き込みが少ない、潜熱量が少なく金型寿命が長い、などの特徴がある。この方法には、レオキャスト法とチクソキャスト法がある。前者は合金を液体状態から攪拌しながら冷却して初晶を

粒状に成長させて所定の固相率に到達した時点で成形する方法で、半凝固 casting 法とも呼ばれる。後者は、粒状組織を生成させたスラリーを一旦凝固させてビレットを作製し、 casting の際に再度ビレットを加熱して固液共存状態にしてから成形する方法であり、半溶融 casting 法とも呼ばれる。

東京理化学工業所は、日本国内で初めてチクソキャスト法を導入し、耐圧部品や重要保安部品などを生産した⁽⁴⁾。また、本田技術研究所では独自にチクソキャスト法を開発し、ボディ部品を生産した。しかし、同方法は組織調整された特殊なビレットを再溶融するためにコスト的な課題があり、現在ではほとんど生産されていない。

日立金属ではレオキャスト法の開発に取り組み、電磁攪拌装置を取り付けたスクイズマシンの射出スリーブ内に溶湯を供給し、スリーブ内で粒状の初晶を生成した後に射出・充填する方法を開発し、図4に示す足回り部品を生産している⁽⁵⁾。ナノキャストでは、図5に示すように電磁攪拌装置内のステンレス製カップに溶湯を注湯し、急速に冷却することで核生成数を多くして、極めて短時間に溶湯をセミソリッド状態にする方法を開発した⁽⁶⁾。これまでのセミソリッドダイカスト法(100 μm 以上)に比較して初晶 α 晶の粒径が小さく

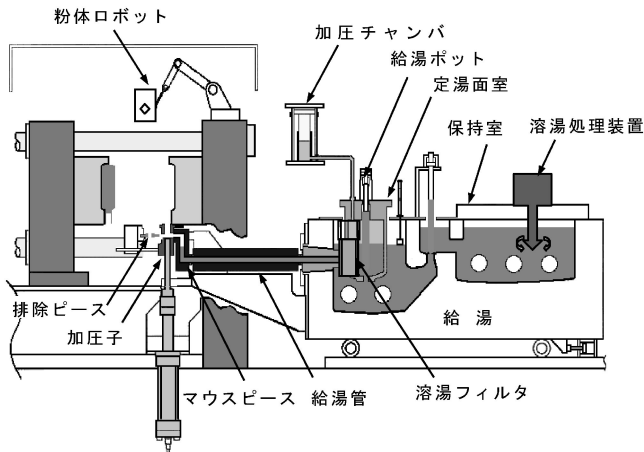


図2 NI法(New Injection Die Casting Process)の原理図⁽³⁾。



図3 NI法で生産したナックルアーム(アーレスティ提供)。



図4 半凝固ダイカスト法で生産したアッパーアーム(日立金属提供)。

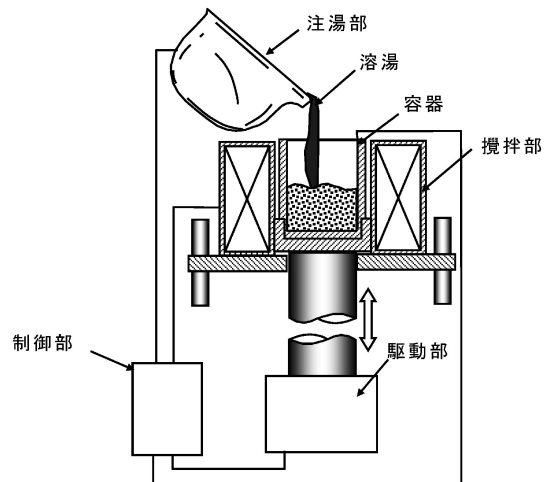


図5 ナノキャスト法の原理図⁽⁶⁾。

50 μm 程度となることを特徴とする。東京理化学工業所は、この方法で二輪自動車のアームサスペンションなどを生産している。

(2) 高速充填によるダイカスト

従来、金型キャビティの空気を強制的に排気する真空(減圧)ダイカスト法が使用されていたが、真空度は20~50 kPa程度であり、製品内のガス量は5~20 mL/100 g Al程度でT6熱処理や溶接などが難しかった。それに対して、金型合わせ面、押出ピンクリアランス、プランジャチップ等のシール方法や給湯方法を工夫して金型キャビティ内の真空度を10 kPa以下にする高真空ダイカスト法が開発されている。最初に注目を集めたのは1994年にAudi A8のオールアルミニウムスペースフレームのボディ部品やベンツのクロスメンバーなどをダイカスト化したVacural法⁽⁷⁾(図6)であった。この工法の特徴は、射出スリーブと保持炉の溶湯がサクシオンパイプで連結されており、金型キャビティおよび射出スリーブ内を真空にすることで射出スリーブ内に溶湯を吸い上げるため、長時間の真空吸引ができ5 kPa以下の真空度が得られる。製品内のガス量は1~3 mL/100 g Alで、T6熱処理

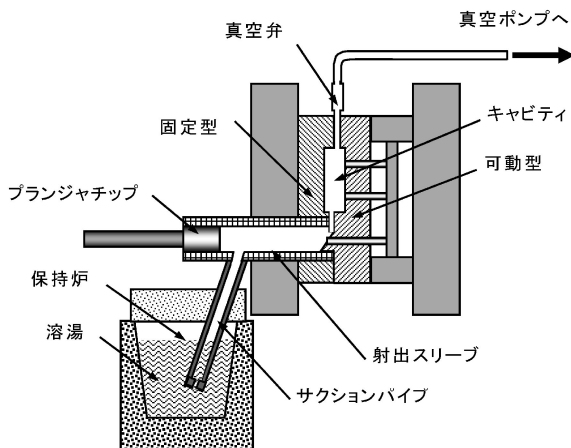


図6 Vacural法の原理図。

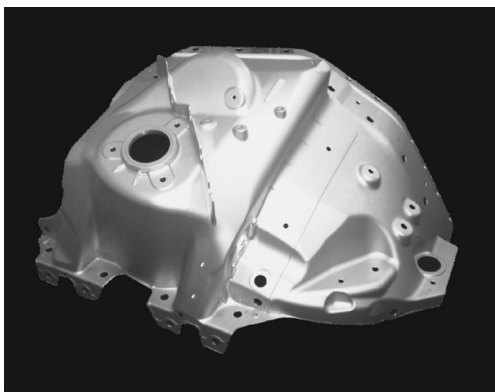


図7 高真空ダイカスト法で生産したストラットハウジング(日産自動車提供)。

や溶接が可能である。その後欧州で使用実績が拡大するとともに、日本国内にも導入されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。日産自動車では、サブフレームや図7に示すようなストラットハウジングなどの重要保安部品のダイカスト化を行った。最近では、マツダが高真空ダイカストと次章で紹介する超高速ダイカストを組み合わせて、一般肉厚2.5 mmのシリンダーブロックを生産している⁽¹⁰⁾。真空度は10 kPa以下、プランジャ速度は6.6 m/sである。

また、本田技術研究所では、図8に示すような高張力鋼のプレス部品(黒色の部分)の上に高真空ダイカストで製造した部品(白色の部分)を乗せて摩擦攪拌により接合したサブフレームを開発した⁽¹¹⁾。ダイカスト品は、ADC3相当合金を用いて高真空・超高速ダイカストにより生産し、T5処理を行っている。

キャビティ内を真空に引く代わりに、金型キャビティの空気を酸素で置換するPF(Pore Freeの略)法が開発された⁽¹²⁾。図9にその原理を示す。置換した酸素とアルミニウム合金溶湯が反応し、固体の酸化物を形成して瞬間的に真空状態となる。その結果、ブローホールなどのガス欠陥を大幅に減少させ、T6熱処理や溶接を行うことができる。この方法で図10に示すような自動車のハウジング(T6処理品)など



図8 高真空ダイカストで製造した部品と高張力鋼のプレス品を摩擦攪拌により接合したサブフレーム(本田技術研究所提供)。

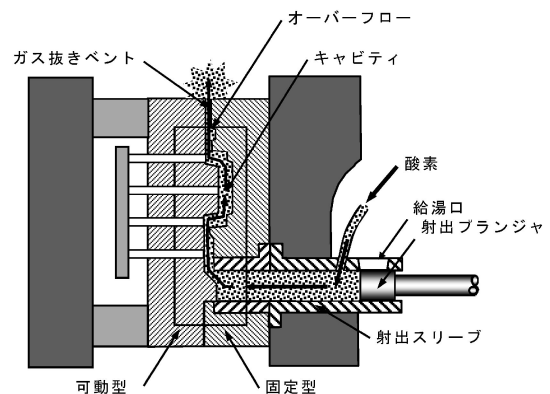


図9 PF(Pore Freeの略)法の原理図。



図10 PF法で生産したハウジング(アーレスティ提供).

が生産されている.

3. 薄肉化技術

これまでのアルミニウム合金ダイカストの平均肉厚は、対象製品によって異なるが自動車関連部品では3~5 mm、電気・通信関連の部品では1~2 mmが一般的である。ダイカストの肉厚については、ダイカスト表面積あるいはダイカストの大きさの関係で表2に示されるような目安が経験的に設定されている⁽¹³⁾。しかし、最近では軽量化を目的に表2より更に薄肉なダイカストの要求が高まっている。

薄肉のキャビティに溶湯が完全に充たされるためには、充填過程で凝固し流動が停止してはならない。F. C. Bennett⁽¹⁴⁾は、単位体積中の熱量が肉厚の中央断面に集中していると考え、ダイカストの凝固時間を定常状態のフーリエの式を用いて求め、その70% (Bennett Factor) が充填時間(θ)であるとして式(1)を提案している。

$$\theta = \frac{0.7\rho x^2 \{q_a + c(T_m - T_s)\}}{k(T_m - T_d)} \quad (1)$$

ここで、 k : 溶湯の熱伝導率、 q_a : 溶融潜熱、 c : 比熱、 ρ : 溶湯密度、 T_m : 溶湯温度、 T_s : 液相線温度、 T_d : 金型温度、 x : 肉厚の1/2とする。

肉厚が1 mmの製品をADC12(密度: 2.4 g/cm³, 比熱 0.963 kJ/(kg·K), 溶融潜熱 403 kJ/kg)で溶融温度 953 K, 金型温度 473 Kに铸込むとすると式(1)より5 msで充填を完了しなければならない。铸込み質量が1 kg, 射出プランジャ径を12 cmとした場合、肉厚1 mmの製品を铸造するための射出速度は7 m/s程度が必要である。

この高速射出を実現するためには、加速・減速のレスポンスに優れた大容量バルブや射出コントロール機能を有する铸造機が必要である。最近では射出速度5 m/s以上の高速射出を可能にした超高速ダイカストマシンが普及しつつある⁽¹⁵⁾。図11に広島アルミニウム工業が超高速ダイカストマシンで生産した一般肉厚が1.5 mmのオイルセパレータを示す⁽¹⁶⁾。同製品はトランスミッションケース内に装着される

表2 ダイカスト表面積と最小肉厚.

ダイカストの表面積*1(cm ²)	最小肉厚(mm)	
	Zn合金	Al, Mg合金
25まで	0.6~1.0	0.8~1.2
25~100	1.0~1.5	1.2~1.8
100~500	1.5~2.0	1.8~2.5
500以上	2.0~2.5	2.5~3.0

*1: 最小肉厚で形成される単一主平面の面積



図11 超高速ダイカスト法で生産したオイルセパレータ(広島アルミニウム工業提供)⁽¹⁴⁾.

もので歪み許容差が±0.26 mmと厳しく、铸放して高精度を確保している。先に述べたマツダのシリンダーブロックや本田技研のサブフレームなどもこの超高速ダイカストマシンを用いて铸造されている。

4. 合金材料技術

ダイカスト用アルミニウム合金には、金型とダイカストが反応する焼付や型侵食を防止するためにFeが0.7~1.0% (JIS規格では1.3%以下)添加されている。しかし、Feは β Al-Si-Fe金属間化合物を形成して延性や靱性を低下させる。したがって、ADC12を例にとると铸放しでの伸びは1~3%程度で、先に述べたような特殊ダイカスト法によりT6処理をしても大きな伸びの向上は期待できない。また、ADC12では強度を高くするためにCuが1.5~3.5%添加されているが、耐食性を害する要因になっている。そこで、欧州では、サブフレームやストラットハウジングのような重要保安部品には、Feの含有量を少なくし、焼付や型侵食を防止するためにMnを添加した材料が開発・実用化されている⁽¹⁷⁾。また、耐食性を良好にするためにCuの代わりにMgを添加して強度を確保している。

図12(a)に、Al-10Si-0.5Mg系合金ダイカストのマイクロ組織を示す。比較のため(b)ADC12も示した。Feの含有量は0.15%以下、Mnは0.5~0.8%添加されている。Al-10Si-0.5Mg系合金ダイカストのマイクロ組織は α -Al晶と微細な共

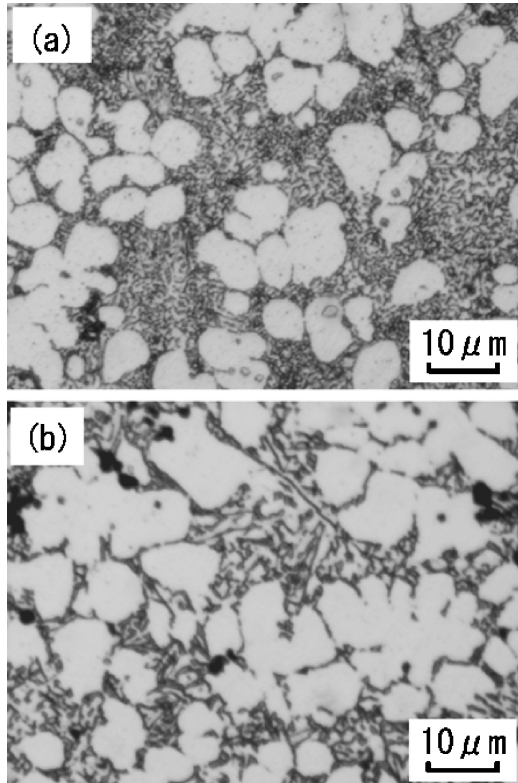


図12 ダイカストのミクロ組織。(a) Al-10Si-0.5Mg系合金。(b) ADC12。

晶のAl-Siで構成されており、ADC12のそれとは大きく異なる。

欧州では、ストラッドタワーやハッチバックサポートフレームなどの自動車のボディ部品や、アーム類などに適用されている。国内でもサブフレームやストラッドハウジングなどにこれらと同様な合金が使用されている。

Al-Si-Mg系合金は、T6処理やT7処理をして使用することが多いが、薄肉品の場合溶体化処理の過程で歪みや変形を発生することがある。それを回避するため、Al-5Mg-2Si系の非熱処理型の合金が開発されている。Al-Si-Mg系合金と同様にFeを減らしてMnを添加している。欧州では、ドアのインナーフレームやサブフレームなどが生産されている。ただし、本合金系は、湯流れ性が悪くまた铸造割れを発生しやすいなど铸造性に問題を抱えており、使い方が難しい。

5. おわりに

ダイカストの技術開発は、铸造による欠陥への対応、薄肉化への対応、機械的性質向上への対応などに取り組み、多くの自動車部品にダイカストが適用されてきた。そして、これらの技術を組み合わせることで更なる用途拡大が期待される。しかし、欧州に比べて日本国内ではダイカスト用合金を含めた材料技術の研究・開発は不十分であり、今後更にダイカストの用途を拡大し、国際競争力を高めていくには、これらの材料技術に対して産・学・官が連携して取り組み、レベルアップを図る必要があるであろう。

文 献

- (1) 安達 充：铸造工学，**71**(1999)，131-139.
- (2) 竹久文隆，深谷紘一，横井光義：铸物，**66**(1994)，506-511.
- (3) 青山俊三：型技術，**12**(1997)，4，31-33.
- (4) 松野慎也，齊藤正央，菊池政男：1996年日本ダイカスト会議論文集，(1996)，209-213.
- (5) 金内良夫，柴田良一，今村具哉：铸造工学，**74**(2002)，595-600.
- (6) 渡邊一彦，土屋金雄，小林英二，花田和直，板村正行，金宰民，洪 俊杓：2004日本ダイカスト会議論文集，**JD04-38**(2004)，229-234.
- (7) 早坂勝博：型技術，**18**(2003)，4，55-59.
- (8) 田代政巳，神戸洋史，浅井宏一，工藤勝弘：2002日本ダイカスト会議論文集，**JD02-37**(2002)，235-239.
- (9) 金内良夫：型技術，**19**(2004)，4，43-47.
- (10) 大塚 真，河野一郎，小国英明，菅谷 智，竹村幸司，佐々木大地：マツダ技報，**31**(2013)，197-201.
- (11) 宮原哲也，佐山 満，矢羽々隆憲，大浜彰介，畑 恒久，小林 努：Honda R&D Technical Review，**25**(2013)，1，71-77.
- (12) 三木 功：型技術，**12**(1997)，4，45-51.
- (13) 菅野友信，植原寅藏：ダイカスト技術入門，第2版，日刊工業新聞社，(1997)，10.
- (14) F. C. Bennett: Trans. 4th National Die Casting Congress (SDCE)，Paper No. 503 (1966).
- (15) 辻 真：型技術，**18**(2003)，4，18-24.
- (16) 広島アルミニウム工業㈱：会報ダイカスト，**128**(2008)，7-11.
- (17) 渡邊修一郎：素形材，**50**(2009)，9，23-29.



西 直美

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1985年 東海大学工学研究科金属材料工学科専攻博士課程修了
 1985年 リョービ株式会社入社
 2002年 一般社団法人日本ダイカスト協会 入社 現職
 専門分野：材料工学，铸造工学
 ◎ダイカストの基礎的研究，ダイカスト用材料開発やプロセス開発に従事。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★