

論文 溶湯清浄化機能を付与した高品質ダイカスト技術の開発*

Development of High Quality Die Casting Technology with the Function of Purifying Molten Metal

波多野 智之

高木 博己

稲垣 三次

Tomoyuki HATANO

Hiromi TAKAGI

Mitsugi INAGAKI

Die casting is “A process in which molten metal is injected at high velocity and pressure into a mold (die) cavity”. It is possible to achieve a casting with a smooth surface, a high dimensional precision, a complicated shape, and can reduce a part’s weight by using this process. But this process is susceptible to casting defects such as porosities, scattered chilled layers, hard spots, etc.

In order to prevent casting defects, we developed “Low-velocity high pressure die casting technology”, “Squeeze die casting technology”, “Heat insulating sleeve lubricant technology” and “Direct pouring technology”. We make use of the “Direct pouring technology” to obtain pure molten metal without oxide contamination. Direct pouring technology is a pumping system which supplies pure molten metal to the die casting machine. We reduced the quantity of oxide contamination in the casting to 1/20th of that of our previous castings.

Key words : Diecasting, Aluminum, Alloy, Casting defect, Furnace, Pouring

1. はじめに

近年、ダイカスト品はブレーキ部品、足回り部品として使用されるなど高い耐圧性、強度信頼性を要求される部位で使用されつつある。例えばブレーキ部品の一つであるABSアクチュエータ部品 (Fig. 1) はコストダウンのため従来の押出材からダイカスト品への転換がはかられている。¹⁾²⁾ 更に弊社のABSアクチュエータ部品ではダイカスト品を塑性変形 (=かしめ) させ電磁弁部品等を締結することが必要とされ、ダイカスト品は高い耐圧性は当然のこと、塑性変形させても割れることのない品質信頼性を要求される。

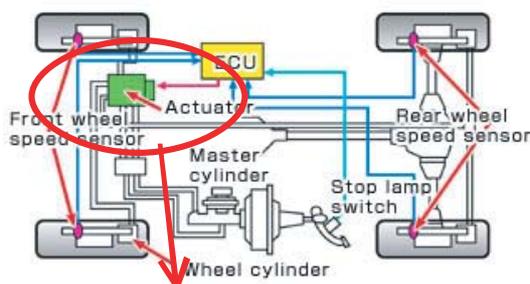
ダイカスト品の品質信頼性を確保することは鑄造欠陥をいかに抑制するかがポイントとなる。当社では巣欠陥に対して低速横型高圧ダイカスト法³⁾、破断チル層に対して断熱スリーブ潤滑技術⁴⁾をこれまでに開発してきたが、品質信頼性を更に向上するため新たに溶湯清浄化技術を加えた高品質化技術を開発した。また国際的な価格競争に耐えるコストの実現のため多数個取りを可能とする高生産性技術を開発した。

2. 技術課題と開発技術

前述の高い耐圧強度を満足しかつダイカスト部品をかしめることで部品締結するABSアクチュエータ部品の実現に向けて、Fig. 2の要求仕様に基づく課題は以下のものであると考えた。

- (1) かしめ性を考慮したアルミニウム合金の検討
- (2) 耐圧強度確保、かしめの実現のための巣、破断チル層、介在物防止
- (3) 高生産性実現のための多数個取り

これらの対応技術として、(1) についてはアルミニウム合金の機械的性質の向上、(2) については以前に開発した巣防止技術である低速横型高圧ダイカスト技術³⁾破断チル層防止技術である断熱スリーブ潤滑技術⁴⁾に加えて、溶湯中介在物 (酸化物) 混入防止に対し特に脱ガス装置、セラミックフィルタ (2重構造)、保持炉からダイカストマシンへ空気に触れないようにアルミニウム合金溶湯を供給する直接給湯装置を付与した炉の開発、(3) については多数個取り (3個取り)



ABS actuator controls the brake hydraulic pressure for each wheel cylinder.

Fig. 1 ABS actuator

* (社) 日本鑄造工学会の了解を得て、「鑄造工学」Vol.75 (2003年6月号) より転載

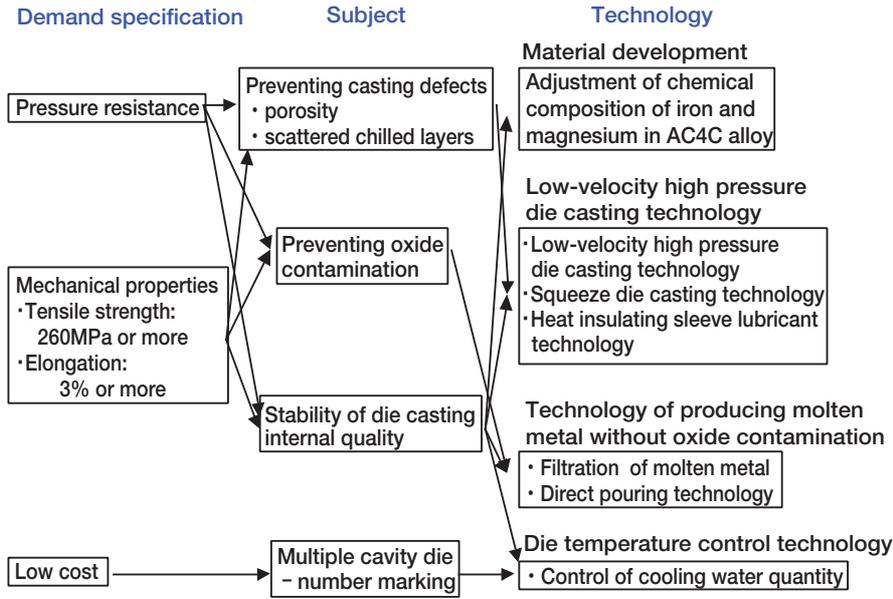


Fig. 2 Subjects to get die casting that is high pressure resistance and possible to assemble by caulking

の実現において金型の中央方向にレイアウトされたキャビティ温度が外側に比べ上昇しやすいことで発生する凝固アンバランスに対し、キャビティごとに冷却水量、通水時間をコントロールできるクローズループ式金型冷却システムを開発し、キャビティごとの凝固コントロールを各々施した。

これらの開発技術について、以下詳細説明する。

2.1 かしめ性を考慮したアルミニウム合金の検討

耐圧部品を成立させる高強度でありかつ、かしめ性が良好な伸びのあるアルミニウム合金を目指し開発した。材料のベースはABSアクチュエータ材料として当社で実績のあるAC4Cアルミニウム合金を用い、熱処理として溶体化・時効処理 (T6) することで強度を確保した。AC4Cアルミニウム合金の成分に対する最適化としてはFig. 3に示すように (1) 固溶、析出強化に有効なMg量を0.3~0.45%と通常のAC4Cアルミニウム合金より若干高くすることで引張強さの向上及び (2) 針状組織形態をとり、伸び性を阻害するFe量を0.3%以下とすることで伸び性を確保した。

2.2 耐圧強度確保、かしめの実現のための鑄造欠陥防止の考え方

ダイカスト品の耐圧性確保、かしめ時の信頼性を上げるための鑄造欠陥防止については、Fig. 4及びFig. 5に示すように当社で以前に開発した巣防止技術である低速横型高圧ダイカスト技術、破断チル層防止技術であ

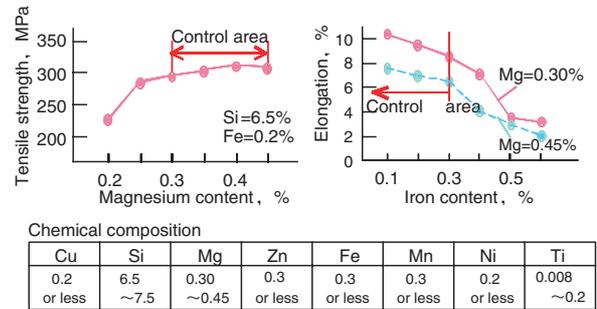


Fig. 3 Chemical composition of aluminum alloy and effect of iron and magnesium content for mechanical properties

る断熱スリーブ潤滑技術に加えて、溶湯中介在物 (酸化物) 混入防止に対して特に脱ガス装置、セラミックフィルタ (2重構造)、保持炉からダイカストマシンへ空気に触れないようにアルミニウム合金溶湯を供給する直接給湯装置を付与した炉を開発した。低速横型高圧ダイカスト技術はアルミニウム合金溶湯をキャビティ内に充てんする際、キャビティ内の充てん挙動が層流状態と近い状態になるように非常に遅い速度で射出プランジャを前進し、空気及び離型剤・潤滑剤から発生する熱分解ガスの巻き込みを抑えるとともにスクイズダイカスト (局部加圧) 技術でひけ欠陥を抑える技術である。また断熱スリーブ潤滑技術はダイカストマシン射出スリーブ内でのアルミニウム合金溶湯の凝固を抑えるために射出スリーブ内壁に断熱性の高い潤滑剤を均一塗布し、射出スリーブ内でのアルミニウム合金溶湯の温度低下を抑える技術である。

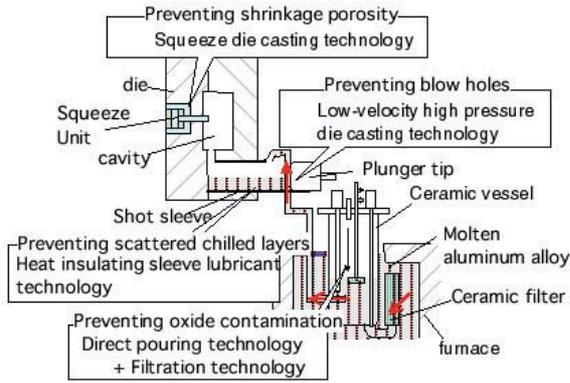


Fig. 4 Technology to prevent casting defects

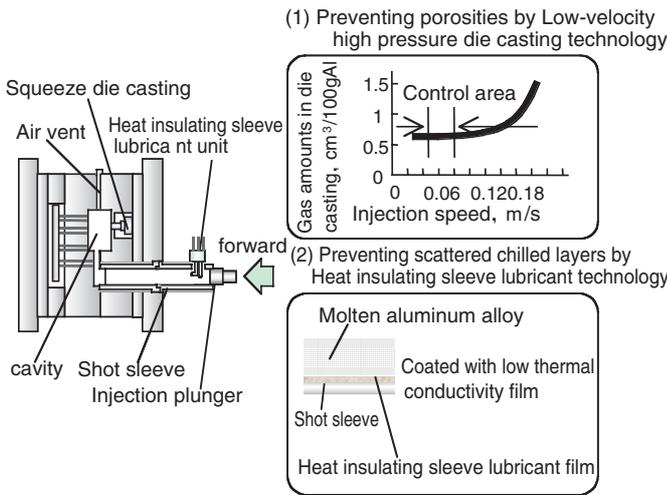


Fig. 5 Technology to prevent porosity and scattered chilled layers

2.2.1 介在物混入防止を目的とした炉構造

ダイカスト品への介在物混入防止となる溶湯清浄化技術の考え方は以下のである。

- (1) アルミニウム合金を溶解又は保持しているときに発生した介在物（酸化物）を炉内で分離、除去する
- (2) 炉からダイカストマシンに溶湯を供給する時にアルミニウム合金溶湯表層の酸化物が混入しないようにする

前者の介在物（酸化物）の分離、除去については保持炉に脱ガス装置、セラミックフィルタを付与することで解決した。ダイカストではリターン材を再溶解するため展伸材鑄造に比べ酸化物の発生が多いことを想定し、セラミックフィルタはFig. 6のように粗いメッシュのセラミックフィルタを炉内に、細かいメッシュのセラミックフィルタを直接給湯装置溶湯取入口に設置し2重構造とすることでセラミックフィルタの寿命と介在物除去の性能を両立した。後者のアルミニウム合金溶湯表層の酸化物混入防止に対しては、保持炉の

汲出口にFig. 7に示す直接給湯装置（溶湯供給装置）を設置し防止するとともに前述のように直接給湯装置のアルミニウム合金溶湯吸引口にセラミックフィルタを取り付けアルミニウム合金溶湯中の介在物の混入を防止した。同装置はセラミック（窒化珪素）でできた加圧ポット、給湯管、給湯ノズルで構成した装置であり不活性ガスで加圧ポット内を加圧し給湯する装置である。

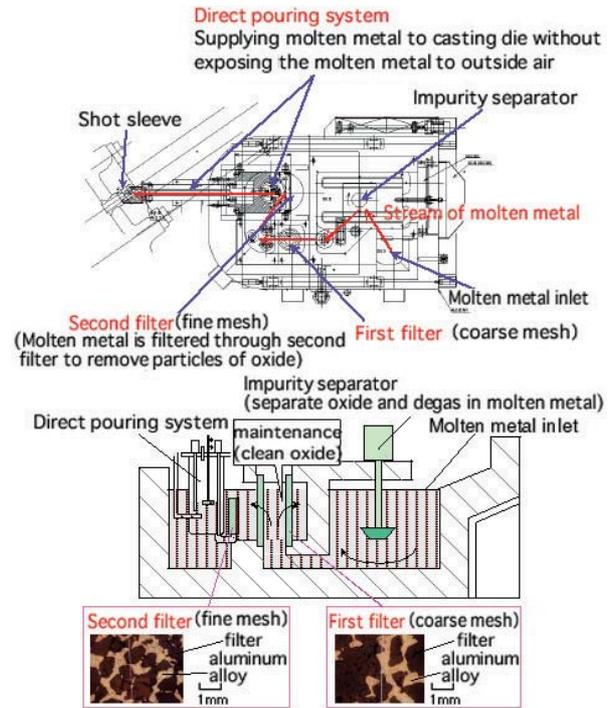


Fig. 6 Furnace structure to prevent oxide contamination in molten metal

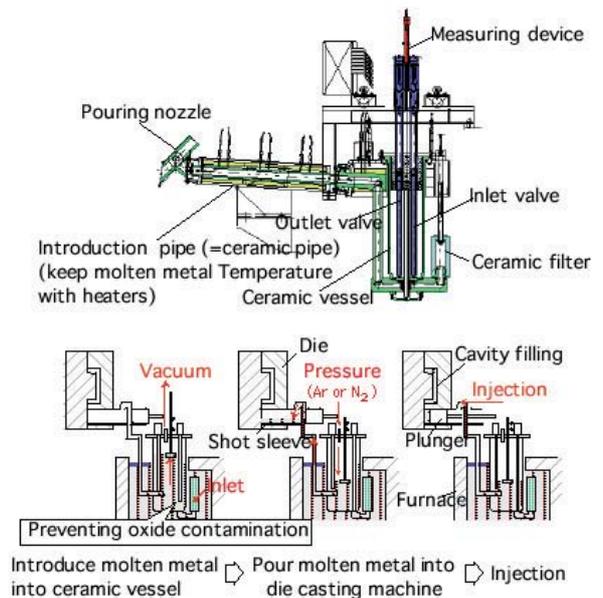


Fig. 7 Schematic view of direct pouring system

直接給湯装置の動作順序を以下に示す。

- ① セラミックフィルタの取り付けられた側の吸引側バルブを開け加圧ポット内を真空装置で減圧し、アルミニウム合金溶湯をあらかじめ決められたポット内の高さまで吸引する
- ② 吸引側バルブを閉じ、給湯側バルブを開け加圧ポット内を不活性ガスで加圧しアルミニウム合金溶湯をダイカストスリーブ側に注ぐ。加圧ポット内にフロート式センサが取り付けられ、加圧ポット内の溶湯表面があらかじめ決めた給湯量に相当する変位量を動いたことを確認し、給湯完了とする
- ③ 給湯完了したことをダイカストマシン側に信号を送り、射出プランジャを前進する

この装置を用いることでアルミニウム合金溶湯表面の酸化物巻き込みを抑制した。

2.2.2 鑄造欠陥防止に対する効果

上記技術による鑄造欠陥に対する防止効果をFig. 8及びFig. 9に示す。巻き込み巣に対しては低速横型高压ダイカスト技術により製品内ガス量を0.5~0.7cm³/100gAlに、ふくれ率（アルミニウム合金の軟化温度まで加熱した場合のダイカスト品の比重差でふくれを測定したもの）も0.5%程度と巻き込み巣を抑えることを可能とした。破断チル層に対してはビスケット部の凝固組織を観察したが、断熱スリーブ潤滑技術により製品内への混入を抑制している。また介在物に対しては前記溶湯清浄化技術を用いることで、介在物量をK10値（炉内のアルミニウム合金溶湯を矩形鑄型に鑄込み、破断した破面に確認される介在物量を10倍の拡大鏡で個数を数える方法）で1以下、PoDFA法での評価値として0.03mm²/kgとし、従来技術に比べ約1/20程度に低減できた。また切削時の介在物不良発生も従来に比べ1/100程度に抑えることを可能とし、切削刃具のチッピング等のトラブルもなく安定生産を実現した。

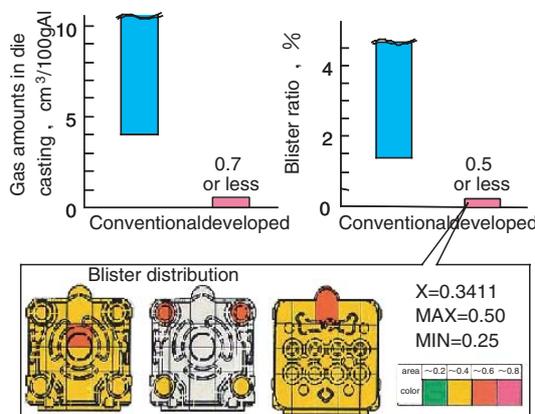


Fig. 8 Effect to prevent casting defects ① -porosity-

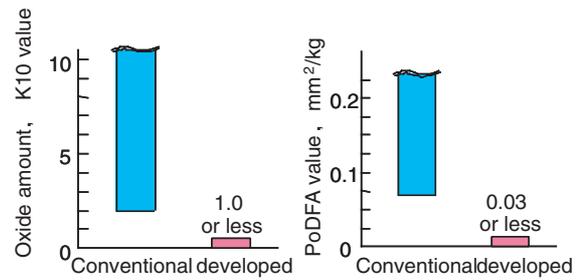


Fig. 9 Effect to prevent casting defects ② -oxide contamination-

前記アルミニウム合金の検討及び鑄造欠陥防止技術により、ダイカスト品実体から切出した試験片の機械的性質を評価した結果をFig. 10に示す。引張強さ、伸びともに目標値を満足し、ダイカスト品質を確保した。

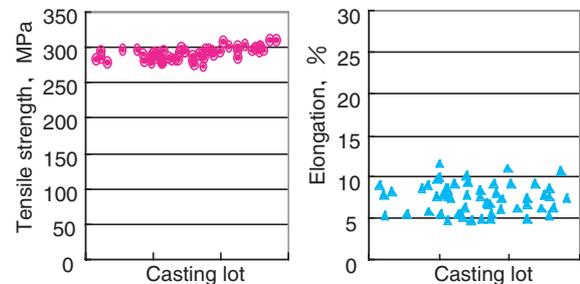


Fig. 10 Mechanical properties of die castings

2.3 クローズループ式金型冷却システムの開発による多数個取りの実現

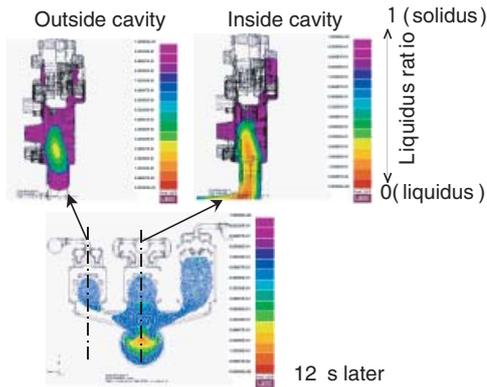
前記のように、本開発においては多数個取り（3個取り）で取り組んでいるが、本製品の特徴から以下の課題が想定される。

- (1) 比較的厚肉品であり金型の中央側が蓄熱しやすい
- (2) 低速横型高压ダイカスト技術を用いているためゲートを広げており、ランナ及びビスケット温度がキャビティ部の凝固に影響しやすい上に、キャビティレイアウトを水平方向に同じ高さとするため、ビスケットからキャビティまでの距離が外側に対し内側は近くなり内側キャビティの凝固が遅れる

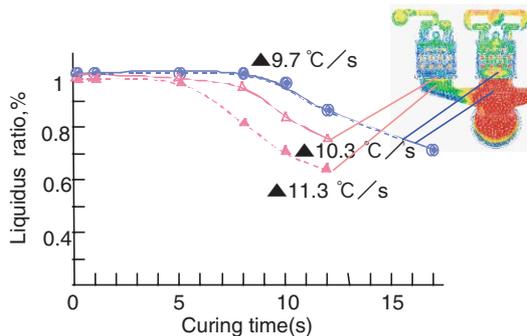
これはFig. 11 (a) に示すCAE凝固解析結果でも明らかのように、金型の内側方向にレイアウトされたキャビティ温度は上がりやすく凝固速度に差が生じる。Fig. 11 (b) のように、充てん完了からの時間

に対し最終凝固部となるゲート近傍の凝固率を表すと、内側キャビティの凝固が外側のキャビティに対し約15%遅くなることが予測される。

凝固速度の違いはダイカスト品の組織に影響を与え、凝固の遅い部分のDAS II (デンドライト二次アームスペーシング) が大きくなり強度に悪影響を及ぼす⁵⁾⁶⁾ 言い換えれば、内側キャビティのDAS IIは外側に比べて大きくなる可能性があり、引張強さが低くなることが懸念される。



(a) Temperature distribution for solidification analysis



(b) Liquidus ratio change after injection

Fig. 11 Result of solidification analysis

この課題に対し金型の冷却経路ごとに冷却水量及び通水時間をコントロールできるクローズループ式金型冷却システムを開発し、キャビティ間の凝固速度アンバランスをコントロールできるようにした。そのシステムの概要をFig. 12に示す。クローズループ式金型冷却システムは冷却水保持タンク、チラー (冷凍機)、冷却水圧送ポンプ及び冷却水流量制御装置からなり、①金型に供給する冷却水をチラーにて一定温度に冷却し、②冷却水は冷却水保持タンクと金型間をクローズループの状態で開催しており、③細い冷却経路でも十分通水できるように冷却水を高圧圧送する装置である。冷却水の通水量は流量制御装置で冷却経路ごとに

流量計が取り付けられており、約20の冷却経路を個々にコントロールすることができる。この流量計では実際に流れた冷却水量があらかじめ設定された範囲から外れた場合、異常信号を出力できる。また冷却水の通水時間もダイカストマシンからの信号に基づきON-OFF時間を系統ごとに分けてコントロールすることができる。例えば内側キャビティは常時通水し、外側キャビティはキュアリング時間中のみ通水するというコントロールを行うことができる。

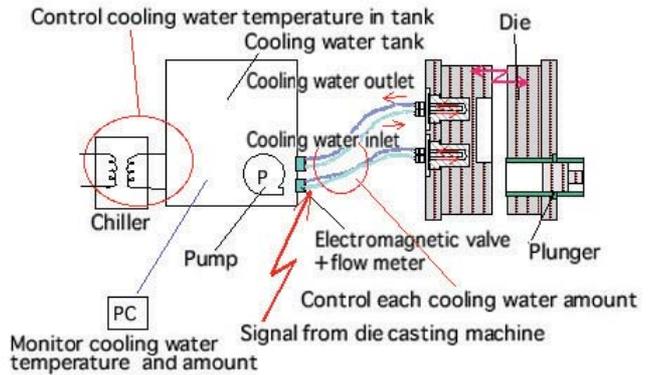


Fig. 12 Schematic view of die cooling system

このシステムを用いることで通水時間及び通水量の両面から内側キャビティの通水量を増やし、Fig. 13のように外側のキャビティとの型温差を抑えることを可能とした。

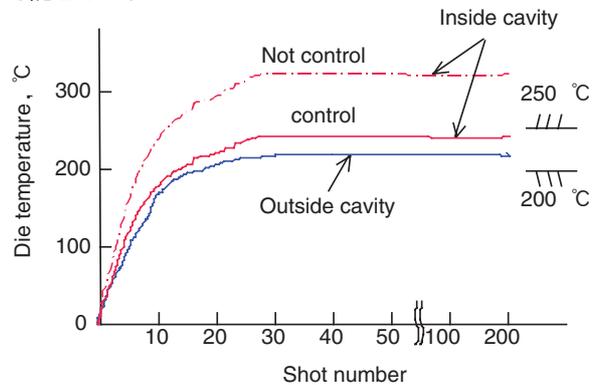
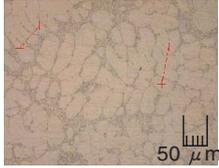


Fig. 13 Effect of die cooling system

前記クローズループ式金型冷却システムを用いて鋳造したダイカスト品のマイクロ組織観察結果をFig. 14に示す。製品の部位による差はあるが、金型温度の均一化をはかることによりキャビティ間の組織差は小さくすることができた。例えば、最終凝固部であるゲート近傍のDAS IIの大きさを比較しても内側キャビティで24 μm、外側キャビティで23 μmとほぼ等しいことが確認された。

その結果、引張強さはFig. 15に示すようにキャビティごとに大きな差も無く、ほぼ同一の品質を得ることを可能とした。

	Outside cavity	Inside cavity
Part ①		
	DAS II = 22.9 μm	DAS II = 24.1 μm
Part ②		
	DAS II = 19.6 μm	DAS II = 18.5 μm

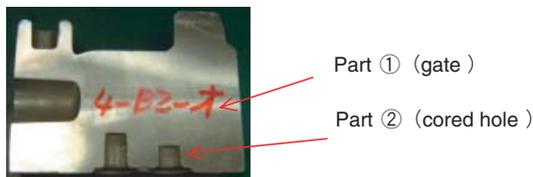


Fig. 14 Micro-structure of each cavity

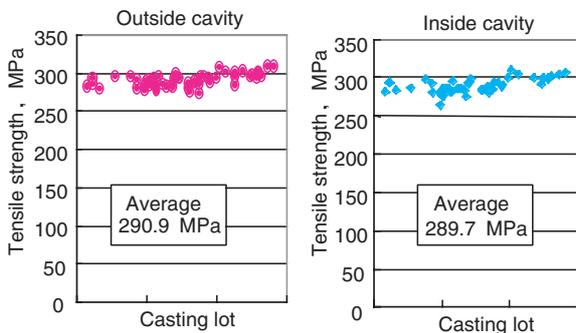


Fig. 15 Tensile strength of each cavity

3. 量産時における品質管理

ダイカストの鑄造はダイカストマシンにかかわる射出速度・鑄造圧力等、離型剤・チップ潤滑剤等の塗布量、更には金型の温度、冷却水量等、非常に多くの条件を管理することが必要とされる。今回の取り組みにおいては高品質のダイカスト品を作るため、従来の項目に加えて金型通水量等の管理項目が増加し、条件管理が複雑化している。これに対し今回の鑄造システムにおいてはダイカストの内部品質を左右する管理項目に対し、パソコンが鑄造時の状態を監視する機能に加え、あらかじめ決められた条件から外れた場合に良否

判定する品質管理システムを付与した。品質管理システムと製品取り出し用ロボットは連動されており、品質管理システムでNG判定した製品は自動で不良排出されるシステムとなっている。入力する条件としてはFig. 16に示すように、以下の項目を管理項目として入力している。

- (1) ダイカストマシン側の条件として射出速度、鑄造圧力
- (2) 金型の条件として個々のキャビティごとの局部加圧ピンストローク、金型温度、前記クローズループ式金型冷却システムの通水量確認等

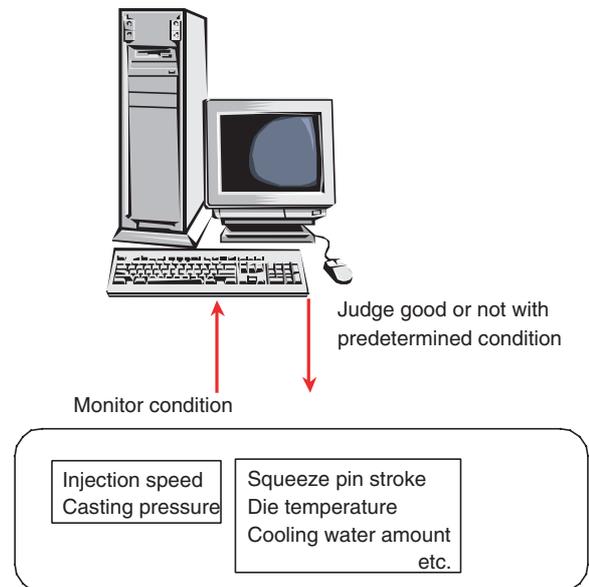


Fig. 16 Schematic view of quality control system

4. まとめ

2000年3月より生産開始したABSアクチュエータ部品のダイカスト化に対し、かしめ性を考慮したアルミニウム合金の検討、耐圧強度確保・かしめの実現のための巣・破断チル層・介在物防止、高生産性の実現のための多数個取りを実現すべく以下の開発を実施した。

- (1) 材料に対する取り組みとして、当社で実績のあるAC4Cアルミニウム合金に対し成分を①固溶、析出強化に有効なMg量を0.3~0.45%と通常のAC4Cアルミニウム合金より若干高くすることで引張強さの向上、②針状組織形態をとり、伸びを阻害するFe量を0.3%以下とすることで伸びを確保した。
- (2) ダイカスト品の耐圧性確保、かしめ時の信頼性

を上げるための鑄造欠陥防止については、巣防止に対して低速横型高圧ダイカスト技術、破断チル層防止に対して断熱スリーブ潤滑技術にて対応した。

- (3) 新たな取り組みとして、溶湯中介在物（酸化物）混入防止に対し、脱ガス装置、セラミックフィルタ（2重構造）、保持炉からダイカストマシンへ空気に触れないようにアルミニウム合金溶湯を供給する直接給湯装置を付与した炉を開発することで鑄造欠陥を低減した。この開発により従来に比べ介在物を約1/20程度に低減した。
- (4) 生産性向上に対しては多数個取り（3個取り）で対応しているが、本製品は①比較的厚肉品であり金型の中央側が蓄熱しやすい②低速横型高圧ダイカストではビスケットからキャビティまでの距離が外側キャビティに対し内側が近くなることから、内側キャビティの凝固が遅れるということが心配された。これに対し金型の冷却経路ごとに冷却水量及び通水時間をコントロールできるクローズループ式金型冷却システムを開発し、キャビティ間の凝固速度をコントロールできるようにした。

- (5) 前記クローズループ式金型冷却システムにおいて、多数個取りキャビティ間の金型温度差を小さくすることによりキャビティ間の組織差を小さくすることができ、引張強さ等の機械的性質もキャビティごとに大きな差が無く、ほぼ同一の品質を得ることを可能とした。

<参考文献>

- 1) K. Osawa, K. Nishikawa, T. Isero, S. Mugitani, T. Inagaki : Report of JD (2000), 113
- 2) Y. Koie, T. Takamura, H. Osima, K. Yorioka, Y. Awan : Report of JD (2000), 119
- 3) F. Takehisa, K. Fukaya, M. Yokoi : IMONO 66 (1994), 506
- 4) H. Takagi, S. Yoshikawa, Y. Watanabe : J. JFS 70 (1998), 502
- 5) A. Kamio : J. JFS 68 (1996), 1075
- 6) M. Okayasu, K. Kanazawa, N. Nishi : J. JFS 71 (1999), 301

<著者>



波多野 智之
(はたの ともゆき)
生産技術開発部
ダイカスト加工に関する研究・開発
に従事



高木 博己
(たかぎ ひろみ)
生産技術開発部
ダイカスト加工に関する研究・開発
に従事



稲垣 三次
(いながき みつぎ)
部品エンジニアリング部
ダイカスト加工に関する研究・開発に
従事