

論文 実体強度 250 MPa を保証する高速充填ダイカスト技術の開発*

Development of Die casting Technology with Tensile Strength over 250 MPa

高木博己 吉川 澄 横山雅人
Hiromi TAKAGI Sumi YOSHIKAWA Masato YOKOYAMA

High productivity die casting technology with tensile strength over 250MPa has been developed. This technology is achieved by attempting following three ; development of prevention technology of casting defect, development of high strength material charges composition, and an application of heat treatment technology (T5). Major technology for prevention of casting defect is owing to development of high vacuum die casting technology and development of heat insulating sleeve lubricant and it's application technology.

This technology is applied to the production of a major part of Scroll Type Compressor (SC08) which demands of high strength and high pressure tightness.

Key Words : Die casting, Prevention technology of casting defect, Vacuum die casting, Scroll type Compressor

1. はじめに

素材材加工の分野において、アルミニウム合金ダイカスト品は、自動車をはじめとする市場での軽量化・省エネ化・コストダウンなどの要求を受けて、高強度化・高品質化・高機能化等の品質要求が年々厳しくなっている。

こうした情勢の中で、アルミニウム合金ダイカスト品の高強度部品への適用については、近年、低速充填ダイカストの分野^{1),2),3)}で実用化されつつあるが、アルミニウム合金ダイカストの大半を占める一般の高速充填ダイカストの分野では、鑄造欠陥が多く強度ばらつきが大きい^{4),5)}ため、高強度部品に適用された事例は示されていない。

高速充填ダイカストは、他の鑄造法と比較して、形状のニアネット化や薄肉化が可能など、特に生産性に優れた特長を持っている。著者らは、こうした特長を生かして高強度部品を製造したいというねらいから研究に取り組んだ。

その結果、実体強度のばらつき原因である鑄造欠陥を防止する鑄造技術の開発などにより実体強度(以下、鑄造品から試験片を切り出し引張強さを測定した結果

を実体強度あるいは単に強度とという) 250 MPa を保証するダイカスト工程を確立し、95年12月より生産を開始したスクロールコンプレッサの主要強度部材であるシェルおよびロータに適用した。本報ではその開発技術について報告する。

2. 高強度化の考え方

高強度化の研究を開始するにあたって、著者らは社内調査を実施し開発目標を検討した。その結果から、今後ダイカスト部品に必要とされる要求強度を、実体強度のばらつきの下限値(平均値 -3σ)で250 MPaと設定し、これを強度保証できる技術を開発することとした。

Fig. 1 は、従来の高速充填ダイカストによる実体強度を調査した結果であるが、平均値およびばらつき共に JISH 5302(参考)に示されている試験値とほぼ同等であった。この結果から、ばらつきの下限値で250 MPaの強度を保証するためには、更に140 MPaもの大幅な強度向上が必要であることがわかった。

そのために、次の3つの課題を設定し、高強度化に向けての開発を行った。Fig. 2 は、本研究における高強度化の概念図を示したものである。

- (1) 高強度材料組成の開発による強度向上
- (2) T5 処理条件の最適化による強度向上
- (3) 鑄造欠陥の防止技術の開発による強度低下防止

*平成9年度(株)日本鑄造工学会技術賞、豊田賞受賞記念講演集より加筆転載

このうち、固溶強化をねらった材料組成の開発および T5 処理の組み合わせにより平均で 42 MPa の強度向上がはかれたが、本報では、特に重要であった鑄造欠陥の防止技術の開発について以下に述べる。

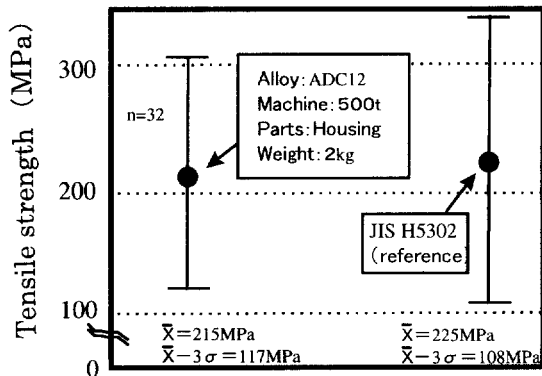


Fig. 1 Tensile strength for die castings

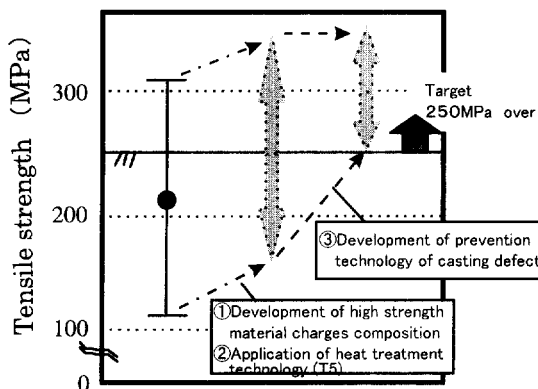


Fig. 2 Development of high strength die castings

3. 強度に及ぼす鑄造欠陥の影響について

高速充填ダイカスト品の実体強度低下に影響を及ぼす要因として、巣、破断チル層、ガス、酸化物等の鑄造欠陥があげられている^{4),6)}。Fig. 3 はそれらの要因と対応技術の一例を示したものである。本研究では、まず強度を保証する上で許容される鑄造欠陥のレベルを明らかにするための調査を行った。

3.1 鑄造欠陥と引張強度との関係調査

鑄造欠陥が強度低下に及ぼす影響を知るために、鑄造品の出来映えおよび引張試験を行った破断面に現れる欠陥の大きさのそれぞれについて、強度との関係を調べた。

強度試験片は、前述の強度向上検討結果から Table 1 の材料組成および熱処理 (T5; 453 K, 14.4 ks) を加え、Table 2 のような条件において鑄造を行い、得ら

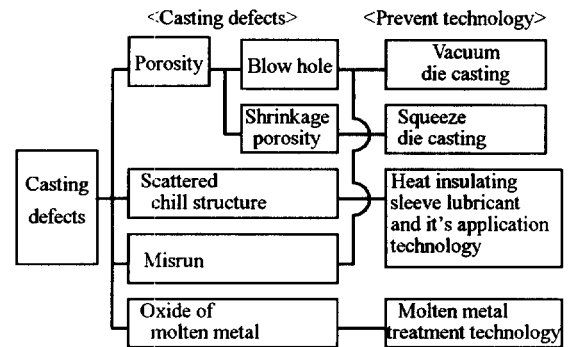


Fig. 3 Prevention technology of casting defects

れた円盤状鑄造品から Fig. 4 に示す JIS の 14 B 号試験片を切り出した。鑄造品の出来映えの評価は、鑄造品内ガス量、比重および硬度についての調査を実施した。また、破面に見られる鑄造欠陥の大きさは、引張試験実施後の試験片を実体顕微鏡および電子顕微鏡により観察し、巣や破断チル層等の欠陥毎に欠陥面積の和を算出した。

調査した結果について多変量解析を行い整理すると、強度に有意な要因は、Table 3 に示す鑄造品内ガス量、破断チル層の大きさおよび巣の大きさに絞られ、それら鑄造欠陥と実体強度の関係は数式(1)のように表された。

$$X_0 = 313.5 - 2.69X_2 - 16.8X_4 - 15.21X_5 \quad \dots(1)$$

ここで、 X_0 は引張強度 (MPa)、 X_2 は鑄造品内ガス量 (cc/100 gAl)、 X_4 は破断チル層の大きさ (mm²)、 X_5 は巣の大きさ (mm²) である。

以上の結果から、強度低下に対し影響の大きい巻き込み巣(以下、鑄造品内ガスと同義に用いる)、ひけ巣および破断チル層のそれぞれについて欠陥低減目標値を設定し、対策を実施した。

Table 1 Chemical composition of Al alloy (mass %)

Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Al
9.7	4.3	0.62	0.55	0.40	0.02	bal.

Table 2 Casting conditions of test

Die casting machine	650 t horizontal cold chamber die casting machine
Die casting system	Vacuum die casting with squeeze die casting (Vacuum die casting ; ON, OFF) (Squeeze die casting ; ON, OFF)
Operation	Hand spraying and picking
Melting temperature	993~1013 K
Fast shot plunger speed	1.9m/s
Pressure on metal	78MPa
Cycle time	65~90 s
Shot sleeve lubricant	Water-soluble type lubricant
Heat treatment	T 5 (453K, 14.4ks)

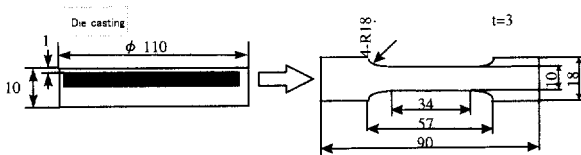


Fig. 4 Dimension of tensile test specimen

Table 3 Result of multivariate analysis

	Dependent variable	Multiple correlation coefficient	Proportion
	Tensile strength	0.908	0.825
No.	Explanatory variable	Partial correlation coefficient	
1	Fixed number	313.5	
2	Gas amounts in die casting	-2.69	
4	Section area of scattered chill structure	-16.80	
5	Section area of porosity	-15.21	

3.2 鑄造欠陥の低減目標値の設定

前記調査で得られた結果をもとに、実体強度 250 MPa を達成するために、次の考えにより各鑄造欠陥の低減目標値を定めた。

開発目標 X_m (250 MPa) と鑄造品の欠陥のない強度の計算値 X_r (数式 1 より、313.5 MPa) の差から残差の標準偏差 X_e の 3 倍を引いた値を各欠陥の強度低下量

の総和と考え、それぞれを許容すべき欠陥の種類数 n で等分し、各欠陥毎の偏回帰係数 k_i で除した値を各欠陥の許容最大欠陥値 Y_i (Y_1, Y_2, Y_3) とした。数式(2)はそれを式に示したものである。

$$Y_i = (X_r - 3X_e - X_m) / n / k_i \quad \dots(2)$$

各鑄造欠陥の許容最大欠陥値について数式(2)による計算結果から Table 4 のように低減目標値を定めた。

Table 4 Target of casting defects

	Partial correlation coefficient	Max. allowance of casting defects	Target of casting defects
Gas amounts in die casting (cc/100gAl)	2.69	6.06	5
Section area of scattered chill structure (mm ²)	16.80	1.00	1.0
Section area of porosity (mm ²)	15.21	1.07	1.0

4. 鑄造欠陥防止技術の確立

高速充填ダイカストにおける高強度部品の製造技術を確立するために、Fig. 3 の対策案をもとに鑄造欠陥防止技術の開発を行った。この内、スクイズダイカスト技術⁷⁾についてはすでに報告しているので、以下では、カットオフ方式による高真空ダイカスト技術および断熱性スリーブ潤滑剤塗布技術について述べる。

4.1 カットオフ方式による高真空ダイカスト技術

鑄造品内ガス量を低減するために、著者らは、溶湯の充填前にあらかじめ金型キャビティ内を減圧する真空ダイカスト法を用いた。

真空ダイカスト法は、古くから知られている技術であるが、実施されている方法においても、溶湯の真空バルブへの進入や高真空化が困難など量産上多くの問題が残されている⁸⁾。こうしたことから、溶湯の遮断方法などの真空システムの開発、高真空化のための金型や装置の開発および真空ダイカストの品質保証方法の確立を課題として掲げ実用化に取り組んだ。

4.1.1 真空システム

開発した真空システムは、Fig. 5 の概略図に示すように、溶湯の遮断をカットオフピン方式（金型内に固定した油圧シリンダに連通したピンの動作によって溶湯と真空経路の遮断を行うもので、以降、この方式および作動ピンをカットオフ方式およびカットオフピンという）とし溶湯の進入の不具合を解決した。その動作順序は、射出スリーブへ給湯しプランジャの前進に

より給湯口を遮断した後、カットオフピンを開き金型内を短時間で真空引きし、再びカットオフピンを作動させ真空経路を遮断し、溶湯を金型内に高速充填するものである。

一方、本システムでは、真空経路を遮断した後溶湯を充填するまでに時間差があるため、金型の気密性が悪いと金型キャビティ内の真空度が低下するという欠点がある。これに対しては、後述する金型気密シール技術の開発によりこの問題を解決した。

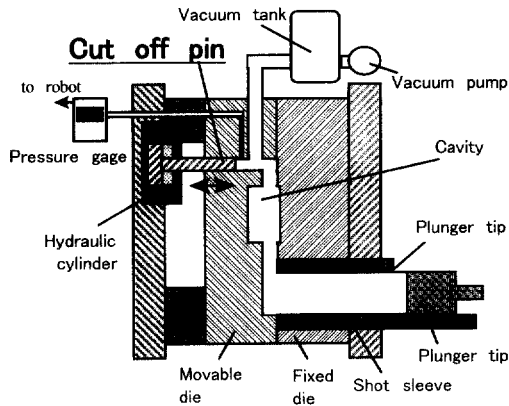


Fig. 5 Schematic illustration of vacuum die casting system with cut off pin

4.1.2 高真空化技術

鋳造品内のガス量低減のために、上記真空システムにおいて金型の気密性向上や真空排気能力の向上などの高真空化の検討を行った。高真空化の目標真空度は、Fig. 6 に示す調査結果から 3.8 kPa 以下とした。

金型の気密性を向上するために、Fig. 7 のような金型構成とし金型キャビティに連通する金型内の各箇所に耐熱性のシール剤を構成した。ダイカスト金型は、通常、補修性から多くの部品に分割されており、また、押し出しピン、冷却孔、組み付けボルトなど多くの孔が空けられていることから、リークテストを用い洩れ状況（洩れ位置、洩れ度合）を調査し、シール剤の配置を決定した。Fig. 8 は、このシール構造および前述の真空吸引を実施した金型と従来の金型の真空排気特性を見たもので、開発した金型は、金型からのリークが約十分の一以下に低減していることがわかる。

以上により、金型キャビティ内真空度は 1.2~1.5 kPa と高い真空度での連続鋳造が可能となった。

4.1.3 鋳造品内ガス量の保証

鋳造品内ガス量を保証するために、金型キャビティ内真空度を連続鋳造中も常時監視するシステムを構成

し、万一金型キャビティ内真空度が低下した時は、鋳造品を自動廃却し、オペレータに保全を促すようにしている。

以上により、鋳物内の含有ガス量は、1~3 cc/100 gAl と従来の高速充填ダイカストと比較して十分の一以下に低減し、巻き込み巣欠陥の低減目標を達成した。

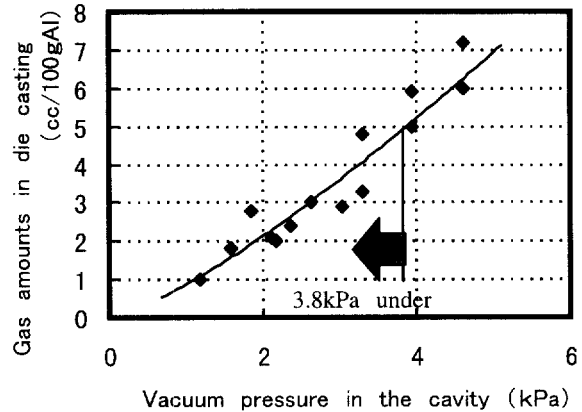


Fig. 6 Relation between gas amounts of die casting and vacuum pressure in the cavity

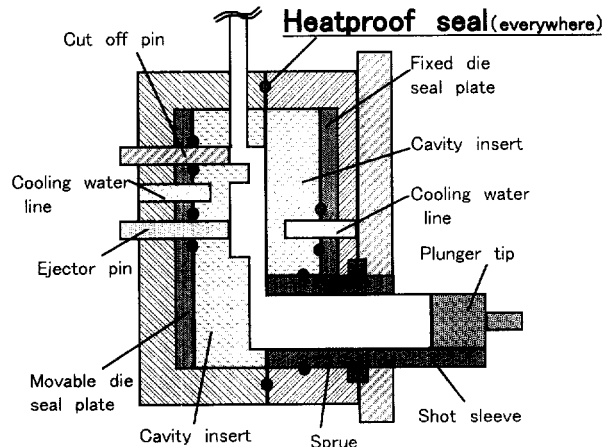


Fig. 7 Schematic illustration of die apparatus of vacuum die casting system with cut off pin

4.2 破断チル層防止技術

破断チル層を防止するために、基礎的に断熱性スリーブ潤滑剤による効果を確認したが、その実用化において、断熱性皮膜の射出スリーブへの付着とその塗布が課題であった。なお、断熱性皮膜の形成については、塗布性および分散性から水分散タイプを用いた。

4.2.1 断熱性スリーブ潤滑剤と破断チル層

破断チル層の防止の基本的な考え方は、断熱性皮膜を射出スリーブ内に形成し、熱伝達を押さえることにより射出スリーブ内での凝固を抑制するものである。

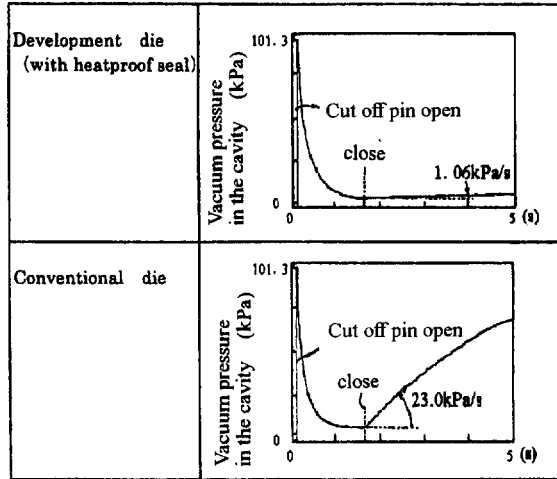


Fig. 8 Comparison of vacuum pressure in the cavity

この方法の妥当性を確認するため、潤滑剤を塗布したピンの熱伝達性の測定結果を用い、断熱性皮膜有無による射出スリーブ内の溶湯の温度変化を計算により求めた。Fig. 9 は、993 K の溶湯を射出スリーブ内に入れ、溶湯が射出スリーブ内に停滞する時間 (5 s, 給湯から高速射出) 後の溶湯の温度変化を計算したもので、スリーブ下部 1/4 の断面の温度分布を示したものである。従来潤滑剤を用いた場合は、表層が 823 K に達しているのに対し、断熱性潤滑剤を用いた場合は、固相域に達しておらず、給湯後射出までの数秒では破断チル層の発生は起こらないことが確認された。また、実铸造において、切断して破断チル層を確認した結果も計算と同様に、断熱性潤滑の有無により破断チル層の有無が確認された。

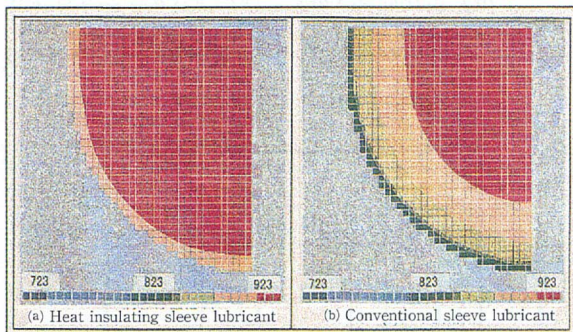


Fig. 9 Comparison of calculated temperature of molten metal in a shot sleeve (at 5 sec after pouring)

4.2.2 断熱性スリーブ潤滑剤の高温付着性

溶湯が供給される射出スリーブの表面温度は、523~623 K と高温になるため、高温での付着性に優れ

た断熱性スリーブ潤滑剤を開発した。Table 5 にその潤滑剤成分の構成を示す。付着性を付与するためには、油脂や樹脂分を添加するのが有効であるが、固体の分散性が悪くなることおよび熱分解により鑄造品内ガス量が著しく増加することから高分子炭化水素および無機バインダによりそれらの影響を押さえた。Fig. 10 は、673 K の金型におけるその付着面積を示したものである。

Table 5 Composition of improved sleeve lubricant

	(%)
Mica	20.0
Polymer	2.0
Inorganic binder	4.0
Surfactant	2.0
Water	bal.

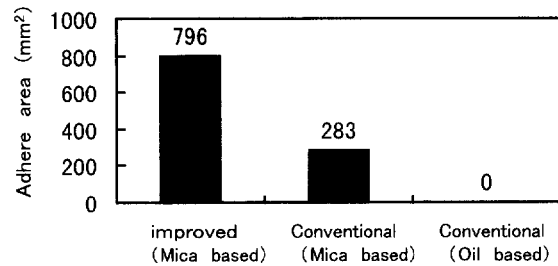


Fig. 10 Comparison of adhere area of sleeve lubricants

4.2.3 断熱性スリーブ潤滑剤塗布装置

断熱性スリーブ潤滑剤の塗布の問題に対しては、Fig. 11 に示すようにノズル内外部の自動洗浄や定量吐出機構を織り込んだシステムを構成した。雲母等の固形分を含んだ断熱性スリーブ潤滑剤は吹き付け装置の詰まりが生じやすいため、Fig. 12 のように、塗布量が減少し破断チル層が発生したり、逆に塗布量が増加すると潤滑剤の皮膜の乾燥が不十分となり鑄造品内のガス量が増加する。こうしたことから、射出スリーブの射出側および金型分割側に配した移動式の潤滑剤塗布用のスプレーノズルが、所定の位置で潤滑剤を吹き付けた後、ノズル洗浄装置に待避し、毎ショットごとにノズル内外部を洗浄するシステムとした。この結果、Fig. 13 に示すように塗布量のばらつきが、従来の約五分の一に低減し、塗布量の管理規格を満足した。

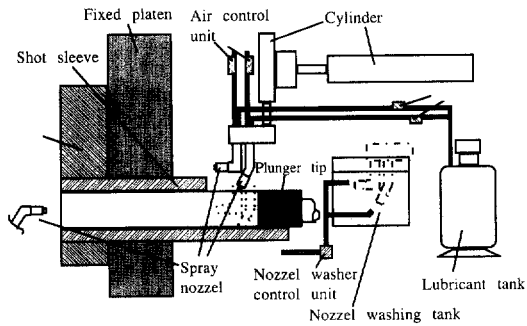


Fig. 11 Schematic illustration of heat insulating sleeve lubricant spray system

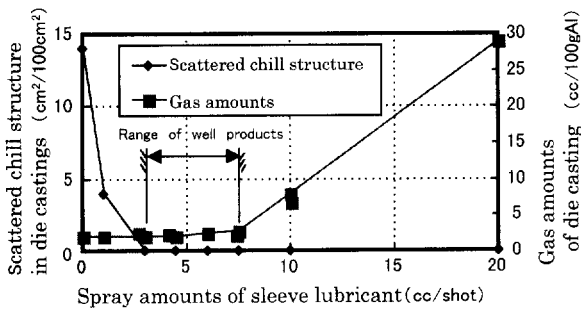


Fig. 12 Influence of spray amounts of sleeve lubricants on scattered chill structure in die castings and gas amounts of die castings

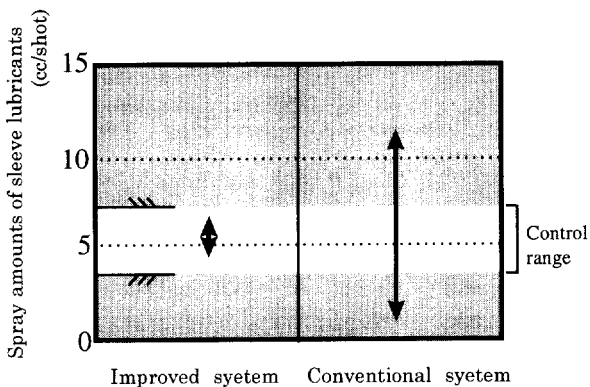


Fig. 13 Process capability of spray amounts of sleeve lubricants

4.2.4 破断チル層の保証

破断チル層については、前述のように潤滑剤の塗布量およびその塗布状態を鑄造工程で管理し品質を保証している。

5. 開発技術による実体強度

以上の鑄造欠陥防止技術をもとに、材料投入、不良品の自動排出などの自動化を織り込んで、溶解から熱処理(T5)に至る一連の鑄造プロセスを構築し、品質および強度評価を実施した。

鑄造欠陥の評価は、前述と同様に強度試験片の破面を観察して実施した。その結果を Table 6 に示すが、いずれも開発目標値を満足していることが確認できた。また実体強度についても、Fig. 14 のように従来の高速充填ダイカストと比較して強度が大幅に向上し、ばらつきの下限值においても、開発目標の実体強度 250 MPa を上回ることが確認できた。

本研究で行った強度の向上および強度ばらつき低減効果についてまとめると Fig. 15 のようになる。ただし、材料組成および T5 のばらつきは、n 数の関係から改良前のばらつきと同じとした。

Table 6 Result of casting defects on this process

	Target of casting defects	Maximum size of casting defects	Estimation
Gas amounts of die casting (cc/100gAl)	5	3.3	○
Section area of scattered chill structure (mm ²)	1.0	no detect	○
Section area of porosity (mm ²)	1.0	0.38	○

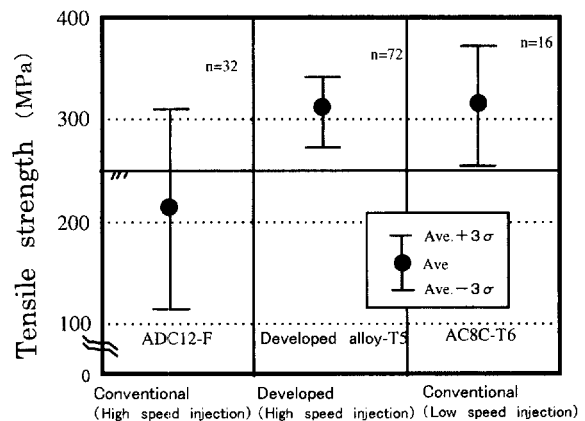


Fig. 14 Result of tensile strength on this process

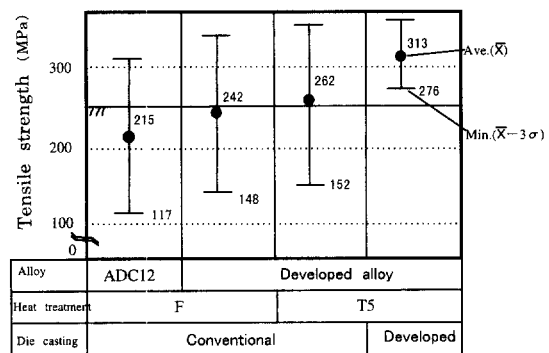


Fig. 15 Effects of development

6. コンプレッサ部品への適用状況

この鋳造プロセスを当社の新型カーエアコン用コンプレッサの最重要部品 (Fig. 16) に適用した。この部品は、車載用コンプレッサとして、圧縮を繰り返す歯部の強度に加えて圧縮容器としての強度および気密性が要求されるものである。

量産においては、前記に示す材料を用い Table 7 に示す条件で生産し、含浸処理なしで流動している。Fig. 17 はラインオフ後の150 ロットについて実施した抜き取り検査の結果を月毎のばらつきで見たとのである。ラインオフからこれまでに、部品にして延べ80万個余りを生産しているが、量産流動においても安定した強度を示している。また、耐圧気密性においても、これまでに気密洩れが1件も発生しておらず、従来の高速充填ダイカストと比較し優れた品質を達成している。

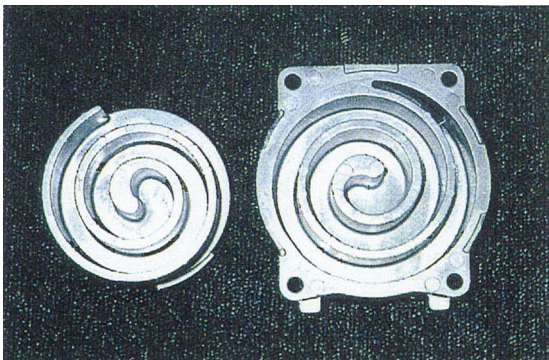


Fig. 16 Parts of scroll type compressor product by this process

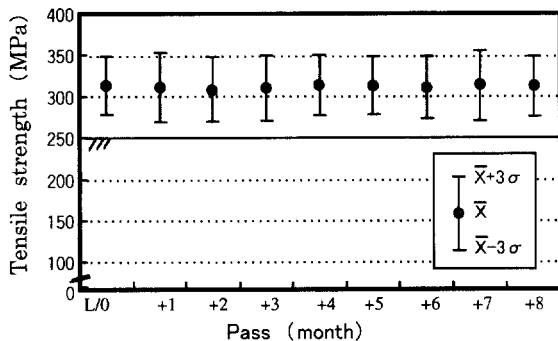


Fig. 17 Tensile strength on mass production

Table 7 Conditions of mass production

Die casting machine	650t horizontal cold chamber die casting machine
Die casting system	Vacuum die casting with squeeze die casting
Operation	Automatic operation
Melting temperature	993~1013K
Fast shot plunger speed	1.8~2.0m/s
Pressure on metal	78~85MPa
Vacuum pressure	3.8kPa under
Shot sleeve lubricant	Heat insulating sleeve lubricant (Mica base)
Heat treatment	T5(453K,14.4ks)

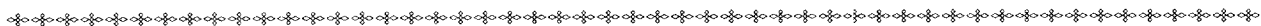
7. おわりに

以上述べた鋳造欠陥の防止技術の確立、高強度鋳造材料組成の開発および T 5 処理条件の最適化により、実体強度 250 MPa を保証する高速充填ダイカストによる高強度部品の製造工程を確立することができた。

今後も、更に努力し鋳造技術の新たな可能性を探っていきたいと考える。

〈参 考 文 献〉

- 1) 小松俊作, 叶良信: 鋳物 64 (1992) 204.
- 2) 竹久文隆, 深谷絃一, 横井光義: 鋳物 66 (1994) 506.
- 3) 安達充: 鋳物 66 (1994) 904.
- 4) 中村元志: 日本鋳造工学会研究報告 74 (1996) 11.
- 5) 日本鋳物協会編: ユーザーのための鋳造品ハンドブック (丸善) (1992) 200.
- 6) 岩堀弘昭, 戸沢勝利, 浅野高司, 山本善章, 中村元志: 軽金属 (1984) 389.
- 7) 杉浦恒之, 泉錦迪, 鈴木治男: 軽金属 36 (1986) 105.
- 8) 青山俊三, 坂本勝美, 梅村晃由: 鋳物 66 (1994) 934.



〈筆 者〉



高木 博己 (たかぎ ひろみ)
生産技術開発1部
ダイカスト加工に関する研究・開発に従事。



横山 雅人 (よこやま まさと)
冷暖房開発2部
内装コンプレッサの設計・開発に従事。



吉川 澄 (よしかわ すみ)
生産技術開発1部
ダイカスト加工に関する研究・開発に従事。