

低圧鋳造の湯まわり不良低減

Improvement of Fluidity of Low Pressure Die Casting

藤原 彰人*

Akihito Fujiwara

要旨

低圧鋳造にて生産しているモーターサイクルのシリンドラヘッドにおいて、フィン先端に発生する湯まわり不良を低減するため、Al溶湯の流動性とそれに影響する要因との相関を調査した。Al溶湯の流動性は、同一条件で鋳造した場合、鋳造ショット数が経過とともに低下する。また、現生産で管理している条件の中では溶湯温度・加圧流速の影響が大きい。さらに、不活性ガス霧囲気での効果も確認できた。その結果から、影響の大きい溶湯温度と加圧流速の設定値を鋳造ショット経過に対して補正することで常に一定した流動性を得ることができ、製品の湯まわり不良を低減できた。

1 はじめに

第3工場では、低圧鋳造（※1）にて主にモーターサイクルのシリンドラヘッドを製造しており、現在は、水冷より空冷シリンドラヘッドの生産数量が多い。空冷シリンドラヘッドは、「フィン形状」が多く、その薄肉形状のためフィン先端の湯まわり不良が多発する。湯まわり不良が発生した場合、その欠落した部分を溶接にて肉盛して修正している。この湯まわり不良を低減し、工程上溶接修正なしで出荷できる比率（直行率）を上げることが、製品のコストダウンを考える上で技術課題となっている。

※ 1 低圧鋳造

図1のように、金型の下にある密閉された溶湯保持室に圧搾空気を送り込むことにより溶湯表面に圧力をかけ、導管（ストーク）を通して金型内に溶湯を供給する鋳造法、その圧力の上昇速度が鋳込み流速となり、圧力保持時間が、押湯時間（加圧時間）となる。

2 湯まわり不良対策の現状と課題

湯まわり不良の原因として

- 1) 形状の肉厚が薄いために末端に到達する前に凝固する。
- 2) 型内のエア・ガスの排除が悪く、溶湯とうまく置換できない。

等が考えられ、その対策として

- 1) 形状の変更
- 2) ガス抜きの強化
- 3) 塗型剤（※2）の変更

を行ってきた。しかし、形状の変更については、その外観品質・冷却性能から設計的に制限がある。またガス抜きの強化についても、そのガス抜き形状が、「アルミニウムが入らない程度に大きく」という観点からすると、現鋳造法では、大幅な改善を実現するのはむずかしい。つまり、1) 2) の対策は既に手詰まり状態にある。また、過去に効果があった対策として「塗型剤の変更」があり、その効果の程度の目安として、塗型後数ショットにおける重力鋳造による流動長の比較データがあるが、効果の持続性については不明であった。

以上から現状の課題を整理すると以下のとおりである。

- 1) 現状の手詰まり状態を開拓するために新たな切口を見いだすこと
- 2) 過去の事例も含めて、その効果を定量化すること
- 3) 実際の生産状態に近く、効果の持続性が評価できること

※ 2 塗型剤

保温性・湯流れ性・離型性・ガス抜き性・金型表面保護を目的として、金型表面に塗布する材料（アルミナ・シリカなど）。低圧鋳造・金型鋳造に用いる。

3 要因（因子）の選定

現状の形状・ガス抜き方案を肯定した場合、湯

$$L_f = V \theta f = \frac{A \rho V (\kappa H_f + C \Delta T)}{S h (T - T_r)} \left(1 + \frac{h}{2} \sqrt{\frac{\pi \Delta X}{\kappa' c' \rho' V}} \right) \quad (a)$$

L_f : 流動度	V : 溶湯の流速	θf : 流動時間	A : 鋳型表面積
ρ : 金属の密度	κ : 平均固相率	H_f : 金属の融解熱	C : 金属の比熱
ΔT : 鋳込過熱度	S : 壁の円周	h : 熱伝達係数	T : 溶融金属の温度
T_r : 室温	ΔX : 任意の距離	κ' : 鋳型熱伝導度	c' : 鋳型の比熱
ρ' : 鋳型の密度			

まわりを改善するには、溶湯の流動性を上げることに絞られる。

溶融金属の流動長を規制するのは、流動中の金属の凝固であり、粘性である。したがって、これらに影響する因子としては、溶融金属と鋳型の熱的性質・合金組成・溶融金属の運動量・鋳型の湯口方案等が挙げられる。

また、これらを表す式として(a)式が報告されている¹⁾

今回のテストでは、これらと実際の铸造状態をふまえて、表1の因子を選定し、流動性に影響するレベルを調査した。

表1 選定因子

- | | |
|---------------|-------------|
| ① 溶湯成分 | ⑥ 溶湯の酸化・酸化物 |
| ② 溶湯過熱度（溶湯温度） | ⑦ 中子 |
| ③ 加圧パターン（流速） | ⑧ 溶湯ガス量 |
| ④ 塗型 | ⑨ 湯口方案 |
| ⑤ 型温 | |

4 テストおよび評価方法

流動性の評価方法として、最も一般的な「渦巻試験鋳型」を低圧铸造仕様にて使用した。それにより、同条件で連続铸造することが可能であり、実生産に近い状態でテストができる。図2に渦巻試験鋳型で铸造した試験片を示す。中央の湯口より溶湯が型内に進入し、渦巻状の流路にそって流れ込む。流動性の評価は、湯口から溶湯の流れ込んだ距離（流動長）にて定量的に行った。

基本条件を表2に示し、図1にテスト鋳造機の概念を示す。

この流路中には、100mmおきに温度センサを取り付てあり、流れ込む溶湯の温度を測定できる。また、材料は生産品と同様のAC4Bとした。その組成を表3に示す。

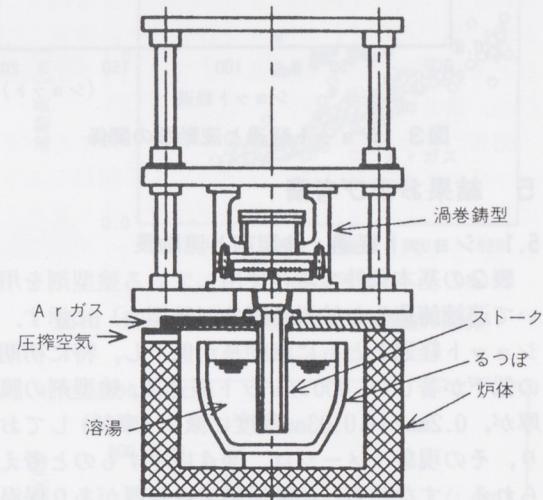


図1 テスト機概念図

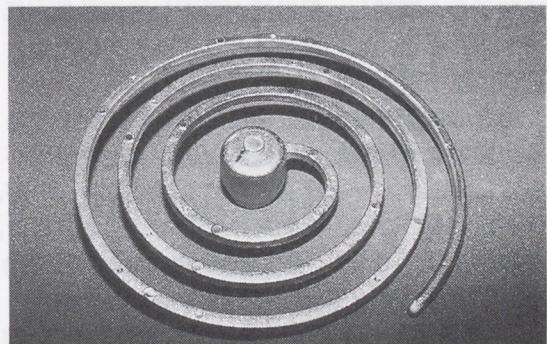


図2 渦巻試験片

表2 基本条件

加压圧力	14.7kPa
流速	0.5kPa/s
加圧時間	60s
溶湯温度設定	973K
金型温度設定	563K

表3 テスト材組成(mass%)

	Cu	Si	Mg	Fe	Zn	Al
AC4B	2.25	8.68	0.33	0.68	0.46	Bal.

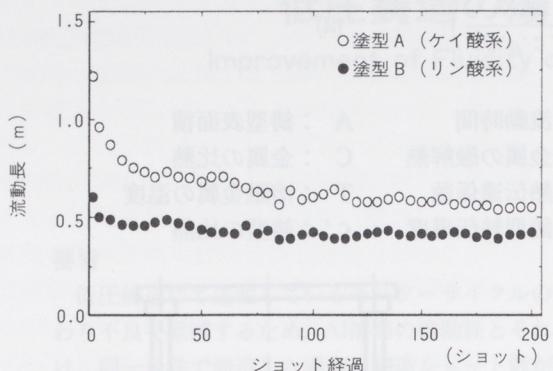


図3 ショット経過と流動長の関係

5 結果および考察

5.1 ショット経過・塗型剤と流動長

表2の基本条件で現在使用している塗型剤を用いて連続鋳造した結果を図3(塗型A)に示す。ショット経過とともに流動長が低下し、特に初期の低下が著しい。400ショット経過後、塗型剤の膜厚が、0.2mmから0.03mm程度に減少(摩耗)しており、その現象イメージは、図4に示すものと考えられる。すなわち、初期段階では膜厚があり保温性もあるが、ショットの経過とともに表面の粗い粒子から摩耗し、保温性が低下して流動長が低下する。また、粗い粒子ほどはがれやすいため、初期の低下が大きくなると考えられる。

図3の塗型Bは、以前使用していた塗型剤である。塗型Aと比較して、粒子が細かく塗膜強度があるため、ショット経過に対する摩耗は少ないが、保温性が悪いため、流動長のレベルは低い。また、この結果は、過去の「塗型剤変更による直行率向上」を裏付けている。

5.2 溶湯温度・流速・下型温度と流動長

図5・6・7に溶湯温度・流速・下型温度と流動長の関係を示す。(a)式で示されたと同様に、溶湯温度・流速・下型温度とも、流動長と一次の関係にあり、温度・速度が上がると、流動長が伸びる。

流速1kPa/sは、過熱度54Kに相当し、下型温度1Kは、過熱度0.13Kに相当する。

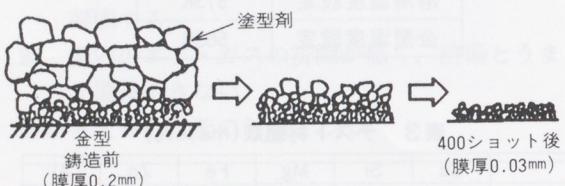


図4 塗型膜厚磨耗現象のイメージ

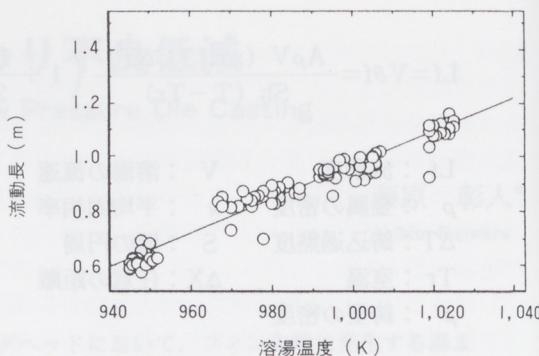


図5 溶湯温度と流動長の関係

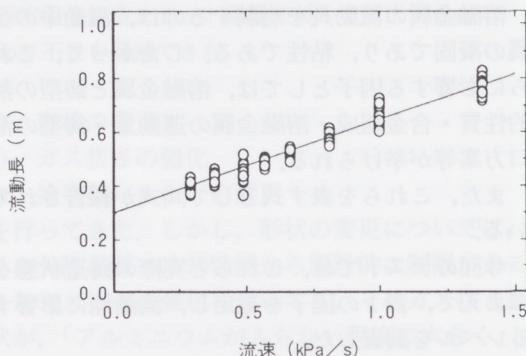


図6 流速と流動長の関係

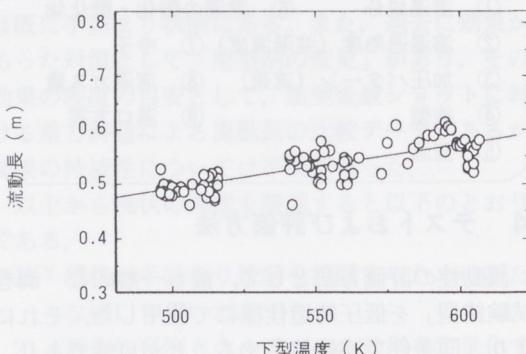


図7 下型温度と流動長の関係

5.3 Arガス置換と流動長

鋳型内を不活性ガスに置換すると流動長が伸びることについては、大西、平塚らにより報告されており²⁾³⁾⁴⁾、その原因是、アルミニウムの酸化膜の表面張力の影響、あるいは、Arガスの断熱効果であるとしている。そこで、今回の試験鋳型においても、その効果の確認テストを行った。その動作工程を図8に示す。Arガスの吹込みは、ストークに特殊なバルブ機構を設け、ストーク内・鋳型内に吹込んだ。また、吹き込み量は置換すべき容量の約2倍とした。

Arガス置換したものと、同条件でArガス置換しなかったもの(エア加圧のみ)の流動長を図9に示す。初期段階よりその効果は見られ、ショット経過とともにその効果は大きくなり、100ショット経過時点で約40%の伸びを示した。その値は、過熱度の50K上げたことに相当する。

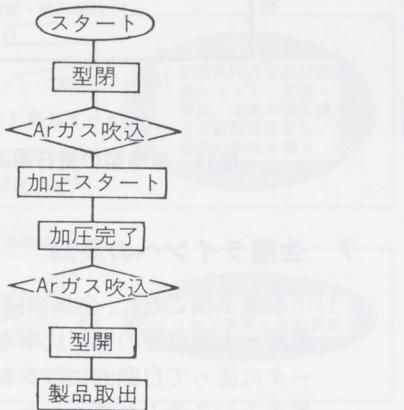


図8 Arガス置換の動作工程

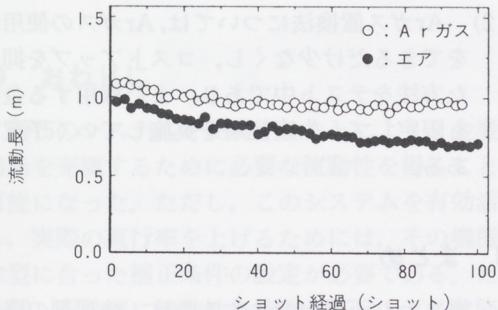


図9 ショット経過と流動長の関係(Arガス置換)

5.4 到達湯温と流動長

試験鋳型の流路中に、50mmから100mmおきに温度センサが取り付けてあり、流れ込む溶湯の温度が測定できる。ただし、その指示値については、センサの応答性やデータの記録方法から、絶対温度としてではなく、相対比較のための温度、すなわち指標として考える。

図10に5.1~5.3の50mm地点の温度と、その時の流動長の関係を示す。Arガス置換での結果を除き、全てのデータがある幅の同一ライン上にある。このことは到達湯温で流動長を決める事を示しており、塗型剤の摩耗や、溶湯温度・流速・下型温度を変化させることは全て、到達湯温(過熱度)を操作していることになる。

図11に到達距離と各測定点の到達湯温を示す。Arガス置換の場合、図10から到達湯温が低いにも

かかわらず、流動長が長いことが特長のように思える。しかし、図11よりArガス置換の場合は他の場合と比べて、到達距離に対して到達湯温の下がりが遅いために流動長が伸びたと思われる。このことは、平塚らが述べている「Arガスによる断熱効果」を示しているものと考えられる³⁾。

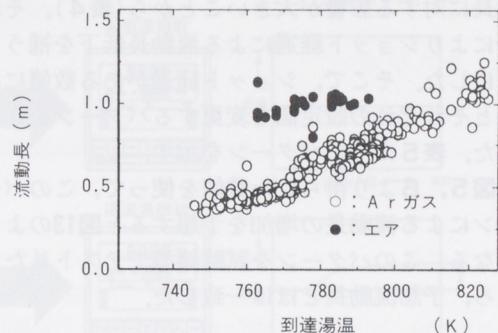


図10 50mm地点の溶湯温度と流動長の関係

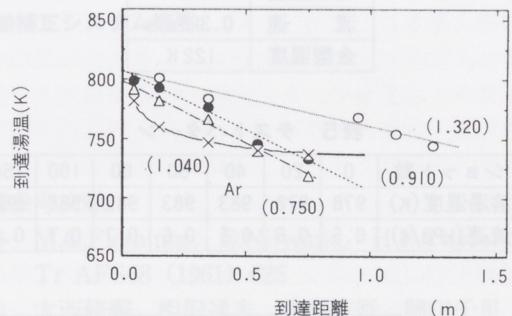


図11 到達距離と到達湯温の関係

6 実機への対応の検討

6.1 ショット経過と直行率

生産型のショット経過に対する直行率の変化を図12示す。図3の流動長の変化と同様に、ショット経過にともない直行率が低下する。塗型剤の摩耗に従い流動長が低下し、湯まわり不良が増加したと考えられる。

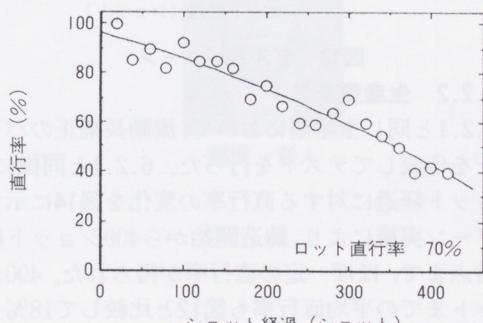


図12 生産型の直行率の変化

6.2 溶湯温度と流速による流動長低下の補正

6.2.1 パターンの作成

今回のテスト結果より、実機への対応を検討する上ですぐに効果を得るには、影響の大きい因子の中で、生産で制御できる因子から展開していくことである。テスト結果より溶湯温度と流速の流動長に対する影響が大きいことから(表4)，それらによりショット経過による流動長低下を補うことにした。そこで、ショット経過がある数値になるとそれぞれの設定値を変更するパターンを作成した。表5にそのパターンを示す。

図5, 6より得られた数値を使って、このパターンによる流動長の増加を予想すると図13のようになる。このパターンを試験鋳型でテストしたところ、予想流動長とほぼ一致した。

表4 流動長を100mm補正するための必要量

溶湯温度	15.9 K
流速	0.3kPa/s
金型温度	122 K

表5 テストパターン

ショット数	0	20	40	60	80	100	150
溶湯温度(K)	978	978	983	983	983	988	988
流速(kPa/s)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8

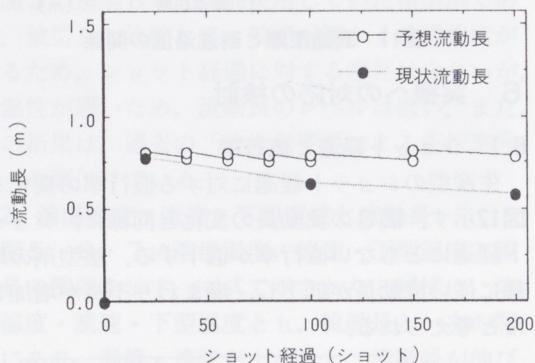


図13 テストパターン

6.2.2 生産型テスト

6.2.1と同じ生産型において、流動長補正のパターンを作成してテストを行った。6.2.1と同様に、ショット経過に対する直行率の変化を図14に示す。パターン実施により、鋳造開始から400ショット経過時点まで、ほぼ一定の直行率が得られた。400ショットまでの平均直行率も図12と比較して18%上昇した。

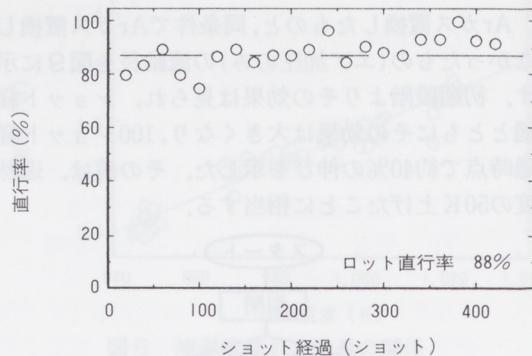


図14 生産型の直行率の変化

7 生産ラインへの展開

- 1) 生産金型ごとに、全体の補正量、溶湯温度・流速・下型温度の補正比率を入力し、そのデータに従って自動的に毎ショット設定値を変更するシステムを導入した。そのシステムの概要を図15に示す。その結果、補正を採用した金型において直行率が、15%以上向上した。
- 2) Arガス置換法については、Arガスの使用量をできるだけ少なくし、コストアップを抑えた方法をテスト中であり、また採用する金型も限定して、生産使用を実施していく予定である。

8 まとめ

- 1) 湯まわり不良が発生するのは、塗型剤の摩耗(劣化)によるところが大きい。
- 2) 溶湯の流動性には、溶湯温度・流速の影響度が大きく、それらを補正することにより、湯まわり不良を低減できる。
- 3) またArガス置換の効果も大きく、100ショット経過後で過熱度を50K上げたことと同じ効果がある。
- 4) 生産ラインへの速効性を考慮し、塗型剤の劣化を補正することから着手した。しかし、劣化しない塗型剤・流動性のある塗型剤を開発する必要性は明確であり、塗型作業方法の見直しを含めて、開発・改善を進めていく必要がある。

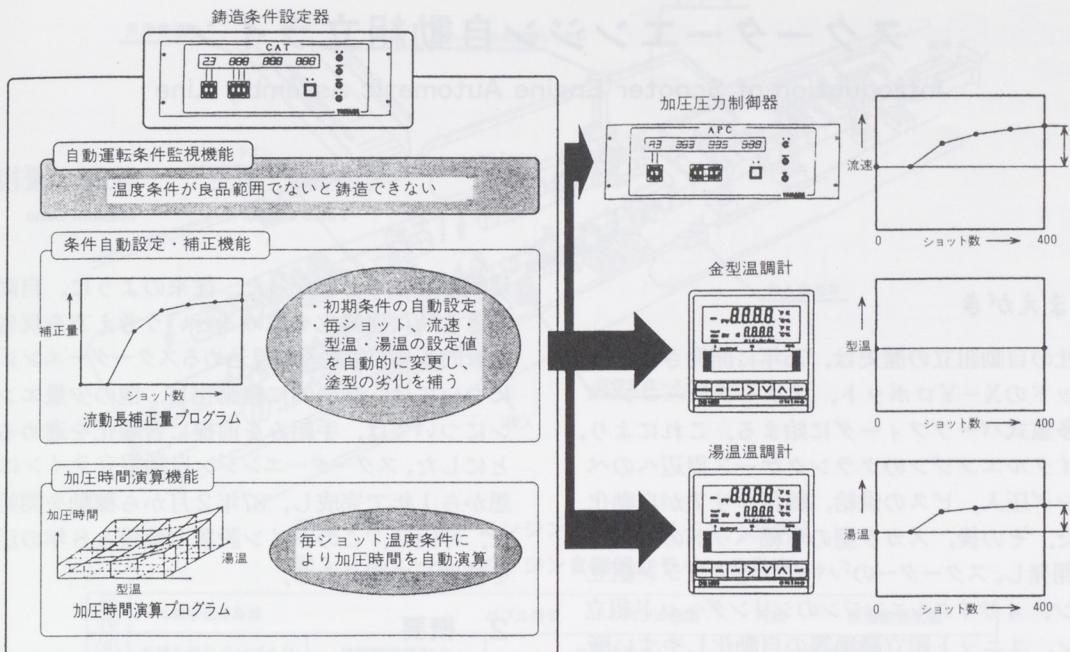


図15 鋳造条件自動設定・自動補正システム概要

9 おわりに

図15のシステムを使用することにより、金型に溶湯を充填するために必要な流動性を得ることが可能になった。ただし、このシステムを有効活用し、実際の直行率を上げるために、その機種・金型に合った補正条件の設定が必要である。たとえば、不必要に流動性を持たせると、ガス欠陥や「逆バリ」(※3)といった欠陥が発生し、逆に直行率低下を招く。今後も引き続きテストを進め、「直行率95%」を達成できるよう努力していったい。

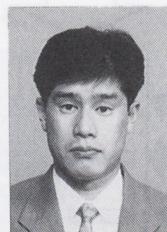
※3 逆バリ

金型の分割面に侵入した薄い金属片が、金型の形状部に飛び出た状態で残り、そのまま次の鋳造を行った場合、その鋳造品に飛び出した金属片分のへこみ形状ができること。

■参考文献

- 1) M.C.Flemings, E.Niiyama, H.F.Taylor : Tr AFS68 (1961) 625
- 2) 大西修嗣, 相沢達志, 森本庄吾, 岡田千里 : 鑄物57 (1985) 30
- 3) 平塚貞人, 新山英輔, 堀江, 安斎浩一, 舟窪辰也 : 鑄物66 (1994) 418
大西修嗣, 飯塚康夫 : 鑄物66 (1994) 945

■著者



藤原 彰人