

無機バインダーで射出造型を実現した発泡中子造型機の開発

Development of Foamed Core Molding Machine with Inorganic Binder for Injection Molding

青木 知裕* 小宮山 貴之**
Tomohiro Aoki Takayuki Komiyama

The challenge to the environmental problem in the foundry increases the importance year by year. Cores made by shell mold process, which has a high utilization rate in Japan, gives off a bad smell during molding and pouring. This offensive odor requires a lot of costs to improve the working environment. In addition, there is an increasing demand for thinner walls and more complex geometry of cores. New core manufacturing process which represents the next generation and satisfies these requirements is indispensable. This paper describes the joint development of innovative manufacturing technology "CS Core Process" with Toyota Motor Corporation for eliminating odor using inorganic binder, and the development of foamed core molding machine optimized for this process.

KEY WORDS: Chemically bonded sand, Core binder system, Water glass, Sodium silicate, Surfactant, Eco-friendly, High production

1. はじめに

鋳物生産現場での環境問題への取り組みは、年々重要度を増している。日本国内で利用率の高いシェルモールドプロセスによる中子（なかご）は、鋳造時に臭気ガスを発生する。この臭気ガスは、作業環境改善に膨大なコストを必要とする。また、自動車エンジンの高性能化などに対応して、中子の更なる薄肉・複雑形状化への要求も高まっている。これらの要求を満たす次代を担う新たな中子造型プロセスが必須である^{1) 2) 3)}。そこで臭

気ガスを無くすために無機バインダーを用いた革新生産技術である“CSコアプロセス”⁴⁾に最適な発泡中子造型機を開発したので報告する。

2. CSコアプロセスの概要

Fig. 1 上段に示すCSコアプロセス（CSはClean & Smooth、Circulation Sand、コアは中子を意味する）は、トヨタ自動車様と共同で開発したアルミ鋳物向けの生産技術である。本プロセスは2009年から共同開発がはじまり、現在ト

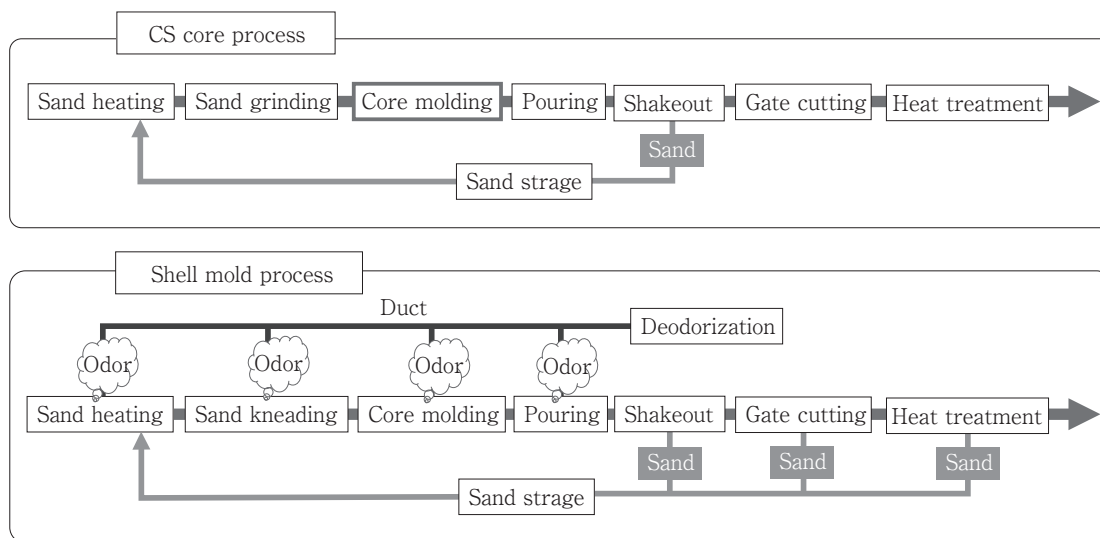


Fig. 1 Comparison between CS core process and shell mold process

* キャステックカンパニー 鋳造事業部 開発グループ

** キャステックカンパニー 鋳造事業部 技術グループ 造型システムチーム

ヨタ自動車様様のダイナミックフォースエンジン用のアルミシリンダーヘッドの量産に適用されている。

第二次世界大戦中にドイツで開発されたシェルモールドプロセス (Fig. 1 下段) による中子は、砂の粘結剤に有機物のフェノール系樹脂が用いられていたため、中子成型工程や注湯工程で粘結剤が分解し、臭気ガスが発生していた。このことから、CSコアプロセスによる中子は、臭気ガスの発生ゼロを目標に、粘結剤に無機物の水ガラスを用いている。

一方で、従来の水ガラスを用いた湿態の混練砂は、中子成型工程で金型キャビティに砂をエアブロー充填する際、充填不良が発生しやすいといった課題があった。そこで、弊社が保有する要素技術である、発泡剤を利用した“発泡混練砂の射出充填技術”を適用することで、高い流動性を有する砂による良充填性を実現した。更に本技術で成型した中子は中空となるため、砂排出工程で良排砂性を実現した。

注湯工程後に回収した砂は、環境の観点からも再生工程により繰り返し使うことが重要である。シェルモールドプロセスではフェノール系樹脂を用いるため、熱を加えることで樹脂を焼失させる

ことができるが、水ガラスは無機物であるので焼失させることができない。このことから、「低温加熱+弱研磨」工法により、水ガラスの不活性化と砂から水ガラスを剥離することで、砂のリサイクルを実現した。

3. 発泡中子成型機

Fig. 2 にシェルモールドプロセスで用いるシェル中子成型機(左)と開発した発泡中子成型機(右)の写真を示す。シェル中子成型機では、自動車のアルミシリンダーヘッドなどを対象とする中子を製造するには、成型性の問題から水平割成型機が必要となるため、成型機の高さが高くなり、広い設置面積を必要としていた。一方、発泡中子成型機では砂の良充填性を生かし、これまで水平割の金型でしかできなかった中子形状が垂直割の金型で成型できるようになったことにより、成型機の高さと設置面積を1/2にすることができた。また、粘結剤に水ガラスを用いることで、成型時に臭気ガスが発生しないため、これまであった臭気ガスを捕集するフードやダクトを無くすことができた。

発泡中子成型機は、Fig. 3 に示すように、混練ステーションと射出ステーションとで構成される。この二つのステーション間を、混練槽と射出



Shell molding machine



Height dimension : 1/2
Installation space : 1/2



Foamed core molding machine

Fig. 2 Comparison between shell molding machine and foamed core molding machine.

槽の両方を兼ねたシリンダが往復する。

混練ステーションでは、砂、水ガラス、発泡剤を計量し、シリンダ内に入れ、混練羽根により流動性の良い発泡混練砂を得る。混練後に混練羽根は上部に退避し、シリンダが横方向に射出ステーションへ移動する。

射出ステーションでは、金型上部に位置するプランジャーが下降することで移動してきたシリンダ内の発泡混練砂を金型キャビティに射出充填する。射出後、プランジャーは上昇し、シリンダは混練ステーションに移動し、再び材料の計量と投入、混練を開始する。

金型は 250℃～300℃ に加熱されており、発泡混練砂の中に含まれる水ガラスの脱水縮合反応によって中子が固化した後、金型を開いて中子を取り出すことができる。

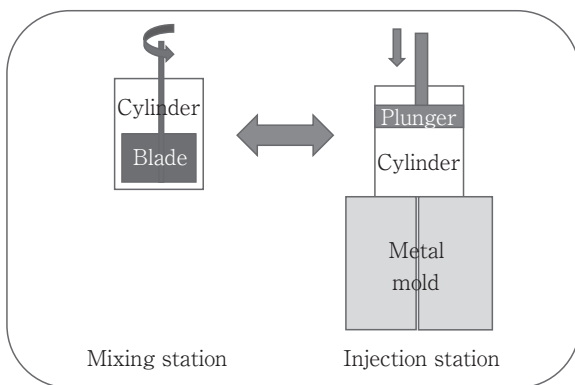


Fig. 3 Schematic illustration of foamed core molding machine.

4. 中子特性

4.1 臭気ガス

Fig. 4 にシェルモールドプロセスとCSコアプロセスで発生する臭気ガスの臭気濃度（もとのにおいを 100 倍希釈して、においを感じられなくなった場合、臭気濃度は 100）を比較した結果を示す。グラフから、シェルモールドプロセスに比べCSコアプロセスは臭気濃度を約 100 分の 1 に低減できることがわかる。このことにより、これまで中子造型工程、注湯工程に必要なだったフードやダクトだけでなく、脱臭装置も無くすことができた。

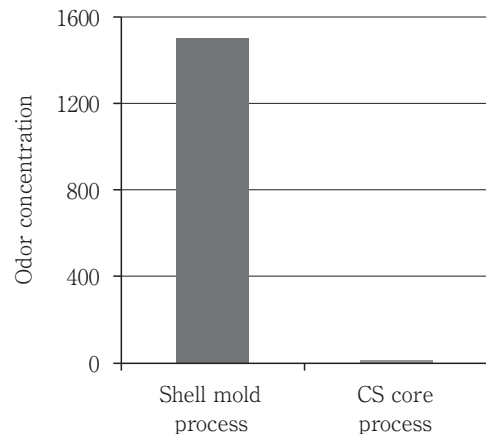
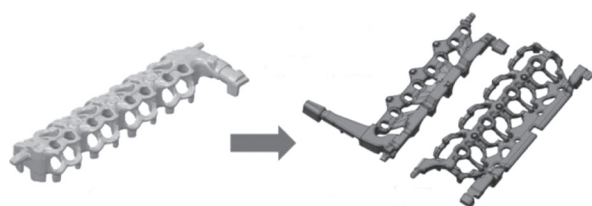


Fig. 4 Comparison of malodor between shell mold process and CS core process.

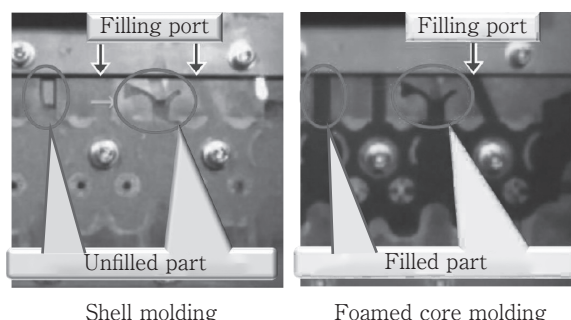
4.2 充填性

トヨタ自動車(株)様のダイナミックフォースエンジンは、世界トップレベルのエンジン性能を実現するため、アルミシリンダーヘッドの冷却水路（ウォータージャケット：WJ）をより薄く、より複雑な形状を実現する中子が必要であった（Fig. 5）。この中子の形状自由度の向上という要求を満たすため、CSコアプロセスでは弊社が保有する要素技術である、発泡剤を利用した“発泡混練砂の射出充填技術”を適用した。発泡混練砂は、発泡剤の効果により砂の間に細かな泡が多く存在することで、流動性が飛躍的に向上する。これにより、発泡混練砂はマヨネーズと同等の粘度の非ニュートン流体として扱うことができ、金型キャビティへ射出充填ができる。

シェルモールドプロセスで用いられる乾態砂のエアーブロー充填技術と、発泡混練砂の射出充填技術の充填性の違いを比較するため、同じ複雑形状の金型キャビティに砂を充填した結果をFig. 6 に示す。この際、エアーブロー充填では充填口を 2 ヶ所、射出充填では充填口を 1 ヶ所とし、射出充填の場合に不利に働く条件とした。結果、充填が難しい吹き上がり形状部に対し、エアーブロー充填では未充填部が見られた一方、射出充填では、充填口が 1 ヶ所にもかかわらず吹き上がり形状の細部にまで砂が充填できた。このことから、発泡混練砂の射出充填により、より薄く、より複雑な形状の中子を実現できることがわかった。



Conventional WJ core New WJ core
Fig. 5 Illustration of conventional WJ core and new WJ core.



Shell molding Foamed core molding
Fig. 6 Comparison of sand filling between shell molding and foamed core molding.

4.3 排砂性

中子砂は注湯工程後の砂排出工程で鋳物から全て排出されることが望まれる。従来のシェルモールドプロセスでは、排砂性に課題があり、砂排出工程だけでなく、堰切断工程や熱処理工程まで鋳物の中に砂が残ることがあった。一方、CSコアプロセスでは、発泡混練砂と加熱された金型を用いることで、Fig. 7に示すバインダーマイグレーション⁵⁾（印刷業界などでは、塗料を急速に乾燥させると、粘結剤などの成分が表面層に移動する現象として知られている）が生じる。このことにより中子の表面に粘結剤と砂が集中し、ち密な表面になる。また同時に、中子の内部が中空となることで、砂排出工程で良好な排砂性が可能となった。

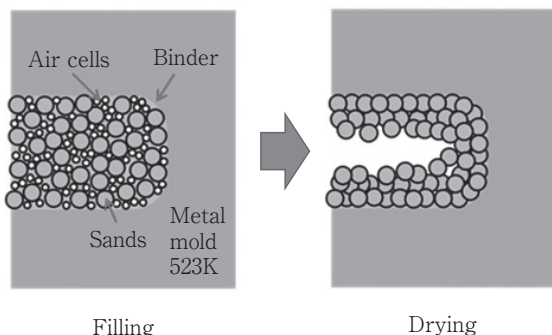


Fig. 7 Schematic illustration of binder migration phenomenon.

Fig. 8にCSコアプロセスの中子の断面をEDX観察した結果を示す。バインダーマイグレーションにより、中子の表面に粘結剤の水ガラスに含まれるナトリウム成分が多く存在し、内部に行くにつれ、ナトリウム成分が少なくなることがわかる。

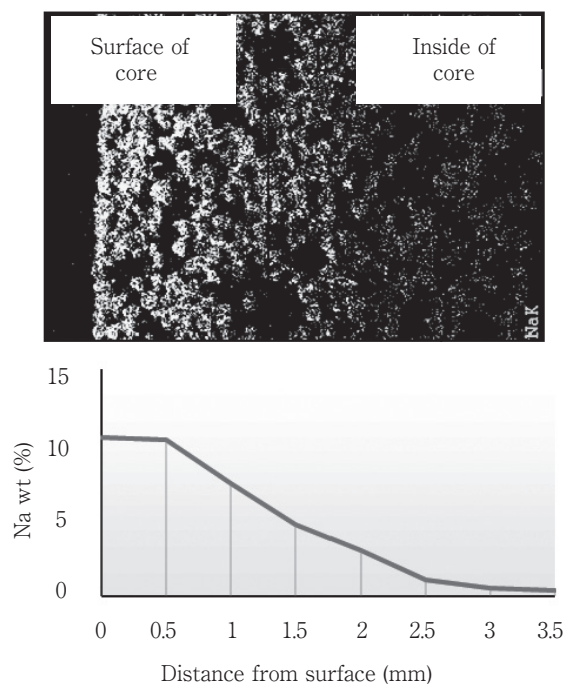


Fig. 8 Concentration of Na measured by EDX

5. まとめ

従来のシェル中子造型機に比べ、高さや設置面積が1/2の発泡中子造型機を新たに開発し、①無機バインダーによる臭気ガスの低減、②発泡混練砂の射出充填による薄肉・複雑形状の中子造型、③バインダーマイグレーションを利用した中子表面のち密化と中空化による良排砂性を実現した。

6. おわりに

日本でアルミ鋳物の生産技術として使用率が高いシェルモールドプロセスに代わる、革新生産技術のCSコアプロセス及び、このプロセスで中核を成す発泡中子造型機を開発した。開発にあたりトヨタ自動車様をはじめ、多くの関係者様からご協力をいただき、心より感謝する。今後、もっといい鋳物づくりを実現するため、継続して開発を進める。

参考文献

- 1) 善甫敏彦、加藤裕介、浅野憲啓、長坂政彦：
多糖類系バインダーによる中子の造型性、第
144 回全国講演大会講演概要集（2004）151
- 2) 善甫敏彦：新東技報No.22（2004）7
- 3) T. Aoki, Y. Kato, T. Zenpo, N. Asano：“New
Core Binder System for Aluminum Casting
Based on Polysaccharide”, 71ST World Foundry
Congress Proceedings, Bilbao, Spain（2014）
- 4) 渡邊浩庸、山下大輔、光武正臣、泉尚吾、須
田智和、門野英彦、加藤裕介、善甫敏彦：素
形材Vol.59 No.12（2018）11-16
- 5) 池田敦、江崎俊晴、尾鍋史彦：紙パ技協誌 55（2）
（2001）236-243