

モールドパウダーの最近の動向

The Latest Mold Powder Trends

尾 本 智 昭*

Tomoaki OMOTO

Abstract

In recent years, casting conditions are severe, and so the requirements for mold powder are also very strict and important. Additionally, casting speed is being increased to above 2.5m/min, called 3rd generation, so new mold powder products are required. We developed some new unique mold powders with allow both stable higher casting speed operation and increased of steel quality.

Current trends, topics and development of new mold powder technology will be described in this paper.

1. 緒 言

モールドパウダーは連続鋳造の安定操業と鋳片品質に極めて重要な技術である。近年の世界を取り巻く経済、社会情勢が変化する中で、鋼材に対する要求が多様化、高度化され、モールドパウダーへの要求も一段と厳しくかつ重要な位置付けとなっている。

より高い生産性で従来よりも品質に優れた鋼の生産体制が要求される中、スラブ、ブルーム、ビレットから薄スラブに至るまで今まで以上に高速鋳造が指向され、しかも極低炭素鋼、低炭素鋼から割れ感受性の高い亜包晶鋼に至るまで無手入れ化が追求されている。さらに従来は高速鋳造は困難とされてきた厚板鋼種も高速鋳造化が進み、パウダーの求められる特性も大きく変化してきた。

本報では、最近のモールドパウダーの動向として、高速鋳造をキーワードにスラブ用モールドパウダーの開発経緯やトピックスを中心に纏めたので報告する。

2. 超高速鋳造下での新たな課題と取り組み

1.5m/minが高速鋳造と呼ばれていた時代から、1980年代にかけて新鋭連鋳機が各所で相次いで稼動され鋳造速度2.0m/minが一般的となった第二世代へと進み、2000年に入ると2.5m/minを越える定常速度で操業する第三世代へと入ってきた。2.5m/minや3.0m/minのような超高速鋳造は、溶鋼スループットにすると5ton/min/strを越える条件となるが、このような高スループット操業となると各プロセスとのマッチング調整や取鍋交

1. Introduction

The mold powders are the most important element for stable casting operation and steel quality. During the change in economic situation and social conditions, requirements for steel materials have been complex, high position, and the requirement for mold powder are also very strict and important.

During the higher productivity with high quality is being required, the higher casting speed operations for slab, bloom, billet and thin slab casters are being directed and also no conditioning of steel are being required for ultra low carbon, low carbon and very cracks sensitive peritectic carbon steel. In addition, increasing the casting speed of middle carbon steel plate was difficult, but in recent years casting speed has been increasing, so the demands on mold powders been changed.

In this report, some trends for high speed casting mold powders are described.

2. New Problem in High-speed Casting Operation and Its Improvement

In the past, casting speed at 1.5m/min was called high-speed casting. Then new casters were installed one after another in the 1980's and casting speed at

* 技術研究所 第1研究グループ第4研究チームリーダー Mold Powder Team Manager, Research Center

換時などの非定常域で casting 速度の減速が余儀なくされる。

浸漬ノズル等の機能材は超高速 casting 条件に適合するように形状設計されているために、モールド内メニスカス条件が定常域と減速域で大きく変化してしまう。その対策の一つとして、近年の高速連鑄機に電磁ブレーキ、EMLS と呼ばれる電磁力^{1),2)}が活用されているが、速度変化時の湯面制御効果は完全ではなく、パウダーへ影響を及ぼし、特に減速時のメニスカス温度の低下により、操業トラブルや品質トラブルが発生し、鑄片無手入れ化への障害となっているのも事実である。したがって、超高速鑄造域だけでなく、減速などの操業変動に強いモールドパウダーが必要とされ開発に取り組んできた。

一方、超高速鑄造時には凝固シェル厚みが薄く、ロール間での鑄片の非定常バルジングが発生しやすく、大きな湯面変動の発生による生産ロスを引き起こす課題も生まれてきた。さらに湯面変動が引き金となり、鑄片品質異常や操業トラブルを引き起こす場合もある。このバルジング性湯面変動は2次冷却帯での現象であることから、モールドパウダーとの直接的な関係は軽視されていたが、ここ至近の取り組みで、モールドパウダーとの関係が明らかにされつつあり、バルジング性湯面変動を低減するモールドパウダーの開発にも取り組んできた。

3. 操業安定化技術とモールドパウダー

3.1 鑄造速度変動への追従性とモールドパウダー

湯面変動時や定常速度からの減速時に発生する品質、操業トラブルは、溶鋼流動が変化してモールド内メニスカス温度が低下することが要因と考えられる。実際に、大幅な減速時に、モールドと凝固シェルの拘束や介在物系欠陥などが発生しやすい。これは、メニスカス温度の低下によるパウダーの溶融性が変化していることが一つの要因と推察される。

パウダーの溶融性が変化する主な要因にモールドパウダーの形状因子が影響していると推察される。

Fig. 1 および Fig. 2 の結果は、高周波誘導炉で溶鉄上に各種形状のモールドパウダーを散布し、モールドパウダーの溶融性や滓化速度を評価したものである。

まず、湯面変動には対しては、Fig. 1 のように顆粒パウダーは溶融スラグと原パウダー層とが接触し、未溶融の原パウダー層若しくは焼結層をスラグが包み込み、その塊が溶融せず、いわゆる焼結塊を形成することが分かった。

一方、粉末形状の場合には、溶融スラグと原パウダー層が接触するも焼結塊を形成するまでには至らない。従って、超高速時に湯面変動が発生した場合、顆粒形状は焼結塊が発生しやすく、スラグベアーの生成を助長することにより、焼結塊やスラグベアーを凝固シェルが巻き込んだノロカミ性のブレイクアウトが発生しやすいと推測される。

Fig. 2 のように、顆粒形状のモールドパウダーは温度

2.0m/min, called 2nd generation, became general. After that the usual casting speed of some casters has been over 2.5m/min, called 3rd generation, since 2000. The throughput of ultra high-speed casting, 2.5 ~ 3.0m/min, is over 5ton/min/str. In the case of high-throughput casting operation, the casting speed needs to be reduced during unusual casting, such as ladle change or timing adjustment from others processes.

The meniscus condition during high-speed casting is different from that of low-casting speed because continuous casting parts, such as SEN and so on, are designed for high-speed casting. Electromagnetic force, called electromagnetic brake or EMLS^{1),2)}, is being used to improve the meniscus condition of high-speed casters in recent years. But control of the molten steel flow is not sufficient during casting speed changes. Therefore casting operation and steel quality trouble occurred, so the cast strands needed special conditioning. Mold powders are required to be useable not only for high-speed casting but also various casting conditions, such as reduced casting speed.

The solidified steel shell is so thin in ultra high-speed casting that steel strand bulging between the rollers can't be prevented. Therefore production loss due to a large amount of molten steel level fluctuation caused by bulging is occurred. Furthermore steel quality and the casting operation trouble due to molten steel level fluctuation can occur. The relation between mold powder and unstable bulging is considered slight because unstable bulging occurs in the secondary cooling region. However the relation between mold powder and unstable bulging has become obvious gradually and mold powder which prevents unstable bulging has been developed.

3. Technology for the Stable Casting Operation and Mold Powder

3.1 Flexibility for variable casting speed and mold powder

Some steel quality trouble and operation trouble caused by the casting condition changes such as molten steel level fluctuation and casting speed reduction occurred because of molten steel flow changes and temperature drop in the mold.

Actually, sticking and inclusion defects tend to occur during large casting speed decrease. One of the factors is considered to be that the melting

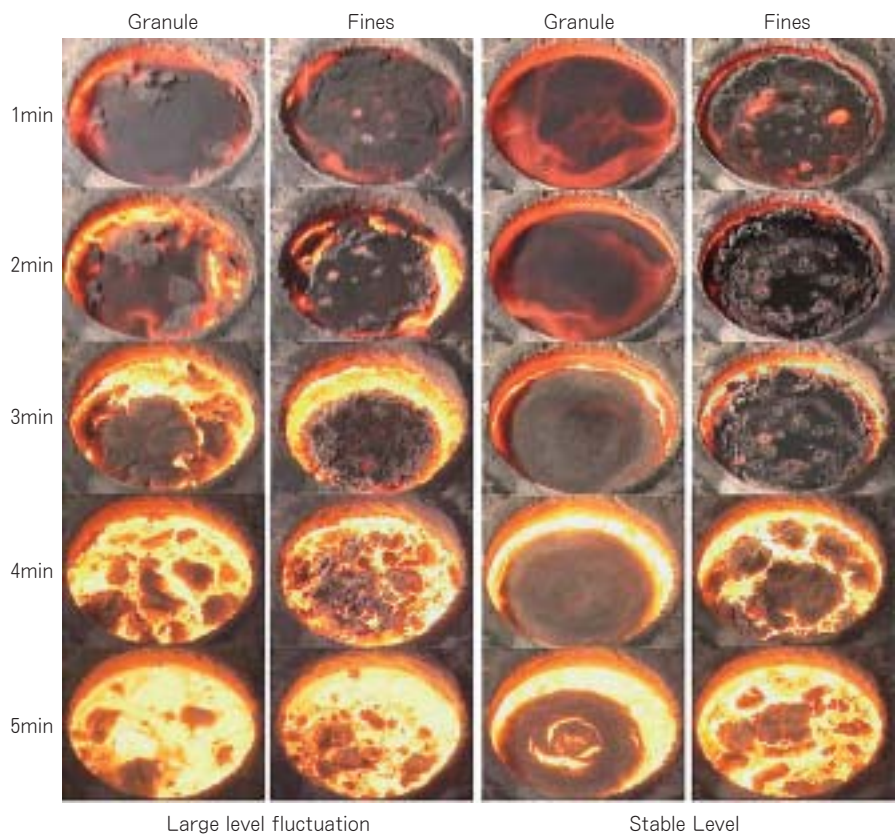


Fig. 1 Influence of mold powder shapes on melting behavior in different level fluctuation.

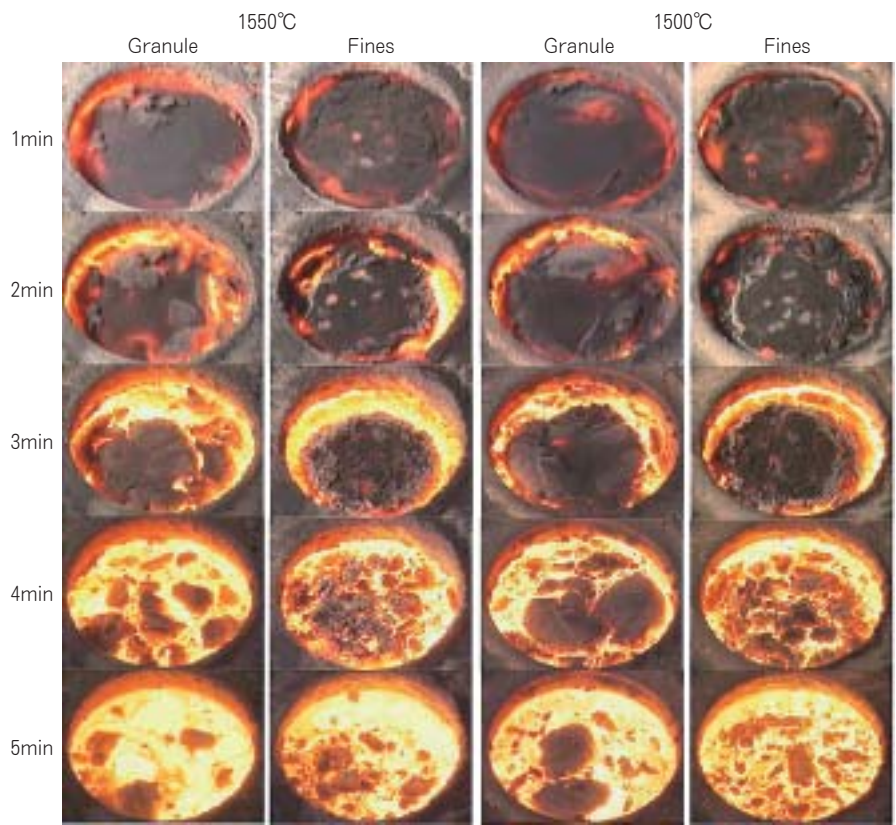


Fig. 2 Influence of mold powder shapes on melting behavior in different temperature.

が低い場合には粉末形状に比べ滓化速度が低下していることがわかる。すなわち、滓化速度が温度の影響を受けやすいと考えられる。

超高速鋳造の実機条件を想定すると、粉末形状のモールドパウダーは湯面変動時の焼結塊が生成しづらく、減速時の低メニスカス温度でも安定した熔融性を維持でき、一定の熔融層厚みが確保されやすく安定操作には有利と考えられる。

超高速連鋳機には粉末形状のモールドパウダーが適していることが判明し、粉末形状のモールドパウダーは超高速条件下でも安定して使用されている。

3. 2 バルジング性湯面変動低減とモールドパウダー

湯面変動の原因となるバルジングは2次冷却帯において発生する現象であり、スプレー水量等の最適化、ローラーライメントの調整、クレーターエンド位置の適正化など操業面から検討と対策が図られてきた。しかしながら、それらの対策だけでは不十分であり、最近ではモールドパウダーによるモールド内抜熱制御と、2次冷却帯での均一冷却化に着目し、効果を上げている。

凝固シェル厚みが薄くかつ不均一な場合、凝固シェル強度が不足し凝固シェルの薄い部分を起点にバルジングが発生する可能性を見出した。また、2次冷却帯で凝固シェルに部分的に残留するスラグフィルムにより、凝固シェルの冷却能が低下したりばらついたりして、バルジングを引き起こす可能性も見出した。したがって、均一な凝固シェルを一定以上の強度を持つように発達させ、2次冷却帯でスラグフィルムが全体的に剥離して残留しにくいモールドパウダーを開発してきた。

Fig. 3 に高速連鋳機における開発品と従来品の湯面変動による鋳造速度減速率の結果を示す。

開発品は高粘度モールドパウダーによりパウダースラグの巻き込みを抑制しつつ、抜熱を制御しスラグフィルムの剥離性に優れている。この結果、安定した操業と品

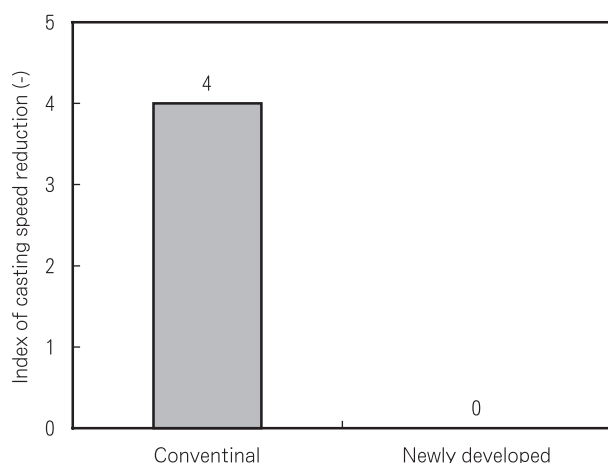


Fig. 3 Effect of newly developed mold powder on maintaining steady casting speed.

behavior of the mold powder is changed by reduced temperature at the meniscus.

The main factor of melting behavior change of mold powder is considered to be the shape of the mold powder.

Fig.1 and Fig.2 are the results of melting behavior and melting speed tests of mold powder on molten pig iron in a high frequency induction furnace. In the case of granule mold powder, melted slag contacts the unmelted powder layer when molten steel level fluctuation occurs. Then sintered blocks are formed. (Fig.1) In the case of fine mold powder, melted slag contacts the unmelted powder layer, but sintered blocks aren't formed. Therefore, when molten steel level fluctuation occurs during high-speed casting operation, granule mold powder easily forms sintered blocks and slag bear formation is accelerated by the sintered blocks. Sticking type break out is likely to occur easily from trapped sintered blocks and slag bear on the solidified steel shell.

The melting speed of granule mold powder was found to be slower than that of fine mold powder in low temperature conditions. (Fig.2) Therefore the melting speed of granule mold powder is considered to be easily affected by temperature.

As the results of these tests, fine mold powder was found to be advantageous for stable operation because sintered blocks rarely form. The melting behavior is stable during low temperatures at the meniscus due to reduced casting speed, and the thickness of melted layer is also stable. Fine mold powder has been found to be suitable for high-speed casters, and is now being used stably in ultra high-speed casting operation.

3. 2 Reduction of molten steel level fluctuation from bulging and mold powder

Bulging is the phenomena in the secondary cooling region. Secondary cooling water quantity, roller adjustment and the crater-end position control have already improved to prevent bulging. However these actions were not sufficient. The control of heat removal by the mold powder and uniform cooling of steel strands at the secondary cooling region have been very effective in recent years.

In the case of the formation of an uneven and thin steel shell, we found that the weak point of the steel shell triggered bulging. Furthermore, the powder slagfilm remaining on the steel strand surface

質向上を達成し、生産性の向上に大きく貢献している。

4. 鋼品質向上とモールドパウダー

4.1 低炭・極低炭用モールドパウダー

低炭、極低炭素鋼に代表される欠陥には、鑄片表層下のガス気泡と介在物が挙げられる。これまでの研究では、表層下のガス気泡や介在物性欠陥は、凝固シェルの爪への捕捉によるものでメニスカス温度の向上やモールドパウダーによる保温性向上³⁾が重要と考えられてきた。しかしながら、近年の検討結果から、モールドパウダーの保温性に加え、メニスカス域での凝固シェルの均一生成も重要であることが認められている。初期凝固シェルの均一に健全に形成させるには、メニスカス域での抜熱制御が重要で、モールドパウダーによる緩冷却化が必要となる。さらに、至近の超高速鑄造条件では、モールド内の抜熱速度は増大し、均一な凝固シェルが形成されにくく、緩冷却をより強く指向する必要がある。

一方、低炭、極低炭素鋼の超高速鑄造条件では、溶鋼メニスカス流速が増大し、パウダースラグの削り込み、巻き込みが起りやすくなり、鑄片品質、コイル品質を悪化してしまう。そのために、モールドパウダーの高粘度化⁴⁾が指向され、これまで大きな成果をあげてきた。しかしながら、高粘度を維持しつつモールドパウダーの結晶性を強くすることは結晶化の観点から困難である。そこで、モールドパウダーの再結晶性に着目した開発を進め、近年成果が得られてきた。

パウダースラグはモールドと凝固シェル間に流入し、モールド側のスラグは急冷却されてスラグフィルムを形成する。高粘度スラグの場合には過冷却液体のままガラス化されやすく、メニスカス域での緩冷却が達成されにくい。しかし、凝固シェルからの受熱により、ガラスフィルムから再結晶化されれば結晶層が形成されより緩冷却化が達成できると考えられる。

Fig. 4 に、この考え方で新たに開発したパウダーと従来のパウダーを一度ガラス化した後、再度加熱したときのガラスの経時変化を示す。新たに開発したパウダーは同じ高粘度でありながら、化学成分などを調整することで再結晶化が促進されることが分かった。

再結晶化に着目したモールドパウダーは厳格材鋼種での超高速鑄造条件で、使用が開始されている。

4.2 中炭厚板用モールドパウダー

中炭厚板材の主な欠陥には、表面割れが挙げられる。凝固時の包晶反応 ($\delta \rightarrow \gamma$ 変態) により凝固収縮量が増大し、凝固シェルが不均一に生成して表面割れが発生しやすい。さらに、厚板材は圧延工程でのスケールオフ量が少なく、鑄片表面の欠陥が残留しやすく製品欠陥へと繋がりがやすい。そのために、中炭厚板材の鑄造速度は 2.0m/min 未満が一般的であった。

厚板材の超高速化を進めるにあたり、モールドパウダーはより緩冷却を指向しなければならないが、同時に超高

prevents cooling of the steel strand. The powder slagfilm causes steel strand surface temperature deviation resulting in bulging. We have developed new mold powders which can make a uniform and strong steel shell and can reduce adhesion of slagfilm on the steel strand surface.

Fig.3 shows the effect of newly developed mold powder on maintaining steady casting speed. The high viscosity of the new mold powders helps prevent molten steel entrapment of powder slag, controlling heat removal in the mold, and slagfilm comes off quickly at the secondary cooling region. These new products are contributing to the increase of steel quality and increase of the productivity greatly.

4. Increase of Steel Quality and Mold Powder

4.1 Mold powders for ultra low carbon steel and low carbon steel

The typical steel defects on the ultra low carbon steel and low carbon steel are gas bubbles and inclusions on the steel surface. These defects are caused by the gas bubbles and inclusions trapped at the hock of the steel shell. Increasing steel surface temperature and powder insulation³⁾ are very important for the prevention of defects. According to current studies, a uniform steel shell at the meniscus is also very important for decreasing these defects. Reduction of the heat removal at the meniscus by the mold powder is very important for uniform steel shell formation. Additionally, heat removal in the mold is increased in current ultra high-speed casting conditions. Therefore the steel shell isn't formed uniformly, so low heat removal in the mold should be strongly required for uniform steel shell formation.

On the other hand, in the case of ultra high speed casting conditions for ultra low carbon steel and low carbon steel, the steel flow velocity at the meniscus in the mold increases and it causes the powder inclusions and also it causes the steel defects on the steel strands and steel coils. That is to say, higher viscosity mold powder is required.⁴⁾

Increasing mold powder crystal formation while maintaining high viscosity is very difficult from the viewpoint of crystal formation logic. So, we paid attention to the re-crystallinity of the mold powder. Powder slag flows between mold and steel shell and the mold side slagfilm is quickly cooled by the mold.

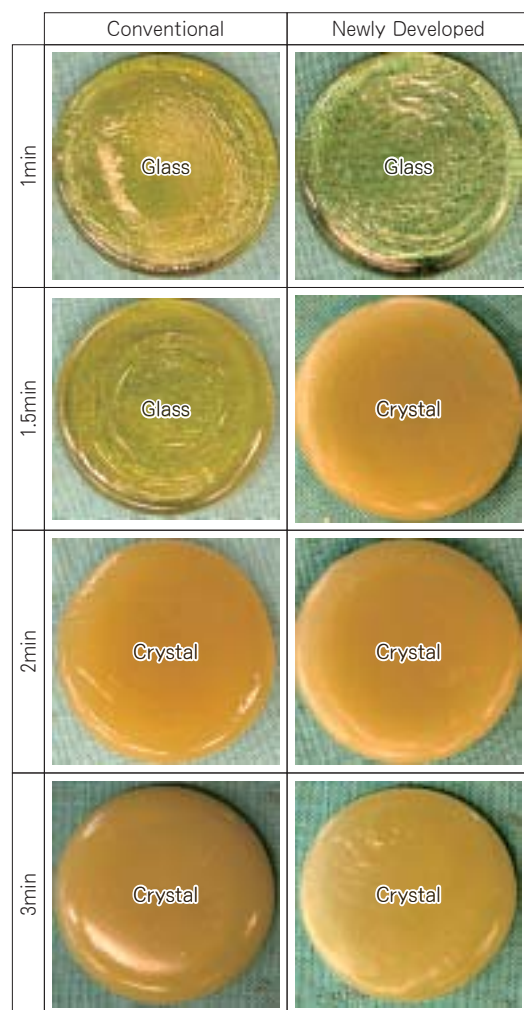


Fig. 4 Re-crystallization behavior of conventional and newly developed mold powders.
(Re-heated from glass at 800°C)

速条件下でも安定した凝固シェル厚みを確保させなければならない。

これまでの研究から、モールドと凝固シェル間のスラグフィルムに結晶生成を増大させた高結晶化温度の緩冷却指向型モールドパウダー^{5),6)}が有効と判明し、使用されてきた。しかしながら、超高速鋳造条件では、鋳片縦割れの発生を抑制するには不十分であると同時に、過度の緩冷却指向は超高速化での適正な凝固シェル厚みを確保することが難しい。

そこで、超高速下でも鋳片縦割れを抑制するためにメニスカスを超緩冷却化し、メニスカス以降の抜熱速度を増加させ凝固シェル厚みを確保できるモールドパウダーの開発に取り組んできた。その結果、これらの特性を発現させるには、モールドパウダーの結晶化速度が重要であることを見出した。

Fig. 5 に代表的な開発品の結晶化速度の比較結果を示しているが、従来よりも結晶化温度を低く設定しているものの、適正な成分調整をすることで速やかに結晶が生

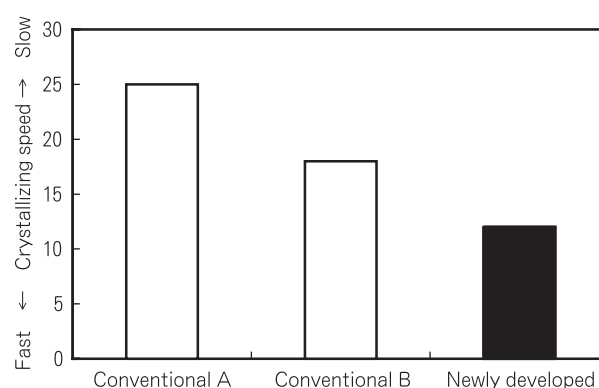


Fig. 5 Comparison of crystallizing speed of some mold powders during cooling.

In this case, the higher viscosity powder slag forms a glass layer with super cooling condition. This prevents mild cooling at the meniscus. However, if the glass layer is re-crystallized by heat from steel shell, heat removal becomes lower.

Fig.4 shows the results of re-crystallization behavior. The newly developed mold powder has re-crystallization performance with high viscosity by means of controlling the chemical composition. These mold powder products are being used in the ultra high speed casting conditions for high spec steel grades.

4. 2 The mold powder for middle carbon steel for plate

Main defects of middle carbon plate steel are surface cracks. Middle carbon steel has large linear shrinkage during solidification. This shrinkage tends to create an uneven thickness solidified steel shell and easily causes longitudinal surface cracks. Moreover, plate steel strand surface defects remain easily because the quantity of scale that falls off during the rolling process is small. Therefore the casting speed of middle carbon plate steel had been held usually under 2.0m/min.

In order to increase casting speed of plate steel, both secure solidified steel shell thickness and mild heat removal are necessary. High crystallization temperature and mild cooling mold powders^{5),6)} are effective for decreasing surface cracks. But they are not enough to decrease surface cracks in ultra-high speed casting. And excessively mild cooling makes it difficult to attain adequate shell thickness.

We have developed a mold powder that can decrease heat removal near the meniscus region in

成する特性が発現されている。

現在では、本開発品により鑄片縦割れ低減と超高速（スループット9.6ton/min/str）での安定した鑄造も実現されている。

5. 作業環境への配慮

粉末形状は高い保温性（断熱性）や先述した操業変化への追従性などで優れた特性をもつものの、作業環境には決してよい製品とは言えない。すなわち、粉末形状は発塵によってモールドパウダーが衣類や皮膚へ黒く付着し、黒いことでの作業環境を悪化させる側面も合わせもっていた

そこで、当社はこれまでに粉末タイプでありながら発塵の少ない商品、GEMINIパウダー⁷⁾を開発し各所に納入してきた。

さらに、最近の研究開発によりモールドパウダーの色調を従来の黒色から白色へ変えることで、衣類や皮膚へ黒く付着することを抑制できる白色パウダー⁸⁾を開発した。Fig. 6 に開発した白色パウダーの外観を従来パウダーと比較して示す。

この白色パウダーは、従来から使用されていたカーボンブラックを排除して、パウダーの熔融性、滓化性を調整した画期的な商品であり、多くのユーザーで好評に使用されている。

6. 今後の課題

第3世代へと歩みだした高速鑄造を、これまでの高速鑄造条件とあえて差別化する意味で超高速鑄造という表現で記述してきたが、今後もあり超高速鑄造が指向され、それに適したモールドパウダーの開発、実用化が望まれることは言うまでもない。

連続鑄造プロセスは凝固プロセスでもあり、短時間に溶鋼を均一に凝固させなければならない。しかしながら、超高速条件下では、モールド内抜熱速度がより増加するために緩冷却が必要となるが、緩冷却を指向しすぎると凝固シェル厚みが確保されず、安定した操業が得られない。超高速鑄造を安定して操業し、かつ安定した品質を確保するには、強冷却でも凝固シェルが均一に形成でき

order to prevent surface cracks and increase heat removal under the meniscus region in order to secure shell thickness. We found that the crystallization velocity was important. Fig.5 shows the crystallization velocity of typical mold powders. Although the crystallization temperature of the mold powders being developed is lower than the past mold powder, the crystallization velocity can be increased by adjusting the chemical composition.

Recently, middle carbon plate steels have been cast at ultra-high speed (through put is 9.6ton/min/str) with decreased strand surface cracking with the newly developed mold powders.

5. Consideration on Operating Environment

Fine mold powder has advantages in insulation performance and flexibility for the various operating conditions. However it causes dust and black stains on hands and clothes.

So we have developed and have been supplying “GEMINI”⁷⁾, a fine mold powder which doesn't create dust.

Furthermore, we have developed “WHITE POWDER”⁸⁾, which doesn't cause black stain on hands and clothes, by changing the color from black to white. Fig.6 shows the appearance of “WHITE POWDER” and conventional powder.

We were able to control melting properties and melting speed without using carbon black in developing “WHITE POWDER”. It has good reputation among customers.

6. Problems to be Solved

We expressed the high speed casting of the third generation as “ultra high speed casting”. This is different from conventional high speed casting. Needless to say, we should develop mold powders to suit much higher casting speeds demanded in the future.

Continuous casting process is the solidification process. So, molten steel should solidify uniformly in a short time. During high-speed casting, heat removal in the mold becomes higher, so lower heat removal should be required to improve steel quality. However, too much lower heat removal causes insufficient thickness of the solidified steel shell required for stable operation. Technique and material, for a uniform solidified steel shell in spite of higher heat removal, should be developed to



Fig. 6 Appearance of white mold powder.

る技術や材料の開発が必要となるであろう。中でも割れ感受性の高い中炭素鋼の超高速鋳造にはこの技術が重要であり、さらなる研究開発が望まれる。

一方、鋳片の表面割れ感受性が高い中炭素鋼には、緩冷却パウダーが有効であることはこれまでの知見や経験と先述した内容からも明らかである。しかしながら、パウダーの結晶性を高め緩冷却を指向すると拘束性BOの発生が懸念され、潤滑性確保の面からパウダーの低粘性化が必要となる。低粘性パウダーは、低粘性であるが故に、モールド内でパウダースラグの削り込み、巻き込みが起こりやすく、介在物性欠陥が生成しやすい。幸い、現時点ではさほど中炭素鋼のパウダー性介在物が問題視されることはないが、今後は最終需要家の要求がさらに厳しくなることは十分に予想され、パウダースラグが巻き込まれにくく、同時に表面割れも低減される中炭素鋼パウダーの開発も必要となるであろう。

作業環境面については本報でも触れてきたが、安定した操業と鋳片品質の確保には粉末性状が有利であることは分かっているが、作業環境をより快適にすることは永遠のテーマであり、さらに改善を進めていく必要がある。

7. 結 言

最近のモールドパウダーの動向について、超高速鋳造をキーワードに最近の開発経緯や実用化例を中心にまとめた。連続鋳造技術の評価基準において高速鋳造や高品質が高位に考えられ、また日本の製鋼技術の進むべき方向性でもある現状、各製鉄所は高速化、高品質化を追い続けて行くであろう。しかしながら、モールド内の現象を直接的に観察することは難しいため、基礎的検討の積み上げと、仮説と検証を繰り返しながらモールドパウダーの開発を進める必要がある。

一方で、実生産の優先とテストへのマンパワーやコストの面から、今まで以上の速いスピードでのモールドパウダーの開発やテストを期待しにくい一面もある。よりいっそう高速鋳造、鋼品質向上に関係するパウダー技術の開発を、実機条件をシミュレーションできる評価で開発していくことが大きく望まれる。

stabilize high speed casting and steel quality. This technique is important especially for high speed casting of middle carbon steel with high cracking sensitivity. More improvement is needed.

On the other hand, according to past knowledge, experience and the content mentioned above, it is clear that mold powder with lower heat removal is effective for middle carbon steel with high cracking sensitivity. However, because lower heat removal with higher crystallization tends to cause sticking, viscosity of mold powder should be decreased to increase lubrication. Powder slag with lower viscosity is easily trapped in molten steel and causes inclusion defects. Fortunately, inclusion defects in middle carbon steel are slighted at this time, but the demands of end users will be severer in the future. So, mold powders that can decrease both powder inclusions and surface cracks of middle carbon steel should be developed.

As mentioned above, it is clear that fine mold powder has advantages in stable operation and steel quality, but further improvement of the operating environment is an everlasting theme.

7. Conclusion

New high speed casting mold powder trends and development were described in this paper. It is difficult to observe the mold directly, so developing new mold powders requires repeated hypothesis consideration and experimental trials. It is difficult to improve mold powder more quickly because of the lack of manpower and costs. Also, mold powder tests are difficult because steel making companies keep rigorous production schedules.

In the future, we look toward mold powder actual use simulation technology for faster development.

References

- 1) Makoto Suzuki et al ; CAMP-ISIJ.Vol.9,p616-617 (1996)
- 2) Kazuhiro Kariya et al ; CAMP-ISIJ Vol7,p281 (1994)
- 3) Kenji Ichikawa, Osamu Nomura, Akihiro Morita ; Shinagawa Technical Report, **34**, p127-138
- 4) Kasai et al ; CAMP-ISIJ, 3 1114 (1990)
- 5) Toshiharu Chikano et al ; Shinagawa Technical Report, **31** (1988)
- 6) Kenji Ichikawa, Osamu Nomura ; Shinagawa Technical Report, **32** (1989)
- 7) Tomoaki Omoto, Yukimasa Iwamoto, Hiroyuki Yamaji ; Shinagawa Technical Report, **45**, p85-92
- 8) Tomoaki Omoto, Yukimasa Iwamoto ; Shinagawa Technical Report, **48**, p85-88