

高級薄板用連鑄パウダーの開発

草野 昭彦*・西原 良治*²・皆川 安生*³・佐藤 正廣*³

Development of Mold Powder for High Grade Sheet Steel

Akihiko KUSANO, Ryoji NISHIHARA, Yasuo MINAGAWA and Masahiro SATO

Synopsis : In the production of cast slab for high grade sheet steel, the powder in continuous casting mold is entrained into the molten steel and caused the surface defects in the products. The typical example is the white spot defect for tin plate steel. For preventing the white spot defect, new continuous casting powders are developed. Those powders are consist of CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-CaF₂-AlF₃ system and less Na content.

The results of study in laboratory and casting in plant are summarized as follows.

- (1) By replacing Na materials with the fluorides of alkali-earth metal, the improved powder can be produced.
- (2) When Na in powder is less than 1 mass percent, the occurrence of white spot defect of the tin plate steel produced by high-speed casting is remarkably decreased.
- (3) Characteristics of the improved powder are as follows.
 - ① The powder is designed of higher viscosity and surface tension.
 - ② The crystallization temperature is lower.
 - ③ The variation in viscosity due to Al₂O₃ pick up during casting is less.

Key words : inclusion; continuous casting; tin plate; continuous casting powder; fluorides; viscosity; surface tension; melting point; alkali-earth metal; sodium.

1. 緒言

鋼の連続鑄造では、鑄型と鑄片間の潤滑、溶鋼の二次酸化防止、鑄型内で浮上した非金属介在物の吸収等を目的として連鑄パウダー（以下パウダーと略す）を使用しているが、近年の高速鑄造化に伴い鑄型内でパウダーが溶鋼に巻き込まれ、ブリキ材では白しみ疵等の製品欠陥の原因となっている。著者らは、白しみ疵が溶鋼に巻き込まれたパウダー中のNa成分に起因していることを既報¹⁾にて報告した。その後、さらにパウダーの物性調整用として現在使用しているナトリウム化合物（NaF, Na₂CO₃等）の使用量を2mass%以下に調整すれば白しみ疵の発生が低減出来ると考え、Naを低減したパウダーの開発に取り組んできた。

その結果、高速鑄造を実施しても白しみ疵の発生が防止でき、さらに「溶鋼に巻き込まれにくい特性」を持つ低Naパウダーを開発したので報告する。

2. 開発パウダーの探索

既報で示したように白しみ疵の発生を低減させるためにはNa⁺を2mass%以下にしなければならぬ¹⁾。Na⁺はパ

ウダーの粘度、熔融温度の調整剤として使用されているため、Na⁺を低減すると、粘度、融点が上昇する。一方、パウダーの粘度と鑄造速度の関係は、 η (粘度) × Vc (鑄造速度) = 一定の関係ではば整理でき²⁾、粘度を適正範囲以上に高くすると鑄型と鑄片間の潤滑性が低下し、鑄造性および鑄片品質の悪化を招く。そのため1.4~1.6 m/minの鑄造速度で操業するためには、1300°Cにおいて0.15~0.25 Pa·sの粘度を持つパウダーが一般に使用されている。Na⁺を低減するためにはナトリウム化合物にかわる粘度、融点調整剤が必要であり、その代替成分としてフッ素(F)成分に着目した。Na⁺およびF⁻量とパウダーの粘度との一般的な関係を調査するため、各種市販のパウダーを同一装置で測定し、重回帰分析を実施した。その結果をFig. 1に示すが、回帰係数は0.77と高く、Na⁺をF⁻に換えても充分粘度調整が可能なが判った。また、フッ化物としてアルカリ土類金属フッ化物を選択した。その理由は、アルカリ土類金属フッ化物は水に対する溶解度が、Table 1に示すようにアルカリ金属に比べて非常に小さい³⁾からである。白しみ疵はパウダー中のNa⁺が浸入水分に溶解し、NaOHを生成することが原因であり、水に対する溶解度の小さい物質を選ぶことが、白しみ疵対策用パウダーの開発

平成10年6月10日受付 平成11年4月6日受理 (Received on June 10, 1998; Accepted on Apr. 6, 1999)

* 新日本製鐵(株)チタン部(現:九州耐火煉瓦(株)東京営業所)(Titanium Div., Nippon Steel Corp., now Kyushu Refractories Corp., 1-9-9 Yaesu Chuo-ku Tokyo 103-0028)

* 2 新日本製鐵(株)八幡製鐵所(Yawata Works, Nippon Steel Corp.)

* 3 日鉄建材工業(株)ニッテックス事業部(Nittex Div., Nippon Steel Metal Products Co., Ltd.)

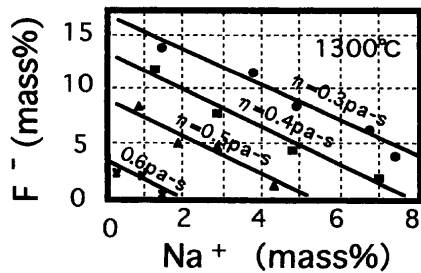


Fig. 1. Relationship between quantity of Na⁺ and F⁻ on viscosity.

Table 1. Solubility of fluorides of alkali and alkali-earth metal in water.

(g/l, at 18°C)					
Alkali-earth			Alkali		Neutral
MgF ₂	CaF ₂	BaF ₂	NaF*	KF	AlF ₃ *
0.0076	0.017	1.64	40.3	923	5.59

(* : Water temp. = 25°C)

Table 2. Experimental conditions.

Base Material (Mass%)		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ⁺	CaO/SiO ₂
		46.1	46.0	4.2	2.7	1.0	1.0
Added Material	Name	MgF ₂ , AlF ₃ , BaF ₂ , CaF ₂					
	Quantity(Mass%)	5, 10, 15, 20, 25					

に当たって重要であると考えた。以上の観点からアルカリ土類金属フッ化物（以下金属フッ化物と略す）を基にしてNa⁺を低減したパウダーの開発に取り組んだ。

パウダーの開発は2段階に分けて実施した。第1段階は、実験室を中心に金属フッ化物を使用したパウダーの特性を調査した。第2段階は、連鑄機による実機鑄造試験により、鑄造特性の確認と鑄片品質を評価した。

3. 金属フッ化物パウダーの特性調査

各種の金属フッ化物添加時のパウダーとしての基礎特性を調査した。

3.1 試験方法

3.1.1 供試材料と試験条件

Table 2に供試材料および試験条件を示す。特性値を測定する時点での塩基度(CaO/SiO₂)が、約1.0になるようにベースパウダーの成分を調整し、4種類の金属フッ化物を添加した。尚、本文において、パウダー中にCaF₂を使用している場合は、CaF₂中のCaをCaOに換算し、他の原料からくるCaOと合計した成分値を表示し、フッ素はF⁻の成分値を表示した。

3.1.2 パウダーの物性測定方法

パウダーの物性測定項目は、基礎物性となる粘度、融点、溶融速度の他に、必要に応じて、凝固温度、溶鉄の被覆性、

Table 3. Chemical composition of molten iron.

Content (mass%)				
C	Si	Mn	P	S
2~3	0.05	0.30	0.018	0.006
	~0.09	~0.38	~0.028	~0.011

表面張力を測定した。

(1) 粘度測定法および凝固温度測定法

粘度は、1300°Cで鉄(SS400)製ルツボ内で溶融保持したパウダー中に鉄(SS400)製ローターを浸漬して回転させ、その時のトルクから算出した。

凝固温度は、粘度と同一方法で測定した。1300°Cから20°Cずつ温度降下させて、各温度に保持しながら粘度を測定し、温度降下により溶融パウダー中に結晶が晶出して、粘度が20 Pa·s以上となり測定が不能になった温度を凝固温度（ブレイクポイント）とした。

(2) 融点測定法

円柱状に成形したパウダーを10°C/minの速度で昇温させ、円柱が昇温前の1/2の高さに溶融した時の温度を融点とした。

(3) 表面張力測定法

表面張力は、1250°Cで溶融・保持したパウダーに白金円筒（外径13.0mm, 内径12.8mm, 厚み0.1mm）を浸漬して荷重を掛けることにより引き上げ、溶融パウダー表面から白金円筒とともに溶融パウダーが引き上げられ、引き上げられた溶融パウダーの皮膜が切れた瞬間に掛かった荷重から算出した⁴⁾。

(4) 溶融速度および溶鉄被覆性測定法

Table 3に示す成分の溶鉄を高周波炉で1530°Cに保持し、その表面に内径65mmφのアルミナ製のリングを固定し、40gのパウダーをリングの中に投入して完全に溶融するまでの時間を測定し、その時間を溶融速度とした。またパウダーの溶鉄面の被覆状況を目視で観察し、その面積率を溶鉄の被覆性を評価する値とした。

3.2 試験結果

3.2.1 粘度および融点

各種の金属フッ化物添加時の粘度、融点の調査結果をFig. 2, 3に示す。いずれのフッ化物も添加量の増加とともに粘度・融点が低下する。現在使用中のNaを物性調整剤としたパウダーは1.2~1.6m/minの鑄造速度においては、鑄片品質および鑄造性から η （粘度 at 1300°C）=0.15~0.25 Pa·s, m.p.（融点）=1050~1200°Cのものが使用されている。それを基に考えると4種類のフッ化物(MgF₂, CaF₂, BaF₂, AlF₃)のいずれかを20~25 mass%添加し、さらに塩基度を微調整することにより所定の特性が得られる可能性があることが判った。フッ化物の選択にあたっては商品化後の原料コストも考慮し、CaF₂を選定した。また、MgF₂についてはイオン結合であり、溶融状態ではイオン解離していることが予想されるので、原料が安価なMgO-CaF₂を使

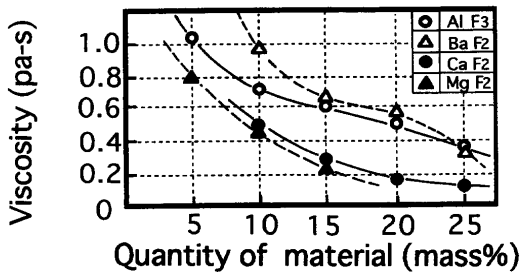


Fig. 2. Effect of quantity of added materials on viscosity.

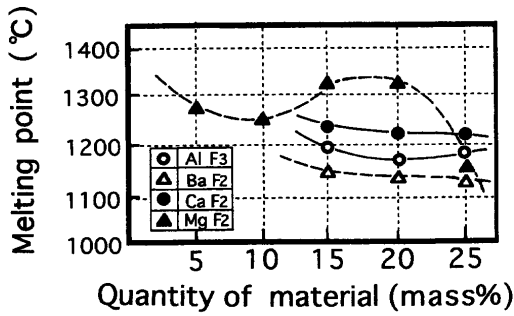


Fig. 3. Effect of quantity of added materials on melting point.

Table 4. Chemical composition of powder.

	Content (mass%)						(CaO/SiO ₂) ^{*3}
	CaO ^{**}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaF ₂	(MgF ₂) ^{*1}	
1	13.5	47.9	2.3	11.0	21.3	17.0	0.60
2	18.5	42.2	2.4	11.0	21.3	17.0	0.80
3	22.4	37.6	2.6	11.0	21.3	17.0	1.00
4	9.9	46.5	2.0	12.9	25.1	20.0	0.60
5	14.7	40.8	2.2	12.9	25.1	20.0	0.80
6	18.5	36.5	2.4	12.9	25.1	20.0	1.00
7	4.0	44.0	1.7	16.2	31.3	25.0	0.60
8	8.5	38.8	1.9	16.2	31.3	25.0	0.80
9	12.1	34.6	2.0	16.2	31.3	25.0	1.00

*1 CaO conversion value of Ca in CaF₂ does not include.
 *2 (MgF₂ mass%) = MgO mass% × MgF₂ molecular weight / MgO molecular weight
 (MgF₂ mass%) = CaF₂ mass% × MgF₂ molecular weight / CaF₂ molecular weight
 *3 (CaO/SiO₂)
 = (CaO mass% + CaF₂ mass% × CaO molecular weight / CaF₂ molecular weight) / SiO₂ mass%

用することとし、CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-CaF₂系のパウダーについて調査を進めた。

この系においてMgF₂の配合量を3水準、塩基度を3水準に振らしたTable 4に示す成分の試料を作り、粘度と融点を測定した。結果をFig. 4に示す。図はMgO-CaF₂添加量をMgF₂に換算し、塩基度を変化させたときの結果である。塩基度が0.8付近で融点が最も低く、MgF₂換算25mass%で融点1110°C、粘度(at 1300°C) 0.14 Pa-sの特性が得られた。

3.2.2 溶鉄の被覆性

溶融したパウダーの溶鋼被覆性が悪いとパウダー切れを起こして鑄片に割れが発生すると考えられるので、パウダーの溶鋼被覆性は重要な特性の一つである。被覆性は表面張力が大きく影響すると考えられるので、表面張力に及ぼす各種酸化物およびフッ化物の関係を文献より調査し

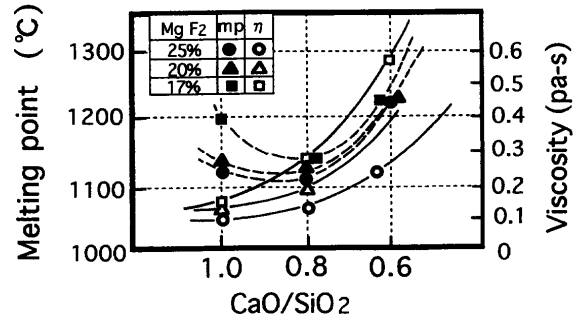


Fig. 4. Changes of melting point and viscosity by added MgF₂.

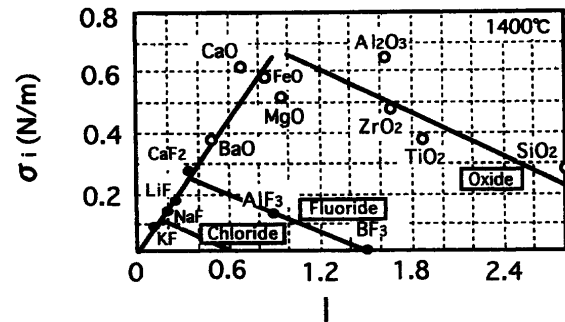


Fig. 5. Relationship between σ_i and I value for oxides, fluorides and chlorides.

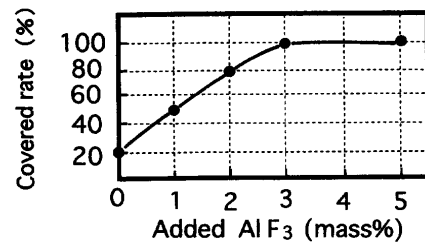


Fig. 6. Rate of molten steel surface covered with molten powder.

た。佐藤によると³⁾、表面張力は、各種酸化物およびフッ化物の I 値(イオン間引力 $I=Z^+ \cdot Z^- / a^2$, Z : 原子価, a : イオン間距離)と関係があり、その結果はFig. 5で示される。図よりパウダーに対して表面張力を効果的に低下させ、被覆性を向上させる物質はAlF₃である。この調査結果を基に、CaO(19.8 mass%)-SiO₂(44.5 mass%)-Al₂O₃(2.8 mass%)-MgO(10.8 mass%)-CaF₂(21.7 mass%)系パウダーにAlF₃を添加した時の溶鉄被覆性を測定した。その結果をFig. 6に示す。AlF₃を3 mass%以上添加すると、溶融したパウダーが完全に溶鉄面を被覆するようになる。3 mass%未満の添加ではリングの中央部で溶鉄面が露出し、無添加ではさらに大きく露出する。

3.3 金属フッ化物パウダーの特徴

3.3.1 成分、融点および粘度

基礎特性調査結果を基に粘度水準を変化させた金属フッ化物パウダー(以下F系パウダーと略す)、およびその比

Table 5. Chemical composition and physical properties of powder.

Name	Content (mass%)									CaO/SiO ₂	m. p. (°C)	Viscosity at 1300 °C (pa-s)	Surface tension at 1250 °C (N/m)
	T. C	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na'	F'	(MgF ₂)	(AlF ₃)				
F-1	5.3	32	40	2	10	1	10	16	-	0.80	1150	0.33	0.330
F-2	5.3	31	37	1	13	1	12	19	-	0.85	1147	0.19	0.326
F-3	2.4	36	40	6	6	1	9	8	4	0.90	1140	0.40	0.317
F-4	1.9	34	40	3	13	1	12	20	-	0.90	1155	0.20	0.328
F-5	1.7	36	40	6	6	1	9	8	5	0.90	1120	0.32	0.310
Na-1	2.9	36	37	6	-	7	5	-	-	0.98	1145	0.34	0.245
Na-2	5.2	33	32	6	-	9	7	-	-	1.02	1120	0.18	0.235

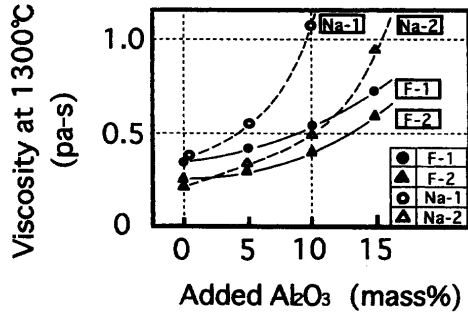


Fig. 7. Effect of added Al₂O₃ on viscosity.

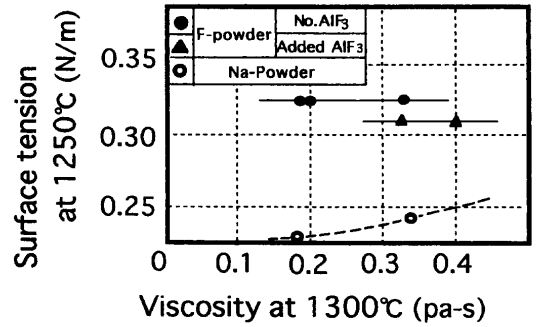


Fig. 9. Relationship between viscosity and surface tension.

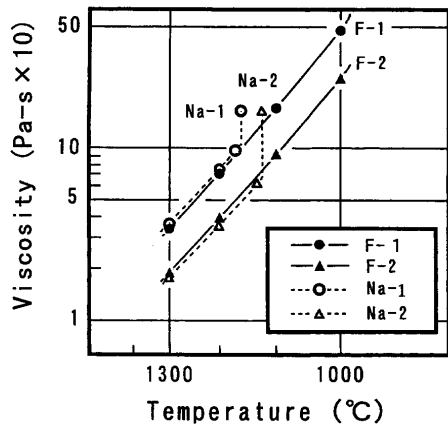


Fig. 8. Relationship between temperature and viscosity.

較材としてNaを物性調整剤として使用したパウダー（以下Na系パウダーと略す）をそれぞれ2~5種類選びF系パウダーの特徴を調査した。選択したパウダー(F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, Na-1, Na-2)の化学成分，融点および粘度をTable 5に示す。

3.3.2 Al₂O₃添加時の粘度変化

鑄造中の溶融パウダーの特性はAl₂O₃のピックアップにより初期値より変化する。そのため，パウダーにAl₂O₃を添加した時の粘度変化についてF系とNa系パウダーとを比較し，その結果をFig. 7に示す。図から明らかなように，F系パウダーは粘度変化が少ない。粘度変化が少ないという特徴によって，鑄造中に鑄型と鑄片間の潤滑性が変化しないので鑄造が安定し，さらに初期値の粘度を高く設定することができるので，パウダーの巻き込み量が減少すると考えられる。

3.3.3 凝固温度

Na系およびF系パウダーの凝固温度を測定した結果を

Fig. 8に示す。Na系パウダーは温度を下げると急激に粘度が上昇する点があり，その温度で結晶が析出し凝固しているのが観察されるが，F系パウダーは，温度を下げて結晶が析出せずに急激な粘度の上昇がなくガラス状態で凝固することが観察された。これは，凝固温度測定後の凝固した試料をX線回折に掛けた結果，Na系パウダーはCuspidine(Ca₄Si₂O₇F₂)のピークが認められ，F系パウダーはいかなるピークも現れなかったことから確認された。この特徴から，モールドと鑄片の間ではNa系に比べF系パウダーは液体潤滑の範囲が大きいと考えられ，高速鑄造時の潤滑および抜熱に対して有利である。また，AlF₃の添加量を変化させることにより，凝固温度を自由に設定することができる。

3.3.4 表面張力

表面張力についてF系とNa系パウダーとを比較した結果をFig. 9に示す。Na系パウダーは粘度が低下すると表面張力も低下するのに対して，F系パウダーはNa系パウダーよりも表面張力が高く，かつ粘度に関係なくほぼ一定の値である。これはNa系パウダーが粘度，融点の調整を表面張力が低下するナトリウム化合物で行っているのに対して，F系パウダーはCaF₂と表面張力を上昇させる成分であるMgOで行っているためである。また，F系パウダーにおいて，AlF₃を添加したパウダー(F-3, F-5)は，添加しないパウダー(F-1, F-2, F-4)に比べ，表面張力が少し小さい。従って，溶鉄の被覆性改善の見地から，表面張力を下げるため，AlF₃を添加したのであるが，その目的は十分に達成されたと考えられる。

3.3.5 溶融速度

F系(F-2)とNa系パウダー(Na-2)の溶融速度を比較した結

Table 6. Casting conditions.

CCM		1CCM	2CCM
Steel grade		L[C]-Al-K	
Casting size		250×960~1060 mm	250×960 mm
Casting speed		1.2~1.6 m/min	1.0~1.2 m/min
Oscillation condition	Stroke	9.5 mm	8.5mm
	Cycle	120~130 cpm	110~120 cpm

果は、F-2が1.9分であったのに対し、Na-2は1.1分であった。この結果からF系パウダーはNa系パウダーよりも溶融速度が遅い。これは、Na系パウダーはNa₂CO₃（融点849°C）、NaF（融点992°C）のような低融点のナトリウム化合物を含有しているため、低温で優先溶融を引き起こし、溶融速度が速くなっているのに対し、F系パウダーはCaF₂（融点1330°C）、AlF₃（融点1040°C）のような比較的高融点のフッ化物を含有しているため、優先溶融が起こらず、溶融速度が遅くなっているものと考えられる。

4. 実機鑄造試験

4.1 使用パウダーの種類

F系パウダーとして低速鑄造用パウダー2種類(F-3, F-4)と高速鑄造用パウダー1種類(F-5)の合計3種類のパウダーを選択し実機鑄造試験を実施した。そのパウダーの成分および物性をTable 5に示す。また比較材として使用したNa系パウダー(Na-1, Na-2)の成分および物性値も合わせてTable 5に示した。F系パウダーについては塩基度はほぼ0.9とし、溶融温度は1120~1150°CとNa系パウダーとほぼ同等の値としたが粘度についてはF系パウダーの特徴を生かし、Na系パウダーより大きい0.30~0.40 Pa·sとした。また、Na⁺の成分値はNa化合物を無添加にする予定であったが、他物質からの混入があり、バラツキを少なくするため物性調整上最低必要量である0.5~1.0 mass%とした。またAlF₃を添加することによる表面張力の鑄片表面疵に及ぼす影響も鑄造試験にて確認することにした。

4.2 鑄造試験方法

実機鑄造試験は、八幡製鐵所第三製鋼工場のNo. 1およびNo. 2連続鑄造機（以下CCMと略す）で低炭素鋼アルミキルドブリキ材を対象として行った。鑄造条件をTable 6に示す。No. 1 CCMは高速鑄造用連鑄機であり、1.2~1.6 m/minの鑄造速度で鑄造した。これに対しNo. 2 CCMは低速鑄造を主体とした連鑄機であり、1.0~1.2 m/minの鑄造速度で実施した。

4.3 試験結果

4.3.1 鑄造特性

安定した鑄造を行うための指標として、鑄造時におけるパウダーの消費原単位ならびに溶融層厚みを調査した。消費原単位は、F系およびNa系パウダー共に約3.5~4.3 kg/m², minとほぼ同等であった。また溶融層厚みはF系

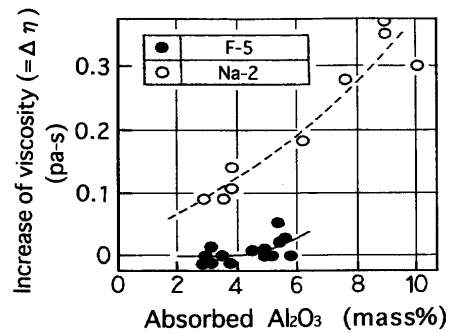


Fig. 10. Viscosity change of molten flux.

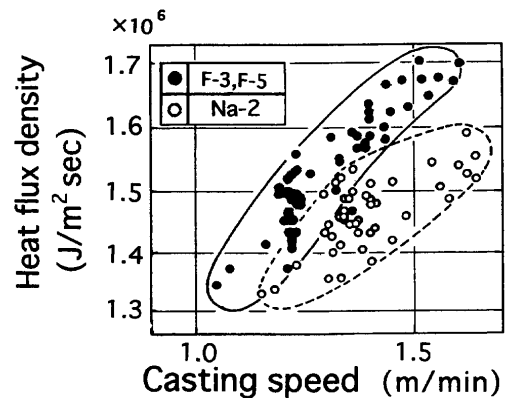


Fig. 11. Relation between heat flux density and casting speed.

パウダーは20~25 mmであり、Na系パウダーの15~20 mmに比べて若干厚目に推移していた。また、鑄造時の鑄型内湯面の被覆性についても全く差異がなかった。このようにF系パウダーの鑄造状況は、Na系パウダーに比べて同等もしくはそれ以上であることが確認できた。

次に、鑄造時における溶融パウダーの粘度変化について調査した。鑄造中の鑄型内より溶融パウダーを採取し、1300°Cにおける粘度とAl₂O₃ピックアップ量の関係を求めた。その結果をFig.10に示す。F系パウダーはAl₂O₃が増加しても粘度の変化が小さい。従って鑄造中の潤滑状況変化が少なく、より安定した鑄造が確保できることが確認された。この結果より、F系パウダーは初期の粘度を上げることが可能となり、パウダーの巻き込み量が減少すると推定される。

次に、鑄造時の鑄型冷却状況の変化について調査した。結晶晶出温度が低下したことによる効果を調査するため、次式で定義する鑄型抜熱量の測定を行った。

$$\begin{aligned} \text{鑄型抜熱量} &= \text{比熱} \times (\text{鑄型冷却水出側温度} \\ &\quad - \text{鑄型冷却水入側温度}) \\ &\quad \times \text{鑄型冷却水量} \div (\text{鑄型内鑄片表面積}) \end{aligned}$$

測定結果をFig.11に示す。F系パウダーはNa系パウダーに比べて鑄型抜熱量が大幅に増加している。これはF系パウダーは結晶晶出温度が低く、鑄型と鑄片の間の液相の

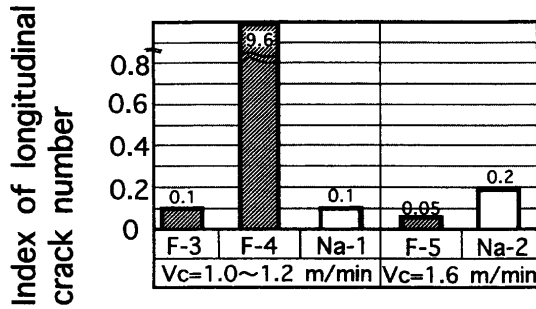


Fig. 12. Comparison of longitudinal crack number of slab.

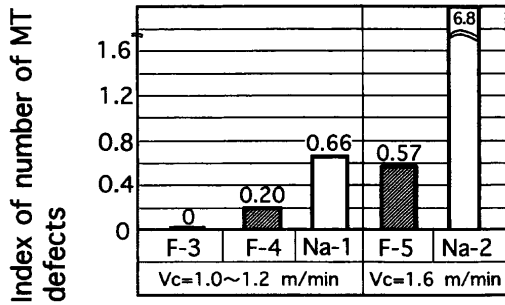


Fig. 13. Comparison of number of MT defects.

ウダーの範囲が、Na系パウダーに比べ鋳型下部まで及んでいるためと推定される。

4.3.2 鋳片の品質

鋳片の表面疵として縦割れに注目し調査した。縦割れ発生数は、

$$\text{縦割れ発生指数} = \text{平均縦割れ発生数 (個/m}^2\text{)} \times 10$$

と定義し、1m幅の10m長さの鋳片の縦割れ発生個数に換算した値を使用した。また、F-4を除いて各パウダーともに、900 Ton (150 Ton/Heat×2Heat×3)の試験鋳造を実施した。その結果をFig.12に示す。F-3, F-5はNa系パウダーと比べるとほぼ同等であったが、F-4のみが約90倍の縦ワレが発生した。ほぼ同一の鋳造速度1.0~1.2 m/minで鋳造したにもかかわらず縦割れに差が出た。そのため、F-4は、300 Tonの鋳造量で試験を中止した。

これらのパウダーの物性値を比較すると、F-4は表面張力が大きいパウダーであり、表面張力がこの原因と推定される。表面張力が大きいパウダーは、溶鋼面の被覆性が悪く、モールド内での外乱因子によりパウダーの被覆に乱れが生じると、復元出来ず、鋳型と鋳片の間への均一流入がさまたげられ、縦割れが多発しているものと考えられる。従って、本研究のようにパウダーの原料を変更する場合には、表面張力が大幅に変化する可能性が大きいので、その値を適正な値に管理することが必要である。

4.3.3 製品の成績

製品における介在物欠陥の指標として、磁粉探傷欠陥(MT欠陥)と白しみ疵の発生率をFig.13, 14に示す。欠陥の調査方法は既報¹⁾と同じである。F系パウダーで鋳造し

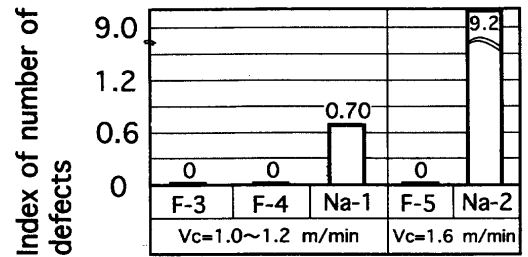


Fig. 14. Comparison of number of white spot defects.

たブリキ板の方が、Na系パウダーに比べMT欠陥値が低い。また鋳造速度1.6 m/minの高速で鋳造しても、従来の低速鋳造レベルより低く、介在物欠陥が著しく減少していることがわかる。これはパウダーの粘性の初期値アップおよび鋳造中の粘性の変化が小さいというF系パウダーの特性が、よく生かされた結果である。また、Naを低くしたF系パウダーは、いずれも白しみ疵は発生していない。高速鋳造材は、MT値よりブリキ板の内部に少量の介在物欠陥が存在していることが推定されるにもかかわらず白しみ疵が発生していない。それ故、既報の白しみ疵の発生機構の正当性が証明された。これらの結果から、F系パウダーを使用することにより、ブリキ材の高速鋳造が可能となった。このようにF系パウダーは、パウダーの巻き込み量も少なく、しかも巻き込まれても白しみ疵にならない極めて優れたパウダーである。

5. 結言

ブリキ材の白しみ疵の発生を防止するために、低Na系の新しいパウダーを開発した。開発パウダーはCaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-CaF₂-AlF₃で構成されている。実験室の研究と実機鋳造試験の結果をまとめると次の通りである。

- (1) 現在物性調整材として主に使用しているナトリウム系化合物を、アルカリ土類金属フッ化物に代替することにより、Na⁺成分1 mass%以下の低Na系パウダーの製造が可能である。
- (2) Na⁺成分を1 mass%以下にすれば、高速鋳造材でも白しみ疵の発生をきわめて少なくすることが出来る。
- (3) F系パウダーの特徴は次の通りである。
 - ① 高粘度、高表面張力の設計が可能である。
 - ② 凝固温度が低く、鋳型内での抜熱が高い。
 - ③ Al₂O₃ピックアップによる粘度変化が少ない。

文 献

- 1) A.Kusano, N.Sato and M.Okimori: *Tetsu-to-Hagané*, **86** (2000), 315.
- 2) T.Nakano, T.Kishi, K.Komai and S.Naitoh: *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*, **24** (1984), 954.
- 3) 第3版理化学辞典, 岩波書店, 東京, (1971), 1149.
- 4) F.C Champion and N.Davy: *Properties of Matter*, Blackie & Son Ltd., London, (1952), 126.
- 5) R.Sato: *Bull. Jpn. Inst. Met.*, **12** (1973), 391.