

熱間繰り返し使用タンディッシュ耐火物の開発

Development of Refractories for Continuous Recycle
Tundish in Hot Condition(株)神戸製鋼所 加古川製鉄所 江波戸紘一・松尾 勝良
大手 彰・大熊 賢一*

1. 緒言

平成元年6月より稼働した加古川製鉄所4号連铸機1ストランド設備(以下、4-1CCと略す)は、1ストランドの垂直曲げ型スラブ連铸機であり、小ロット材を高歩留り、低コスト、少数要員でしかも高生産性での製造を目的とした新しいタイプの連铸機である。

4-1CCでは、タンディッシュ(以下、TDと略す)の熱間繰り返し使用技術、交流プラズマによる溶鋼加熱技術など、既存の連铸機概念を越えた革新技术を導入し、現在順調に操業を続けている。

本報告では、この熱間繰り返し使用TD耐火物の開発について述べる。

2. TD熱間繰り返し使用

Fig. 1にTD熱間繰り返し使用のフローを示す。TDは铸造終了後、排滓位置まで走行し、傾転し残鋼滓を排出する。その後、スライドバルブ等のノズル整備を行い、次の铸造に備える。ここで、次の铸造開始までに待ち時間がある場合にはバーナー加熱を行う。

次の铸造では、TD内に溶鋼を一定時間保持した後に铸造を開始する。TDは、このサイクルをオンラインで多数回繰り返し使用される。

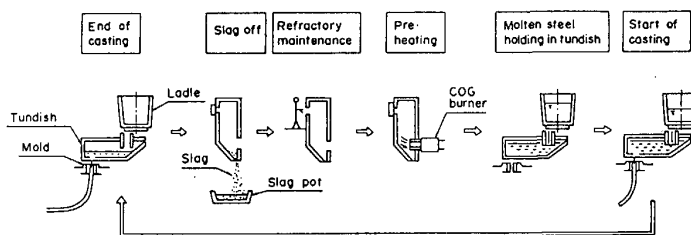


Fig. 1 Operation cycle of TD in hot condition

3. TD熱間繰り返し使用の要素技術¹⁾

TDを熱間で繰り返し使用する場合、堰を設置しなくても介在物が浮上しやすいTD形状であること、長期間の連続使用に対する内張りれんがのゆるみや脱落がないこと、そして内張りれんがの高耐食性が必要となる。同時にTD内残鋼滓による溶鋼の汚染を防止する必要がある。これに対して、以下の技術を確立することによりTDの長期間使用およびボトム部铸片の高品質化を図ることができた。

- 1) TDの形状とライニング技術
- 2) 残鋼滓排出技術
- 3) 铸造初期溶鋼保持技術

3-1. TDの形状と耐火物ライニング

Fig. 2にTDおよび周辺設備との取り合いを示す。TD形状は介在物浮上促進のため容量80Ton、注入ノズル部の溶鋼深さ2000mm、湯当たり部~注入ノズル部間距離を5500mmの大型形状とした。また、铸造末期の铸型内へのスラグ巻き込み防止のため、残鋼高さ400mm以上を確保し、残鋼量は3Ton以下に抑える形状とした。また、従来のTDとは異なり内面コーティングはなく、堰も設置していない。

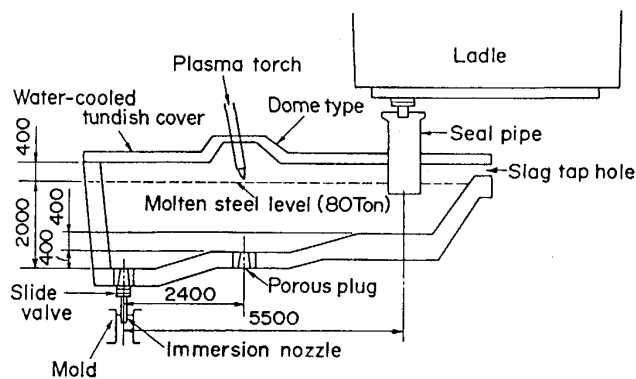


Fig. 2 Schematic view of TD

TDの形状は、当社独自の数値解析プログラムを用いたTD内溶鋼流動と介在物挙動の解析結果から設計し、決定された。Fig. 3に堰設置の有無の4モデルにおける直径20ミクロンの介在物軌跡を、Fig. 4にイマ

ージョンノズルから鑄型へ流出する各種直径の介在物の比率を示す。介在物の浮上は、堰を設置しないモデル①が最も良くなり、各種タイプの堰を設置したモデル②、③、④が逆に介在物の浮上が悪くなる結果となった。これは、湯当たり部～注入ノズル部間の高低差を大きくし、その距離を長くすることにより、溶鋼滞留時間が長く、かつ大きい底流を防止できたため、介在物が浮上しやすいと考えられる。これに対し、堰を設置すると堰の出側で下向きの大きい流れができ、逆に介在物の浮上が抑制される結果となった。

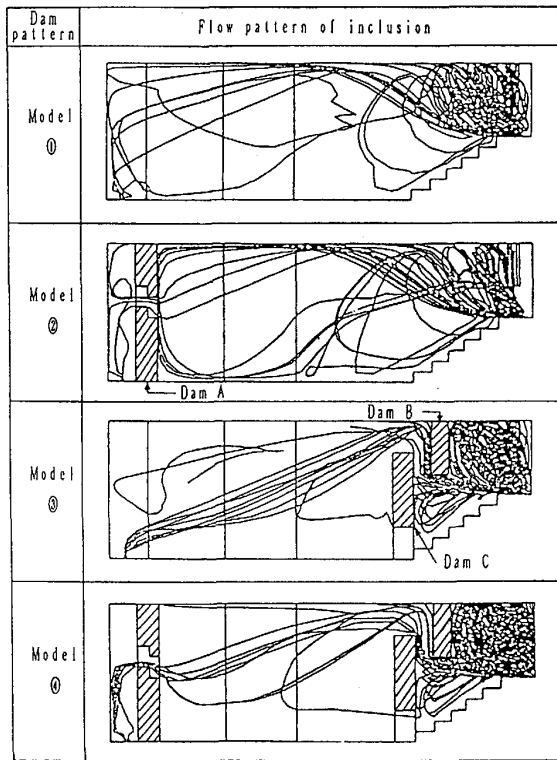


Fig. 3 Effect of dam on floatation of inclusions by simulation model

耐火物ライニングはFig. 5に示すように、内張りれんがと2層の永久張りれんがの3層構造とし、材質は耐食性を重視して Al_2O_3 質れんがを基本とした。特にプラズマ加熱領域およびスラグラインには高温に耐えうるよう高 Al_2O_3 質れんがを採用した。また、湯当たり部は高 Al_2O_3 質の大型プレキャストブロックとし、羽口れんがには高 Al_2O_3 質れんがを採用した。

れんが形状面においては使用中のれんがのせりだし、脱落を防止するため以下の工夫を行った。

- 1) 鉄皮およびれんがのアーチ型構造 (Fig. 6)
- 2) れんがのダボ形状およびアンカー構造 (Fig. 7)

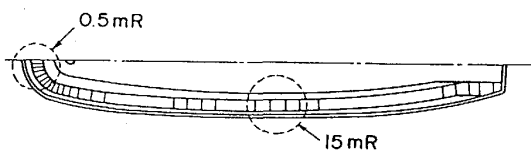


Fig. 6 Arch shape of side wall

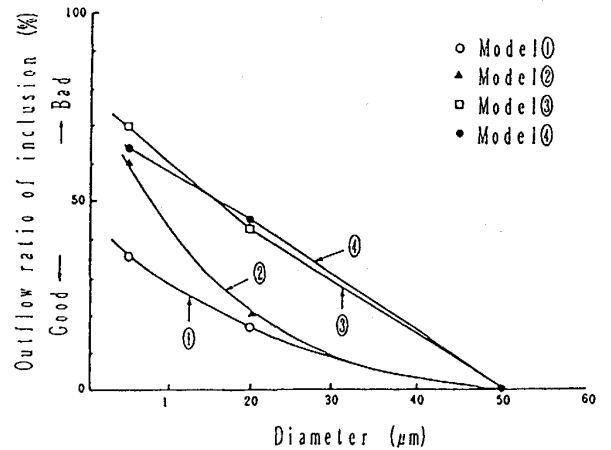
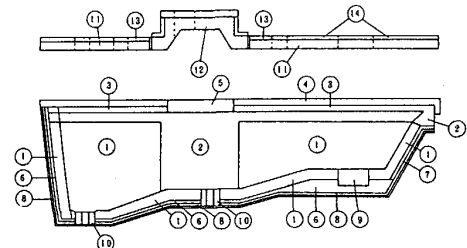


Fig. 4 Outflow ratio of inclusions in each model



Classification	No.	Material
Tundish	①	High alumina brick
	②	High alumina brick
	③	Middle alumina brick
	④	Middle alumina castable
	⑤	High alumina castable
	⑥	Roseki brick
	⑦	Spinel brick
	⑧	Insulating brick
	⑨	High alumina precast block
	⑩	High alumina precast block
Tundish cover	⑪	Middle alumina castable
	⑫	High alumina castable
	⑬	Insulating castable
	⑭	Fireclay brick

Fig. 5 Lining profile of TD

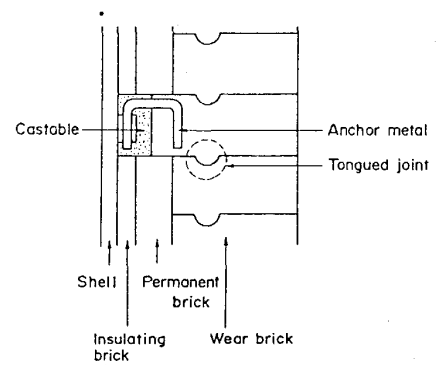


Fig. 7 Lining profile of side wall

T Dカバーのプラズマトーチ挿入部はプラズマ加熱効率向上のためにドーム型形状とし、長期間の連続使用による熱変形を防止するため水冷構造とした。また、内面は全範囲に Al₂O₃質キャストブルを施工しているが、特にドーム部はプラズマ加熱時の高温に耐えるよう高 Al₂O₃質キャストブルを使用している。

3-2. 残鋼滓排出技術

T D内残鋼滓による溶鋼汚染を防止するために、T D内スラグを低融点かつ低粘性にし、排出性を向上させる必要がある。

T D内スラグの主成分は Al₂O₃とSiO₂であり、Fig. 8に示すように1600℃以上の高融点である。このためT D内に高塩基度のフラックスを添加し、排出性を向上させている。

3-3. 鑄造初期溶鋼保持技術

鑄込み初期において溶鋼は、Fig. 9に示すように3層式スライドバルブのスライドプレートれんがの貫通孔から吹き込まれるArガスによる攪拌で凝固が防止され、一定量の溶鋼を一定時間保持した後に自然開孔し、鑄型内に注入される。この溶鋼保持により介在物を浮上させることができ、溶鋼の清浄化が図れた。

4. T D耐火物の改善²⁾

T D熱間繰り返し使用回数は稼働当初の約60Heatsから徐々に向上できたが、T D内フラックスの添加によるスラグラインれんがの損傷およびノズル整備時の酸素洗浄による羽口れんがの損傷が寿命律速となり、150Heatsが限界となった。このためスラグラインれんがおよび羽口れんがの改善を実施した。

4-1. スラグラインれんがの改善

れんがが材質としてTable 1に示す中性から塩基性の5種類の材質を選定し、フラックス組成を変化させた浸食試験を行った。Fig. 10に示すように耐食性は当初用いていた高 Al₂O₃質れんがAに比べいずれのれんがも大幅に良好であり塩基性となるほど高耐食性を示した。この浸食試験結果とスラグ浸潤量および熱膨張率を考慮し、高 Al₂O₃質れんがAと同等の熱膨張率を持ち、耐食性も良好な Al₂O₃-SiC-C質れんがBを実機に適用することとした。実機適用結果は、Fig. 11に示すように当初用いた高 Al₂O₃質れんがAに比べ損傷量を約60%低減することができた。

4-2. 羽口れんがの改善

羽口れんがの損傷はノズル整備時の酸素洗浄で生成される FeOスラグによるものが主体である。この対策

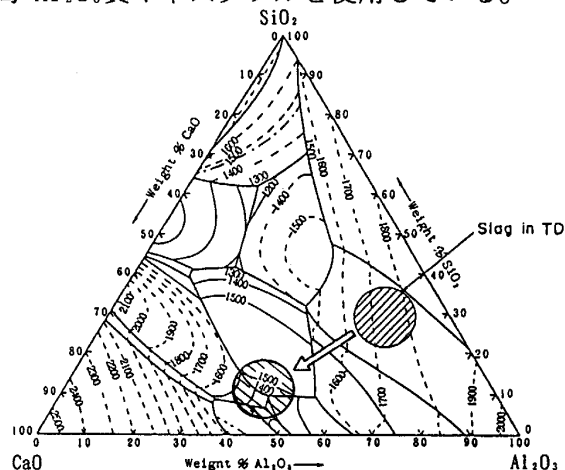


Fig. 8 Composition of slag in TD in system CaO-Al₂O₃-SiO₂

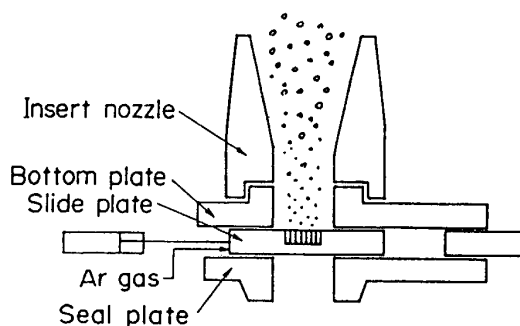


Fig. 9 Schematic view of SV

Table 1 Properties of test brick for slag-line

		A	B	C	D	E
		High Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ -SiC-C	Al ₂ O ₃ -Spinel	MgO-Cr ₂ O ₃	MgO-C
Chemical composition (%)	Al ₂ O ₃	83	77	58	9	
	SiO ₂	13	4	11	2	
	MgO			24	63	78
	C		11		(Cr ₂ O ₃)19	15
	SiC		5			
Apparent porosity (%)		19.7	6.5	16.0	14.5	4.5
Bulk density		2.80	3.10	2.90	3.20	3.08
Crushing strength(kg/cm ²)		880	450	700	750	450
Thermal expansion(%) at 1000°C		0.59	0.62	0.90	0.98	1.10

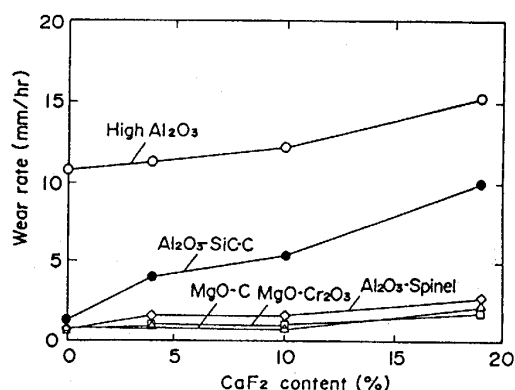


Fig. 10 Erosion test results with various tundish slag for slag-line bricks

として、熱間吹付け補修を実施するとともに、耐火物としてTable 2に示す高 Al₂O₃質およびAl₂O₃-Spinel質プレキャストブロックを実機に適用した。実機適用結果は、Fig. 12に示すように当初用いていた高 Al₂O₃質れんがと比べて両材質とも高耐食性を示した。特にAl₂O₃-Spinel質プレキャストブロックBは損傷量を約70%低減することができた。

Table 2 Properties of test well block

		Conventional	Improved A	Improved B
		High-Al ₂ O ₃ brick	High-Al ₂ O ₃ precast block	Al ₂ O ₃ -spinel precast block
Chemical composition (wt%)	Al ₂ O ₃	91	94	87
	SiO ₂	5	1	1
	Cr ₂ O ₃	3	3	—
	MgO	—	—	10
Linear change (%)	1000°C-3h	—	-0.03	-0.03
	1500°C-3h	—	-0.40	+0.50
Modulus of rupture (Crushing strength) (MPa) (kgf/cm ²)	1000°C-3h	20.6(108) (210(1100))	29.4(118) (300(1200))	5.88(44.1) (60(450))
	1500°C-3h	—	49.0(157) (500(1600))	10.3(45.1) (105(460))
	1000°C-3h	14.3(3.20)	13.7(3.32)	15.3(3.00)
	1500°C-3h	—	14.2(3.32)	19.0(2.94)
Erosion test results (1650°C-4h)		100	49	27

5. TD熱間連続繰り返し使用回数の向上

スラグラインれんがおよび羽口れんがの改善によって熱間繰り返し使用回数は、Fig. 13に示すように450 Heats 以上へ向上させることができた。現在TDは、400 ~ 450 Heats熱間繰り返し使用した後、敷、排滓口、スラグライン等の中間修理を行い、800 ~ 900 Heats まで使用している。

TD耐火物原単位は、Fig. 14に示すように従来タイプの当所3号連铸機と比べ1/3以下へ減少させることができた。

6. 結言

当所4-1CCではTD耐火物のライニング技術、残鋼滓排出技術、铸造初期溶鋼保持技術の開発によりTD熱間繰り返し使用技術を確立することができた。これにより、当初の目的である小ロット材の高歩留り、低コスト、少数要員、高生産性の製造を可能とした。

また、これらの革新的技術を改良、発展させるとともに、さらに各種の先進的技術を織り込んだスラブ用4号連铸機の2ストランド目を今年1月より稼働させ、現在順調に立ち上げ中である。

(参考文献)

- 1) 大熊ら：材料とプロセスVol. 3(1990)-199
- 2) 大熊ら：材料とプロセスVol. 4(1991)-214

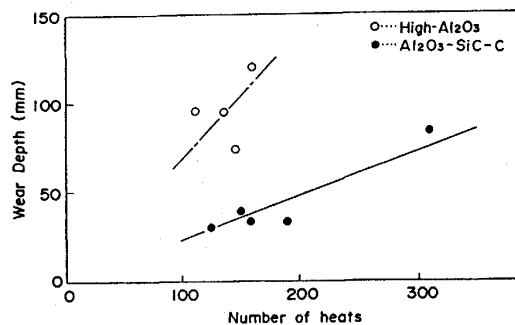


Fig. 11 Relationship between number of heats and wear depth of slag-line brick

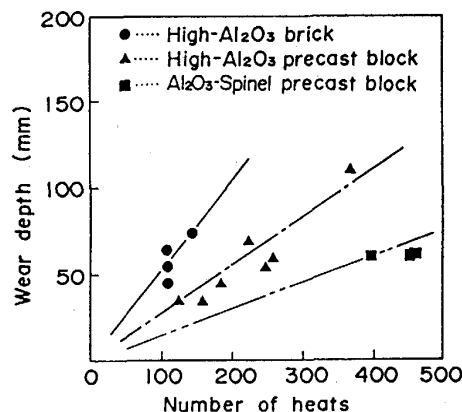


Fig. 12 Relationship between number of heats and wear depth of well block

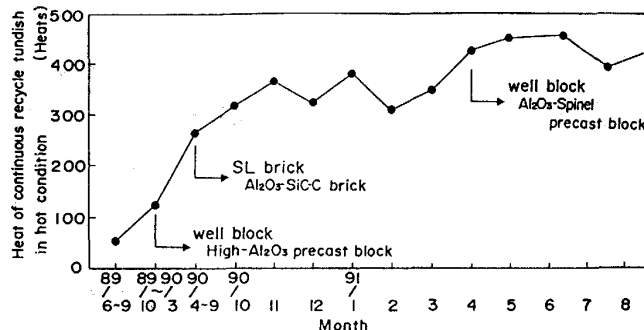


Fig. 13 Change of heats of continuous recycle tundish in hot condition

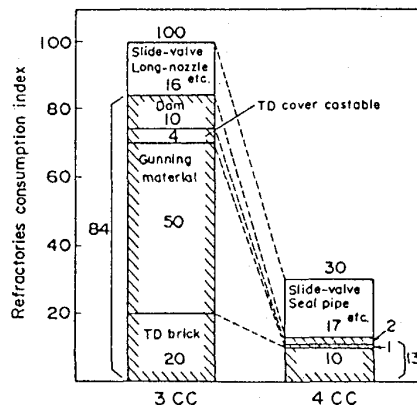


Fig. 14 Comparison of refractories consumption between 3CC and 4-1CC