



溶 銑 用 耐 火 物 の 進 歩

杉 田 清*

Recent Progress in Refractories for Hot Metal Handling

Kiyoshi SUGITA

1. 結 言

鉄鋼業にとって耐火物は必要不可欠なものであり、鉄鋼業の進歩とともに鉄鋼用耐火物も発展してきた。このことは溶銑用耐火物にとつても例外ではなく設備の大型化、高生産性を支える大きな力となつてきた。

溶銑用耐火物の役割は、従来単なる溶銑搬送設備用耐火物のイメージが大きかつたが、昨今の製鉄プロセス革新の一翼をになう溶銑予備処理の増大と多様化により大きな変貌をとげつつある。

以下は、溶銑予備処理の問題に触れながら溶銑用耐火物の変遷、溶銑・溶滓との反応、現状の各設備の耐火物の状況等について集約し、あわせて今後の展望について考察したものである。

なお高炉本体、出銑ロマッドなども重要な問題であるが、溶銑予備処理問題とは直接関係が少ないこともあり割愛した。

2. 歴 史 的 経 緯

溶銑用耐火物は、鉄鋼業における技術革新と高度成長により大きな進歩を遂げてきたがその背景となつたものには、

- (A) 設備の大型化と長寿命要請
- (B) 新規設備の導入 (たとえば混銑車)
- (C) 新プロセスの開発 (たとえば溶銑予備処理)
- (D) 施工の省力化、高能率化要請
- (E) 環境問題

などがあげられる。

これらを受け、出銑樋においては昭和 30 年代前半にはコークス、シャモット、耐火粘土を主体としたタール練り材料の手動スタンプであつたものが、原料面においては体積安定性、耐食性に主眼をおいた SiC、Al₂O₃ 原料の採用、工法的には振動成形、流し込み工法などの出現により画期的な進歩を遂げた。

溶銑搬送用設備としては昭和 30 年代までは溶銑鍋が主体であつたが、その後しだいにその地位を混銑車にとつて替わられつつあり現在では大型一貫製鉄所の多くが

混銑車を採用している。

溶銑搬送用耐火物は、溶銑鍋では粘土質、ろう石質、混銑車では粘土質が主体であつたが、溶銑予備処理の出現により高アルミナ質やジルコン質、さらには SiC、C 含有耐火物も採用されるようになってきている。

施工面では溶銑鍋、混銑車ともれんが積みが主体であるが、一部溶銑鍋において不定形施工法の採用も報告されている¹⁾。

溶銑貯蔵設備としては混銑炉が主力であつたが、前述の混銑車に取つて替わられつつある。

混銑炉内張りは、昭和 40 年代前半までは焼成マグネシアれんがが主流であり一炉代の通銑 t 数も数 10 万 t であつたが、タール含浸焼成マグネシアれんが²⁾、ダイレクトボンドれんがの採用^{3)~5)}、軽焼ドロマイト、石灰によるスラグ塩基度調整⁶⁾⁷⁾ さらには吹き付け補修技術の適用⁸⁾⁹⁾ などにより、昭和 40 年代末には 300 万 t の通銑記録も達成されている¹⁰⁾。

一方溶銑用耐火物に非常に大きな影響をもたらす溶銑予備処理として一般的に行われているのは脱硫である。

脱硫は古くは混銑炉、鍋内への炭酸ソーダの投入などの方法で行われていたが、昭和 30 年代後半から 40 年代にかけ揺動取鍋法、スターラー法、インジェクション法などの開発実機化が行われ¹¹⁾ 高炉への重油吹き込み、低硫鋼需要ともあいまって急速な普及を遂げた。またここ数年脱硫以外の脱珪、脱りんのような予備処理も急激に広まりつつある。

これら予備処理は耐火物に対し、

- (A) 容器耐火物の処理材との反応および溶銑流による摩耗
- (B) 溶銑攪拌および処理材吹き込み用炉材の損傷などの問題を提起しており今後の大きな課題となつている。

3. 溶 銑 用 耐 火 物 の 基 礎

3.1 溶 銑 と 耐 火 物

通常の使用条件において、耐火物と溶銑との化学的な反応はほとんど問題にならず、物理的現象が耐火物損傷

昭和 58 年 3 月 16 日受付 (Received Mar. 16, 1983) (依頼解説)

* 新日本製鉄(株)設備技術本部 工博 (Plant Engineering & Technology Bureau, Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku 100)

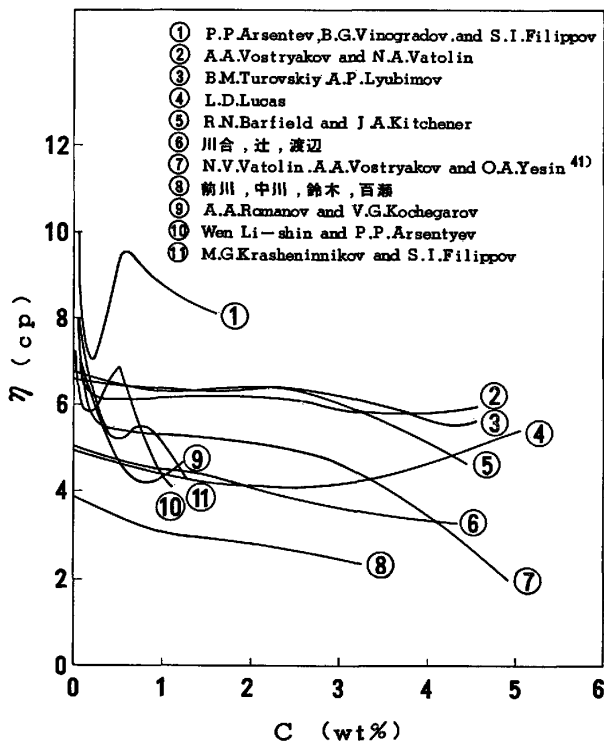


図1 Fe-C合金の粘度¹²⁾

に結びついている例が多い。

第一に挙げられるのは溶銑の粘性と凝固温度である。溶銑は溶鋼に較べ粘性が低いことと、凝固温度が低いため、耐火物の種類により溶銑との濡れ性は異なるが、溶銑は耐火物の気孔、き裂中に容易に浸入することが多い。

このような状態で温度変化を受けると、溶銑と耐火物の膨張差により組織の脆化が起こる¹³⁾。

次には、溶銑中に溶解している炭素である。高炉から出銑された溶銑は炭素を飽和状態まで溶解しているが、溶銑温度の低下に伴い炭素の溶解度は小さくなり¹⁴⁾、過剰の炭素をキッシュグラファイトとして析出するが、この一部は耐火物のき裂中に析出し組織の脆化を助長する。ただし状況によつてはこのキッシュグラファイトが、耐火物侵食に対する保護効果を示すこともある。

また、対象が溶銑とは限らないが、耐火物の体積安定性も重要な項目である。溶銑用耐火物は長時間溶銑と接していることが多いため、この点での配慮が必要である。溶銑用耐火物にかなり一般的に見られるペンシリング型損耗を防止するうえでは耐火物の繰り返し加熱時の体積安定性が重要である。

最後に問題となるのは溶銑の比重である。溶銑の比重が大きいと溶銑流による耐火物の摩耗損傷も無視することはできない。

3.2 スラグと耐火物

耐火物は、スラグによつて損耗をうけるが、問題はその機構と速度であり、その状況によつて対策も異なる。

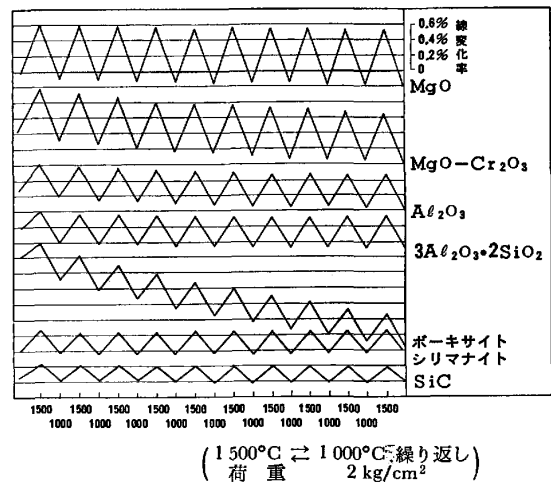


図2 各種耐火物のクリープ特性¹⁵⁾

スラグによる損耗の形態を、一般的に分類すれば、

- (A) 単純溶解
- (B) 反応溶解
- (C) 浸入変質損耗

A型の損耗はこの場合、きわめて稀であるが、前述の溶銑による侵食では起こる可能性がある。すなわち、炭素系、炭化珪素系では、条件によつては溶銑中への単純溶解が起こりうる。

スラグの場合、大部分はB型であるといえる。まず耐火物の稼動面に、スラグとの反応層が形成され、この反応層がスラグに溶解していく。この機構は、後述する溶銑処理材の場合にも原則的にあてはまる。

スラグによる溶損速度は、上記の反応層形成と反応層のスラグへの溶解の両過程のうち、速度の小さい過程で律速されるが、これは耐火物の種類、スラグ組成などにより異なる。特に後者の過程が律速段階であるときには、スラグの流速は大きく影響し、これは攪拌作用の激しい溶銑処理の場合、特に考慮すべきことである。

耐火物表面反応層のスラグへの溶解速度と、スラグの流速との定量的関係は、大略下記の式で表示できる¹⁶⁾。

$$dn/dt = K = \sqrt{U}$$

dn/dt : 溶解速度 K : 常数
 U : スラグの流速

図3¹⁷⁾は高炉スラグが流動しない状態で、各種耐火物の侵食率を、温度との関係で示したものである。

C型の損耗形態は、スラグ浸透性の高い耐火物、たとえばマグクロレンがの場合に顕著であり、稼動面から10~50mmにわたるレンがの変質による構造的スポーリングとして、剝離脱落につながりやすい。この場合には、スラグの浸透を防止するための対策が一般に採用される。

3.3 処理材と耐火物

溶銑予備処理材の主なものは次のようなものである¹⁸⁾~25)。

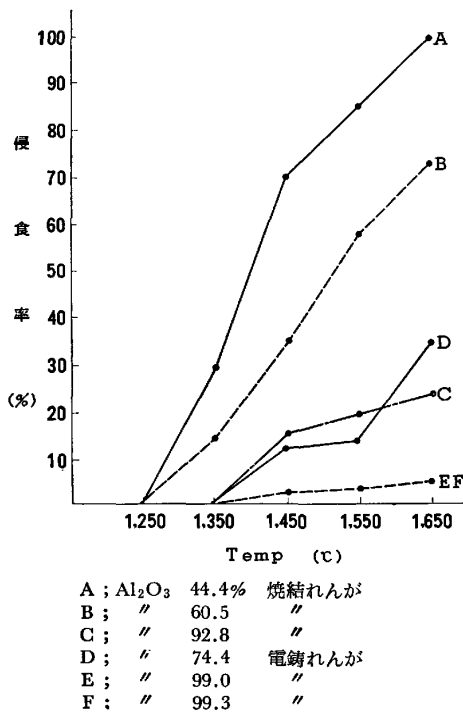
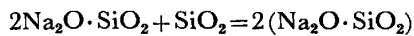
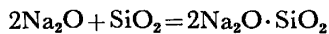


図 3 各種耐火物のスラグ侵食率¹⁷⁾

(A) 脱硫用 Na₂CO₃, CaC₂, CaO, Mg
 (B) 脱珪用 Fe₂O₃
 (C) 脱りん用 CaO, CaCl₂, CaF₂, Na₂CO₃
 これら処理材と耐火物の反応はそれぞれ異なるが、ここではいくつかの代表例について述べてみたい。

3.3.1 ソーダ灰 (Na₂CO₃)

Na₂CO₃ の問題は、Na₂O のフラックス作用である。すなわち耐火物中の SiO₂ と



のごとく反応するほかネフェリン (Na₂O · Al₂O₃ · 2SiO₂), βAl₂O₃などを生成し、耐火物の損耗を助長する^{26) - 30)}。

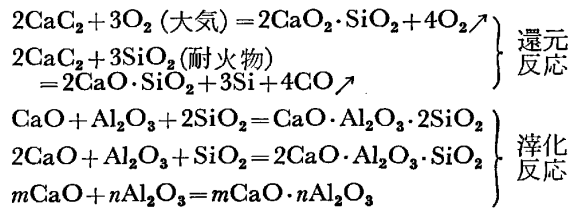
3.3.2 カルシウムカーバイド (CaC₂)

CaC₂ の作用は還元反応と生成する CaO のフラックス作用が耐火物損耗の主因となる。

CaC₂ が酸化燃焼する際、大気からのほか耐火物からも酸素を奪って耐火物を還元する。これには酸素親和力の弱い SiO₂ が著しい影響を受ける³¹⁾。

CaC₂ の滓化反応は酸化生成物である CaO と耐火物の反応で、CaO · Al₂O₃ · 2SiO₂, 2CaO · Al₂O₃ · SiO₂, Ca-Aluminate, ガラス相などの低融点物質を生成し耐火物の損耗につながる³²⁾。

この滓化反応は当然のことながら CaO 処理材においても同じ現象と考えられる。以上の変質過程は化学反応式で示せば次のようになる²⁷⁾。



3.3.3 酸化鉄

Fe₂O₃ は両性酸化物であるが、酸性耐火物に対しては塩基性の性質が強い FeO として作用し、FeO-Al₂O₃-SiO₂ 系の液相あるいは化合物 (2FeO · SiO₂, FeO · Al₂O₃ etc.) を生成しつつ溶損する。高濃度の FeO を含み、低粘性の FeO-SiO₂ 系のスラグは Al₂O₃-NiO₂ 系耐火物のみならず塩基性耐火物などについても侵食性は高い。

4. 溶銑用耐火物使用状況

4.1 樋材

樋材の具備すべき特性としては³³⁾,

- (A) 作業性
- (B) 均一高密度組織
- (C) 強度
- (D) 耐摩耗性
- (E) 耐溶銑・溶滓性
- (F) 熱間容積安定性
- (G) 耐酸化性
- (H) 耐スポール性

などが挙げられる。これらの条件を考慮し、現状大樋に使用されている材料は工法を問わず、C-Al₂O₃-SiC (-S₃N₄) 系が主体である。この成分系が選択された背景は理論的根拠によるというよりも永年の試行錯誤の結果である。

樋材にとって材料以外に重要なものはその施工法である。樋の施工は従来、手動または自動ランマー施工が主体であったが、昭和 40 年代末よりそれらにかわる振動成形 (たとえば VF), 流し込み工法 (たとえば N-CAST) などが開発され、施工能率の向上、成形体の均

表 1 各種樋材の品質例³⁴⁾

施工方式		スタンプ	V F	N-CAST
化学組成割合	SiO ₂	2~4	3.1	3~4
	Al ₂ O ₃	73~75	76.7	67~68
	SiC	11~13	13.0	17~18
	C	3~5	4.2	5~6
添加水分 (%)		3~4	5.0	9.0
一般物性	見掛気孔率 (%)	17.6	17.2	21.8
	嵩比	2.74	2.92	2.63
	圧縮強度 (Kg/cm ²)	165	183	150
	曲げ強さ (Kg/cm ²)	-	51.3	12.7

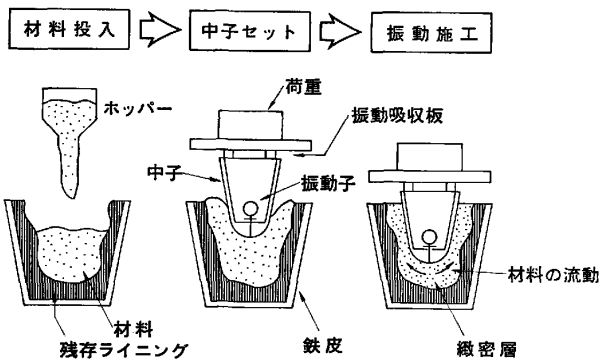


図 4 VF 工法の概要

表 2 高炉樋内張りの変遷³³⁾

年	材 料	施 工 法	寿 命 (t-pig)
I 1959年 以前	コークス 粘 土 シャモット	ラミシング	<10.000
II 1960年 ~1969年	SiC(Si ₃ N ₄) Al ₂ O ₃ カーボン	ラミシング	30.000 ~ 50.000
III 1970年 ~1974年	SiC(Si ₃ N ₄) Al ₂ O ₃ カーボン	ラミシング (自動ラミシング装 置、吹付補修)	40.000 ~100.000
IV 1975年 以後	SiC(Si ₃ N ₄) Al ₂ O ₃ カーボン	V F 工 法 S V P 工 法 N-CAST工法	500.000 ~2.000.000

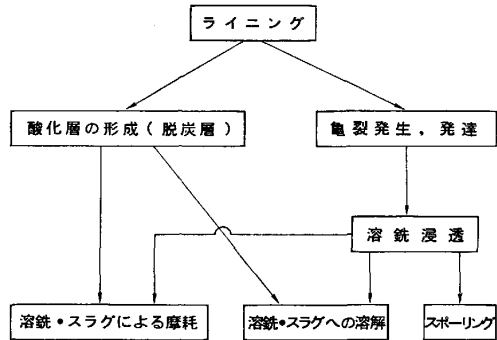


図 5 高炉樋ライニングの損傷メカニズム³³⁾

質緻密化、中間補修(つぎたし補修)による樋材原単位低減、樋寿命の延長に大きく寄与している。

樋材の損耗機構についてはすでに多くの研究が行われているが^{35)~39)}、図5はそれらを整理したものである。直接的な損耗機構としては、溶銑・スラグによる機械的摩耗、溶銑・スラグへの流出があるが、それらを律速しているのは酸化層(脱炭層)の生成速度と考えられる。一般に酸化層の形成は樋材の稼働面を脆化し、損耗を促進するが、他方では稼働面に非浸透性の酸化層を形成することは、酸化の抑制、SiCなどの溶銑への流出を保護する効果もある。酸化の原因となる酸素の供給源はスラ

表 3 溶銑鍋ライニング品質例¹⁾

項 目	焼 成 れ ん が		ス リ ン グ マ ス		
	A	B	C	D	
化 学 成 分 率 (%)	SiO ₂	8 0.0	7 8.5	8 9.5	6 8.0
	Al ₂ O ₃	1 8.0	1 8.5	6.3	1 2.0
	アルカリ Fe ₂ O ₃	0.7	Fe ₂ O ₃ 0.9	0.5	0.1
	SiC	-	-	-	1 3.0
耐 火 度 (S.K)	2 9	2 8	2 8	2 8	
線 変 化 率 (%)			+2.55	+2.39	
気 孔 率 (%)	1 5.5	1 5.5	1 8.4	2 1.8	
か さ 比 重	2.18	2.18	1.95	1.96	
使 用 場 所	敷 用	側 壁 用	側 壁 用	側 壁 用	

グ中の FeO, MnO, 大気中の酸素が主なものである。しかしながら大樋の損耗に致命的な影響をもたらすものは稼働面に生成する大きき裂である。き裂の形成は、き裂内への溶銑侵入を誘発し、溶銑摩耗を促進する。樋材の高温の体積安定性が重視されるのはこのためである。

4.2 溶銑鍋

溶銑鍋の容量は 150~300 t の大型のものもあるが、一般には 100 t 以下のものが多い。

内張り耐火物はシャモットまたはろう石質が主体で、施工法はれんがが積み、不定形施工(たとえばスリンカー¹⁾)の両法があり、寿命は 200~300 回が一般的である。

耐火物の損傷原因は湯当たり部を中心とした機械的摩耗、気孔、き裂中への溶銑の侵入、グラファイト析出による組織劣化、スポーリングが主なものである。さらに地金付着に起因する損傷もある。

これらの対策として、SiCの添加がありその効果は不定形耐火物に特に顕著である。SiCの効果はろう石系原料に添加することにより、SiCを含む高粘性の焼結層を形成し、溶銑、スラグの浸入を防止することと、材料に膨張性が付与され収縮き裂の発生を防止するためと考えられる⁴⁰⁾。

溶銑予備処理の影響は、一般に、処理温度が低いこともあり、次に述べる混銑車内張りほどではないが脱硫処理用を中心に各種の対策が構じられている⁴¹⁾⁴²⁾。

4.3 混銑車

混銑車は昭和 36 年、我が国に導入されて以来、高炉製鋼工場間の大容量輸送手段であること、溶銑温度低下が小さいなどの理由から採用が相次ぎ、1981年には約 460 基が採用されている⁴³⁾。

混銑車の耐火物を論ずる上で忘れてならないのはその内張り構造である。図6に示すようにれんが積構造が複雑なうえ、受銑口以外は外部へ膨張が逃げないため、熱

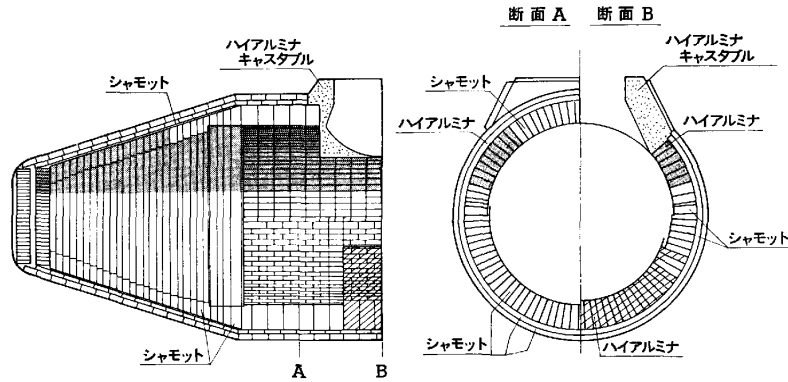


図 6 混銑車ライニング築造図

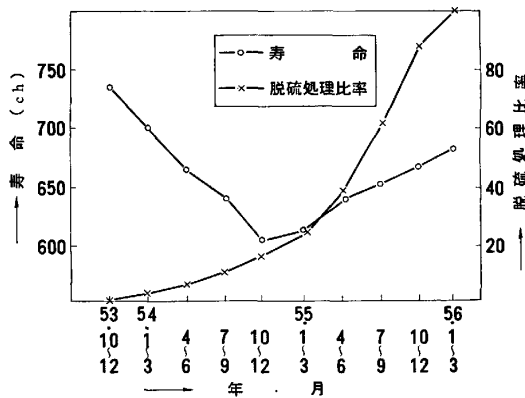


図 7 混銑車ライニング寿命と脱硫処理比率⁴⁰⁾

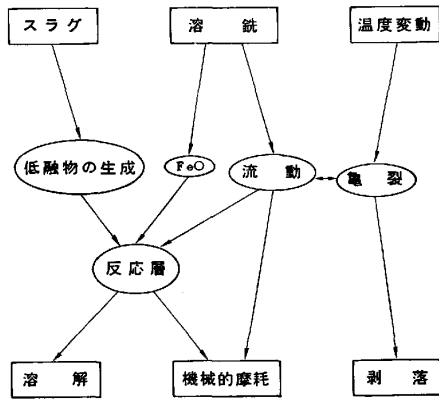


図 8 混銑車ライニング損傷機構⁴⁶⁾

膨張により内部応力が局部的に発生しやすく、各種スポーリングやペンシリング型損耗の原因となっている。

耐火物構造における熱応力に関する報告は多数行われているが⁴⁴⁾⁴⁵⁾、応力緩和と目地部への溶銑侵入防止を両立させることが大きな課題である。

溶銑予備処理が開始される以前の内張り耐火物は、高炉内張りと同系統の低気孔率粘土レンガが使用され、寿命 1200 回、受銑 t 数 380 000 t の記録も達成されている⁴⁶⁾。

しかしながら昭和 40 年代よりの溶銑予備処理(脱硫)

表 4 代表的炉外脱硫法¹¹⁾

区 分	
揺動取鍋法	揺動取鍋法 DMコンバータ法 回転ドラム法
スターラー法	Demag-Ostberg 法 Rheinstahl 法 K R 法 N K K 法
インジェクション法	A T H方式 新日鐵方式
気体吹き込み攪拌法	取鍋底吹法 上吹法
Mg を用いる方法	インジェクション方式 プランキング・ベル方式
気泡ポンプ式環流攪拌法	

の普及は内張り耐火物寿命の大幅低下をもたらした⁴⁷⁾
⁴⁸⁾。脱硫材は初期には、 CaC_2 が主であつたが、現在では CaO が主流となつている。炉材面での対応は初期高アルミナ質であつたが⁴⁸⁾、脱硫処理率の増加、脱硫材の CaO 化に伴う寿命低下に対応し、 MgO-C 系⁴⁹⁾、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$ 系⁵⁰⁾、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 系⁵¹⁾ 系などの開発実用化が行われ効果を挙げており、この傾向は脱珪、脱りんなどの溶銑予備処理の多様化に伴いさらに顕著となつてきている。

なお欧州においては、ドロマイトなどの塩基性内張りも一般的に使用されており、米国ではタール含浸の粘土レンガが多用されている^{52)~54)}。

混銑車耐火物の損耗機構に関する報告は多数あり、その代表的なものを図 8 に示すが⁴⁶⁾、損耗の主因は耐火物のスラグ、処理剤との反応、受銑衝撃や強制攪拌による摩耗、スポーリングである。

4.4 溶銑予備処理装置

溶銑予備処理として最も多く実施されているのは脱硫である。表 4¹¹⁾には代表的な炉外脱硫法を示すが、脱珪、

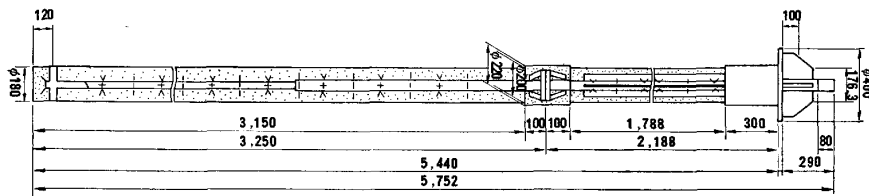


図 9 脱硫用ランス構造 (例)

表 5 溶銑予備処理用インペラーおよびランス耐火物の品質例

項目		インペラー用 ⁵⁵⁾	ランス用
化学成分 (wt%)	SiO ₂	40.2	49
	Al ₂ O ₃	44.4	53
	Fe ₂ O ₃	1.4	
	CaO	5.2	
	SiC	4.5	
線変化率 (%)	110℃乾燥	0	-0.03
	1,400℃	-0.20	-0.19(1,000℃)
気孔率 (%)		16.5	13.8
嵩比重		2.18	2.34
見掛比重		2.61	
圧縮強度 (Kg/cm ²)		300	320
曲げ強度 (Kg/cm ²)		75	69

脱りんなどの処理もこれに準じた方法で行われている。

予備処理の容器内張りへの影響については前述したが、ここでは処理剤の攪拌、吹き込み用炉材について述べる。

4.4.1 攪拌用インペラ

攪拌用インペラは、溶銑と処理剤を混合攪拌するため、処理剤による溶損、溶銑流による摩擦を受けるほか、処理時と非処理時の熱サイクルによるスポーリング損傷も受ける。

耐火物は高級シャモットないしは高アルミナ質キャストابلが用いられ、き裂発生防止のためスチールファイバーを添加することも多い。

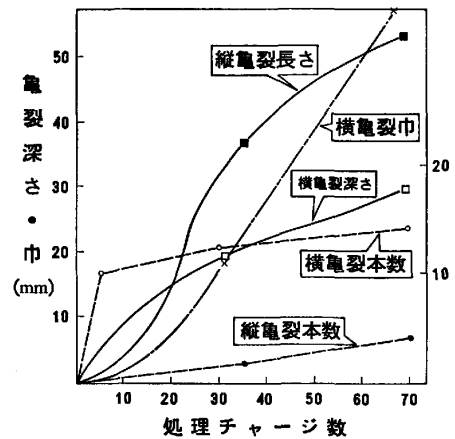
寿命は CaC₂ を使用した KR の例で、100~200 回である。一般に Na 系処理剤は Ca 系処理剤に比べ損傷が大きく、寿命は 1/3 になるという報告もある²⁶⁾。

4.4.2 ランス

ランスには単なる溶銑攪拌用と、処理剤 (粉末) の吹き込み用ランスとがあり、使用条件もさまざまである。

ランス用耐火物はスラグ、処理剤との反応による化学的溶損、溶銑流による物理的摩擦を受けるのはもちろんであるが、図9に示すような長尺で内部に芯金を有するという構造に起因するき裂発生が最大の問題である。き裂発生の原因は処理時のランス振動に起因するものと、芯金と耐火物の膨張差に起因するものがあり、いずれ

亀裂発生状況調査



(ランス長さ3,500mm, 径300mmφ)

		④ キャストابل	⑤ 芯金	⑥-④
待機中	平均温度 (℃)	630	440	
	膨張長さ (mm)	11.5	20.3	8.8
	膨張径 (mm)	0.09 (440℃)	0.44	0.45
処理中	平均温度 (℃)	740	350	
	膨張長さ (mm)	13.6	15.3	1.7
	膨張径 (mm)	0.04 (350℃)	0.3	0.26

図 10 脱硫ランス耐火物のき裂発生状況

も耐火物材質のみで解決できるものではなく、芯金を含めた全体の構造面で考えられるべきものである。

耐火物としては、処理条件により粘土質もしくは高アルミナ質の高強度キャストابل耐火物が採用され、スチールファイバーの添加もき裂防止のため一般的に行われている。寿命は脱硫用で 200 回をこえるという報告もある⁵⁶⁾。

5. 今後の課題

以上、溶銑用耐火物について溶銑予備処理問題に触れながら概説してきたが、今後の問題を論ずるうえで最も重要なことは鉄鋼技術の動向である。

現在行われている溶銑予備処理は目的手段ともさらに

多様化すると思われ、Na系処理材の増加、溶鉄中への酸素吹き込みなどの炉材にとって大きな問題に発展する可能性がある。一方各種研究の進められている新直接還元製鉄技術、連続製鋼技術は、従来の溶鉄用耐火物の経験しなかつた問題を提起しつつある。

これらの問題に対応するにあたっては、単なる材料技術のみに止まらず、プロフィールを含めた構造体設計、施工技術、操業技術と総合的な検討が必要である。

今後とも操業技術者、耐火物使用技術者、耐火物製造技術者が良く協力、連携し、各課題が解決されていくことを期待するものである。

文 献

- 1) 前田 宏, 白石勇介, 松田安弘: 耐火物, 29 (1977), p. 486
- 2) 樋口光明: 耐火物, 22 (1970), p. 316
- 3) 宮武和海: 耐火物, 22 (1970), p. 107
- 4) 宮武和海, 古海宏一: 耐火物, 24 (1972), p. 83
- 5) 滑石直幸, 安達秀男: 耐火物, 30 (1978), p. 174
- 6) 斎藤 剛: 耐火物, 24 (1972), p. 81
- 7) 江波戸紘一, 武林俊治: 耐火物, 31 (1979), p. 102
- 8) 中島長久: 耐火物, 20 (1968), p. 335
- 9) 梅本訓康: 耐火物, 23 (1971), p. 316
- 10) 大久保静夫, 大庭 淳: 耐火物, 27 (1975), p. 492
- 11) 鉄と鋼 60周年記念特集号 (1975), p. 558
- 12) 溶鉄・溶滓の物性値便覧 (溶鋼・溶滓部会編) (1972), p. 40 [日本鉄鋼協会]
- 13) 川上辰夫, 新谷宏隆, 福田利明: 耐火物, 30 (1978), p. 139
- 14) B. MARINCEK: Arch. Eisenhüttenwes., 39 (1968) 9, p. 665
- 15) M. KOLTERMANN and K. BOSSELMANN: Refractories J. (1977) 4, p. 9
- 16) 杉田 清: 第4回高温材料ゼミナール資料 (1963) [窯業協会]
- 17) 樋渡幸夫: 耐火物, 23 (1971) 11, p. 33
- 18) 成田貴一, 牧野武久, 松本 洋, 彦坂明秀: 鉄と鋼, 66 (1980), S 728
- 19) 梅沢一誠, 二杉憲造, 有馬良士: 鉄と鋼, 66 (1980), S 729
- 20) 伊藤幸良, 伊藤秀雄, 河内雄二, 佐藤信吾, 井上隆, 名木 稔: 鉄と鋼, 67 (1981), S 929
- 21) 向井達夫, 福田正博, 後藤祐規, 和田 要: 鉄と鋼, 67 (1981), S 935
- 22) 中島啓之, 関 博, 高崎義則, 盛田隆夫, 後藤祐規, 住田守弘: 鉄と鋼, 67 (1981), S 936
- 23) 成田貴一, 牧野武久, 松本 洋, 彦坂明秀, 大西稔泰, 高木 弥, 勝田順一郎, 佐々木真敏: 鉄と鋼, 67 (1981), S 937
- 24) 中尾隆二, 森 克己, 川合保治: 鉄と鋼, 67 (1981), S 937
- 25) 草川隆次, 大堀 学, 尾花友之, 滝 千尋: 鉄と鋼, 67 (1981), S 941
- 26) 平岩 修: 新しい窯炉とその耐火物 (耐火物技術協会編) (1973), p. 390 [耐火物技術協会]
- 27) 杉田 清, 島田康平, 松尾正孝: 耐火物, 25 (1973), p. 9
- 28) 島村剛三, 阿部兵治, 清水教正: 耐火物, 33 (1981), p. 580
- 29) 成瀬庸一, 古海宏一, 八木琢夫, 小野典璋, 阿部雅夫: 耐火物, 33 (1981), p. 627
- 30) 井出 勝, 鈴木弘茂: 耐火物, 26 (1974), p. 260
- 31) 新谷宏隆, 福田利明: 窯業協会誌, 90 (1982) 5, p. 218
- 32) 川上辰男, 新谷宏隆, 福田利明: 耐火物, 30 (1978), p. 538
- 33) 杉田 清, 篠原泰明: 第 25 回国際耐火物会議 (1982) Aachen
- 34) 杉田 清: 鉄と鋼, 65 (1979) 9, p. 108
- 35) 向井楠宏, 古海宏一, 原田 力, 吉富文記: 鉄と鋼, 65 (1979), S 114
- 36) 向井楠宏, 古海宏一, 原田 力, 吉富文記: 鉄と鋼, 65 (1979), S 543
- 37) 向井楠宏, 古海宏一, 原田 力, 吉富文記: 鉄と鋼, 66 (1980), S 613
- 38) 西 正明, 木谷福一, 梶川脩二, 中島龍一, 新谷一憲: 鉄と鋼, 65 (1979), S 545
- 39) 仙波喜美雄, 原田 力, 吉富文記, 向井楠宏: 鉄と鋼, 67 (1981) 4, p. 64
- 40) 林 武志, 京田 洋, 南波安利: 第 18 回国際耐火物会議 (1975) Aachen
- 41) 半明正之, 小倉英彦, 木谷福一, 吉野成雄: 耐火物, 33 (1981), p. 565
- 42) 福田利明, 新谷宏隆, 岸高 寿, 川上辰男: 鉄と鋼, 65 (1979), S 115
- 43) N. NAMEISHI, T. ISHIBASHI, and T. KITANI: TAIKABUTSU Overseas, 2 (1982) 1, p. 90
- 44) C. A. SCHACHT: Iron Steel Eng. 59 (1982) 6, p. 44
- 45) Y. KOYAMA, M. IYAMA, S. UCHIYAMA, and M. IMABEPPU: TAIKABUTSU Overseas, 2 (1982) 1, p. 34
- 46) 中原康夫, 杉田 清: 第 18 回国際耐火物会議 (1975) Aachen
- 47) 大石 泉, 宮川三郎, 大町 勉: 耐火物, 33 (1981), p. 617
- 48) 有川和夫, 藤元貞久: 製鉄研究 (1975) 283, p. 43
- 49) 森本志志, 中村敏男: 耐火物, 33 (1981), p. 623
- 50) 古海宏一, 仙波喜美雄, 小野典璋: 耐火物, 30 (1978), p. 527
- 51) 滑石直幸, 松村龍雄, 安達秀男, 細川清弘: 耐火物, 30 (1978), p. 545
- 52) P. ARTELT: Refractories J. 56 (1981) 3, p. 14
- 53) M. KOLTERMANN: Stahl Eisen, 99 (1979) 21, p. 1165
- 54) M. KOLTERMANN: Steel Times, 208 (1980) 8, p. 546
- 55) 安藤 遼: セラミックデータブック '80 (1980), p. 188 [工業製品技術協会]
- 56) 吉田光雄, 大石 泉: 耐火物, 29 (1977), p. 480