

NKKにおけるステンレス新精錬法の開発

Development of New Refining Process for Stainless Steel Production
at Fukuyama Works, NKK

NKK福山製鉄所 渡辺 敦*・滝 千尋・井上明彦
加藤久樹・井上 茂
技術開発本部 中村英夫

1. 緒言

当社は、ステンレス製造プロセスの合理化を目的に、1990年9月にステンレス新精錬設備を福山製鉄所にて稼働させている。ステンレス新精錬炉(Stainless Steel Refining Furnace 以下SRFと略す)は転炉1基方式として、予備処理溶銑にNi鉍石・Cr鉍石・スクラップなどの種々のNi・Cr源から選択した安価な原料を添加し、かつ熱源として酸素・コークスを用いてステンレス溶湯を直接溶製している。またSRF出鋼後は、既存の二次精錬設備、鑄造設備を活用することにより、安価なステンレススラブを製造している^{1)~3)}。

本報では、SRFにおける設備・操業状況の概要、Ni・Cr鉍石還元速度および吹錬中の飛散ロス低減による歩留り向上等について報告する。

2. プロセスフロー

Fig. 1にオーステナイト系ステンレスの製造フローの概念図を示す。SRFにて予備処理溶銑と酸化Ni鉍石等から含Ni溶銑を溶製後(Ni鉍石還元)、この溶銑を既存の溶銑予備処理設備にて炉外脱磷する。脱磷銑を再度SRFに装入し、Cr原鉍石等を添加し含Cr・Ni溶銑を溶製した後(Cr鉍石還元)、取鋼に出銑するとともにSRF内の残留スラグを完全に除去する。さらにSRFに戻した溶銑にスクラップ等を添加して脱炭吹錬を実施する。脱炭後は既存の二次精錬設備(NK-AP, RH)にて仕上精錬を実施し、鑄造はNo. 2 SLCCまたは造塊設備にて行う。

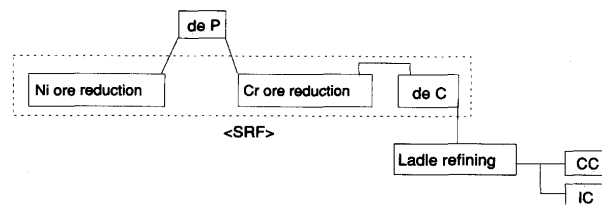


Fig.1. Process flow of new Stainless Steel Refining Process.

3. 設備概要

SRFは1986年以降休止していた第2製鋼工場の転炉を改造した。Table 1にSRF設備仕様を、Fig. 2に設備概要を示す。

改造のポイントは下記の通りである。

- 1) 鉍石の大量使用のため炉上ホッパーから原料の連続投入を可能とした。
- 2) 発生ダストを分別回収しNi・Cr源としてリサイクルするため、ハンドリング等運用が簡単な横型ホットサイクロンを設置。また湿式集塵ダストも分別回収を可能とした。
- 3) 炉内二次燃焼比率の変化に対応して低排ガス流量でも回収ガスカロリーを高めるため、炉内圧制御装置、IDF入口ダンパーを設置し、フードボイラーの使用と共にエネルギー回収効率を向上した。

Table 1. Main Specifications of SRF.

Capacity	120t/ch
Productivity	max. 10,000 t/M
Furnace Vessel shell	BOF type 6600 ϕ x 10080mmh
Lining	MgO-C
Process gas	
Top blown O ₂	max 13.3 m ³ /s
Bottom blown N ₂ /Ar	max 3.3 m ³ /s
Off gas system	OG system
Dust collector	Hot cyclone + Saturater

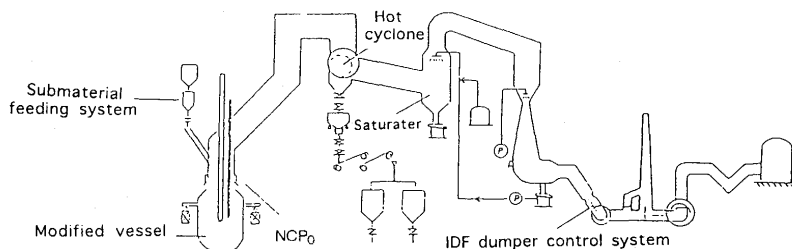


Fig.2. Schematic view of SRF equipment.
(Exhaust gas treatment system)

平成6年10月14日受付 (Received on Oct. 14, 1994)

* Atsushi Watanabe(Fukuyama Works, NKK Corporation,1 Kokan-cho Fukuyama 721)

4. 操業概要

4・1 Ni 鉱石還元

Table 2 に当所で使用しているNi 鉱石の代表的な組成例を示す。鉱石はガーニエライト系酸化Ni 鉱石で、原鉱石は約30%の付着水を含むため、炉内添加に際しては予めロータリードライヤーにて乾燥後(付着水約7%)、一部原料は成型して使用している。

Fig. 3 に代表的な操業パターン例を示す。予備処理溶銑をSRFに装入し吹錬を開始し、溶銑の温度が約1500℃に達した後Ni 鉱石の添加を開始する。鉱石添加中は溶銑温度がほぼ一定になるように送酸流量ならびに鉱石・コークス添加速度のコントロールを行う。吹錬時には大量のスラグが発生するので所定量の鉱石を添加後、吹錬を中断して途中排滓を行う。Ni 鉱石の還元は十分な熱供給速度を与えれば容易に進行するので、送酸速度と2次燃焼比率(PC)の組み合わせを最適化することによって鉱石還元を行っている。

4・2 Cr 鉱石還元

Table 3 に使用しているCr 鉱石の代表的な組成例を示す。Fig. 4 に代表的な操業パターン例を示す。脱燐処理された含Ni 溶銑ならびにスクラップ等の冷鉄源を精錬炉に装入後送酸を開始し、コークスならびに媒溶材の添加を行って昇熱・造滓吹錬を行う。溶銑の温度が約1600℃に達した後Cr 鉱石の添加を開始し、鉱石添加中は溶銑温度がほぼ一定になるように送酸流量ならびに鉱石・コークス添加速度のコントロールを行う。所定の鉱石量を添加後、徐々に送酸流量を下げて仕上げ還元を行い、最後にFeSiを投入してスラグ中の(T. Cr) < 1%としている。

5. 鉱石還元速度

Ni 鉱石還元中のNiOは非常に還元され易く、小型炉実験(100kg~5t)および実機ともに、還元速度は攪拌条件等に依存せず、鉱石の投入律速となっている。吹錬中および吹錬終了時のスラグ中NiO濃度はいずれも0.05%以下であり還元は遅れなく進行している。

Cr 鉱石の還元が鉱石の溶解とスラグ側の物質移動の混合律速としたときに還元速度は(1)式のように表すことができる⁵⁾⁷⁾。

$$d[Cr]/dt = \alpha(Cr) + \beta \exp(-\Delta H/T) \dots\dots\dots(1)$$

α, β : みかけの反応速度定数
 ΔH : 温度依存性に関する定数

Fig. 5 に示すように5トン炉の結果に適用した(1)式のモデルを用いて、実機での還元速度をほぼ推定できた。また攪拌力の増大および操業温度の確保により、実機でも最大で0.3%/minの高速の還元速度も得られている。

Table 2. Typical compositions of Ni ore used in SRF.

T.Ni	T.Fe	T.Cr	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	adhesion moisture
2.5%	13.2%	0.6%	35.2%	25.9%	1.1%	7%

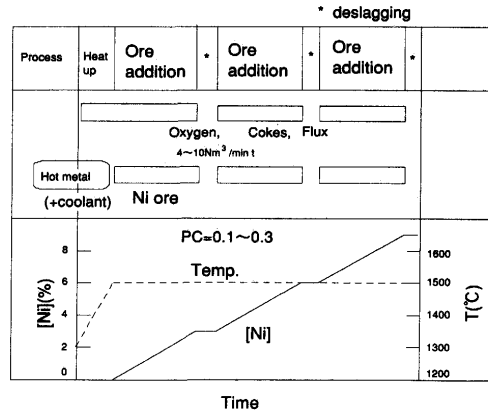


Fig.3. Typical operational conditions in Ni ore reduction process.

Table 3. Typical composition of Cr ore used in SRF.

T.Cr	T.Fe	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
30.9%	19.3%	11.1%	2.6%	14.5%	0.3%

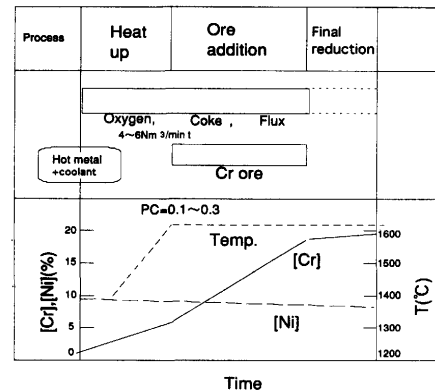


Fig.4. Typical operational conditions in Cr ore reduction process.

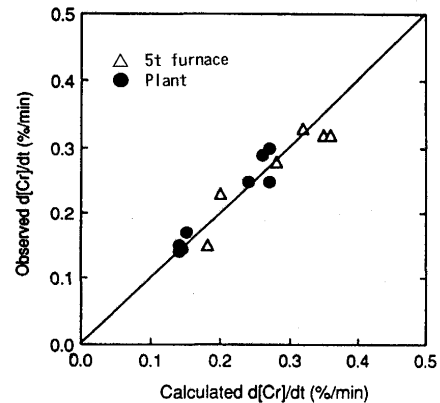


Fig.5. Comparison of observed and calculated Cr ore reduction rate.

6. ダストロス低減による歩留り向上

Ni鉱石およびCr鉱石還元処理は、比較的吹錬時間が長いため通常の転炉プロセスに比較して飛散ロスの割合が高い。発生ダストは、そのほとんどを回収・リサイクルしているが、過剰なダスト発生はエネルギー効率の向上および作業費の低減の観点からも好ましくない。このためNi鉱石還元・Cr鉱石還元吹錬中および吹錬後の乾式・湿式ダストのSEMを用いた解析および溶湯成分から物質収支をとり、ダストの起源を推定した結果を、Table 4および5に示す。Ni鉱石還元の乾式ダストのみ、鉱石・コークス割合が高く、かつ添加時の原形を保っているものが多いため、添加中に飛散したものと考えられる。原料の飛散を低減するためには、i) 炉内の見かけの空塔速度と飛散限界を考慮した原料の粒度調整、ii) 添加中の崩壊・微粒化を防ぐための原料の熱間強度の確保、などを行って対処している。

一方で、Ni鉱石還元の湿式ダストならびにCr鉱石還元の乾式・湿式ダストはメタル系の飛散物が主体であった。これらのダスト中メタル系飛散物の成分をXMAを用いて分析したところ、溶湯の成分と良く一致し、Crの濃縮は認められなかった(Fig. 6)。また、底吹き攪拌ガス量を増加すると、ダストの発生量は増加した。

この結果から、これらのダストはメタル浴面の火点で生成したヒュームではなく、スラグ中に懸濁する粒鉄と酸素ガスとの接触によって生成したものと推定できる。

従って、これらのダストの発生量を低減するには、スラグ中に懸濁する粒鉄と酸素ガスとの接触を抑制することが有効である。具体的な手法としては、Fig. 7に模式的に示す様に、I) スラグ中の粒鉄と酸素ガスとの接触頻度の低減を図り、酸素ガスのスラグ相への侵入深さを低減する、II) スラグ中に懸濁する粒鉄量の低減を図り、底吹き攪拌ガス量を低減する、の2つが考えられる。

これらの方策は、熱や物質の移動に悪影響を及ぼす可能性が有るため、実施にあたっては着熱効率ならびにNi・Cr鉱石の還元速度の変化を観察し、最適条件を決定した。

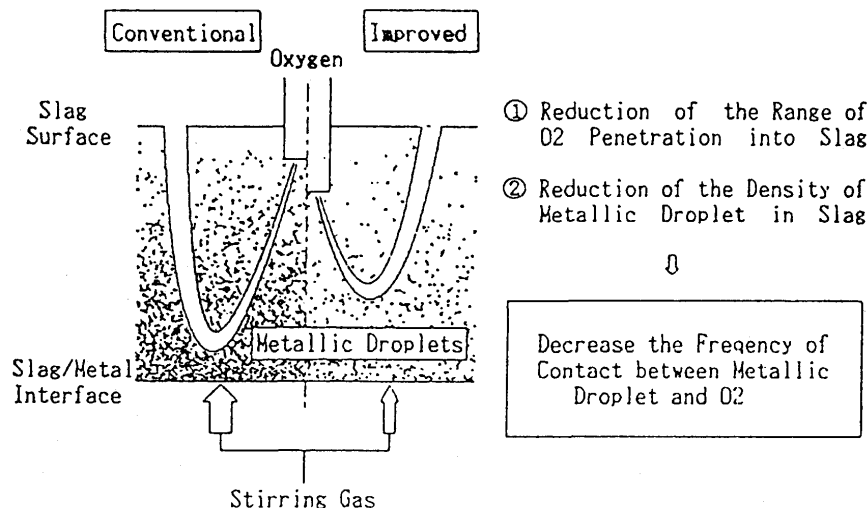


Fig.7. Schematic diagram of 'wet'-dust generation.

Table 4. Estimated constitution ratio of dry dust obtained in Ni ore and Cr ore reduction process.

Process	Ore	Coke	Metal
Ni Red.	10~20%	<10%	70~80%
Cr Red.	<10%	<10%	70~80%

Table 5. Estimated constitution ratio of wet dust obtained in Ni ore and Cr ore reduction process.

	Ore	Coke	Metal
Ni ore reduction	70~80%	10~20%	10~20%
Cr ore reduction	<10%	<10%	70~80%

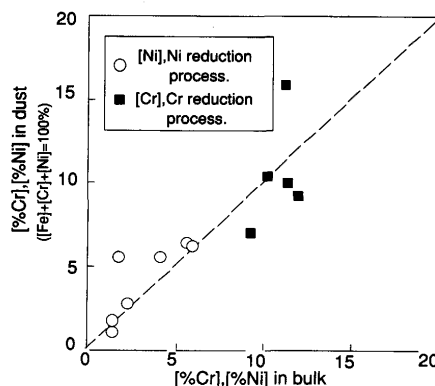


Fig.6. Relation between [%Cr], [%Ni] in bulk and [%Cr], [%Ni] in wet dust.

以上の対策により得られた効果をFig. 8に示す。乾式ダストは70%、湿式ダストは40%、それぞれ低減し、合計すると約2%の歩留り向上効果となった。

7. 炉体寿命の向上

SRFの炉体寿命の推移をFig. 9に、主な改善点をFig.10に、それぞれ示す。側壁部についてはMgO-C煉瓦中のMgO粒の高純度化、高級化および計算機による吹錬中の最適スラグ組成への制御等により溶損防止を図ることが出来た。炉底部については羽口煉瓦中C量アップによる耐スポール性向上および膨脹代の適正化によりスポーリングの抑制を図った。

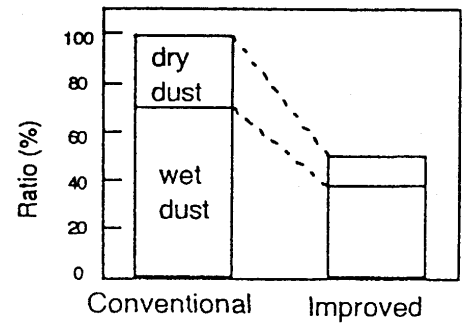


Fig.8. Decrease in the amount of dust generation in Cr ore reduction process.

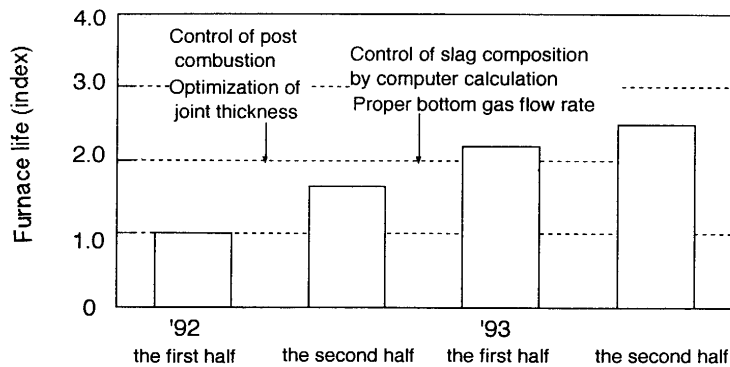


Fig.9. Transition of furnace life.

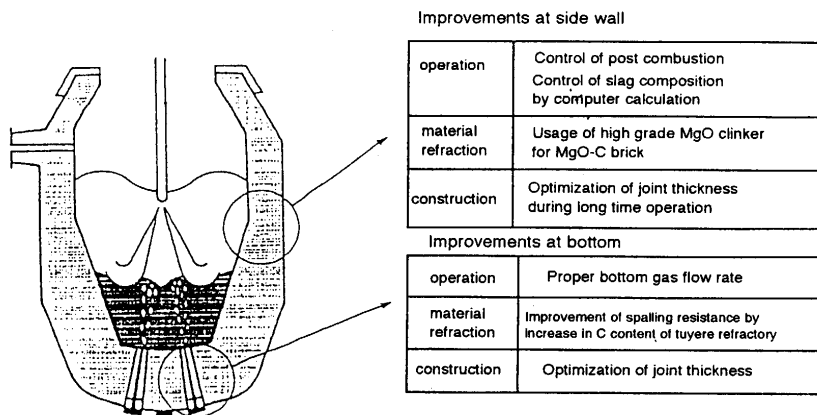


Fig.10. Improvements of refractory.

8. 結言

転炉型精錬炉の持つ優れた精錬能力と既存の溶銑予備処理、二次精錬、鑄造設備を活用することにより、Ni鉍石・Cr鉍石・スクラップ等の安価な原料を幅広く選択でき、安定した歩留りを確保しつつかつ安価で高品位のステンレススラブを製造する技術を確立している。

文献

- 1) 渡辺 敦, 滝 千尋, 加藤久樹, 福味純一, 田辺治良, 中村英夫, 井上 茂: 材料とプロセス, 7(1994), p.254
- 2) 井上 茂, 中村英夫, 高岡利夫, 渡辺 敦, 滝 千尋, 田辺治良: 材料とプロセス, 7(1994), p.255
- 3) 内野 薫, 桜井栄司, 田辺治良, 山口隆二: 材料とプロセス, 7(1994), p.256
- 4) 高岡利夫, 菊地良輝, 河井良彦: CAMP-ISIJ, 2(1989), p.1083
- 5) 高岡利夫, 菊地良輝, 河井良彦: 鉄と鋼, 76(1990), p.1839
- 6) T.A. Engh and H. Bertheussen: Sc. J. Met., 4(1975), p.241
- 7) Toshio Takaoka, Yoshiteru Kikuchi and Yoshihiko Kawai: Proc. Intl. Symp. on Ferrous and Non-Ferrous Alloy Processes, CIM 29th Annual Conference of Metallurgists, Hamilton, Ontario, August, (1990), p.164