

技術資料

Technical Data

ステンレス製鋼工場におけるダストリサイクルシステム

松井宏司*¹, 松尾国雄*¹, 山本孝幸*²

Waste Treatment and Metal Recycling System for Stainless Steel Making Plant

Hiroshi Matsui, Kunio Matsuo, and Takayuki Yamamoto

Synopsis

Various kinds of waste are generated from stainless steel making process, and the treatment of waste and reclamation of valuable metals contained in such wastes are one of the social concern.

This paper describes the principle of INMETCO process and operation results of the waste treatment and metal recycling plant constructed in 2004.

INMETCO process is well proven as a direct reduction technology utilizing Rotary Hearth Furnace (RHF), and consecutive Submerged Arc Furnace (SAF).

Annual 52100 tons in total of waste such as arc furnace dust, mill scale, and sludge were treated and 1100 tons of nickel and 4200 tons of chromium were reclaimed.

1. はじめに

ステンレス鋼製造プロセスでは、ダスト、スケール、スラッジなどが廃棄物として発生する。それらの廃棄物の一部はそのまま再利用可能であるが、多くは利用できずに埋立などにより投棄されている。しかし最近の世界的な環境保護意識の高まりから、廃棄物投棄は徐々に困難になってきており、製鉄プロセスから発生する廃棄物量の削減が求められている。また、廃棄物に含まれる有価物の再利用も経済および省資源の観点からより重要になってきている。

この廃棄物投棄の制限および有効利用のニーズに応えるため、大同特殊鋼(株) (以下、当社という) は 1996 年に米国 INMETCO 社から回転床炉を利用した廃棄物リサイクル技術である「INMETCO 法」¹⁾²⁾を導入し、製鋼ダスト処理への適用を図った。

本報では、製鉄ダスト還元処理プロセスにおける INMETCO 法の概要および INMETCO 法を適用したステンレス製造工場からの廃棄物リサイクルプラントの操業

実績を紹介する。

2. INMETCO法の概要

INMETCO 法は、酸化金属粉末と還元材粉末を混合、造粒の上、回転床炉 (RHF) を用いて直接還元し有価金属として再資源化するプロセスである。INMETCO 法のプロセスフローを Fig.1 に示す。

プロセスは原料の受入、貯蔵および造粒、RHF を用いての還元、そしてサブマージ式電気炉 (SAF) での熔融還元の 3 段階で構成される。

まず原料受入・貯蔵について説明する。微粒含鉄酸化物原料、例えば水分をほとんど含まない製鋼ダストなどはジェットパケットトラックなどでサイトから輸送し、空気輸送によりサイロに貯蔵する。酸洗スラッジなどのスラリ状の原料はいったん水切りした後ローダで輸送しバンカに貯蔵するか、事前に乾燥して乾粉として貯留する。一方ミルスケールなどは粒径が比較的大きいので、水分を除去した後いったん篩に掛け、規定寸法以上のスケールは粉碎機にて粉碎し、サイロに貯蔵する。還元材

2009年2月25日受付

* 1 大同特殊鋼(株)機械事業部 (Machinery Division, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)機械事業部, 工博 (Dr., Eng., Machinery Division, Daido Steel Co., Ltd.)

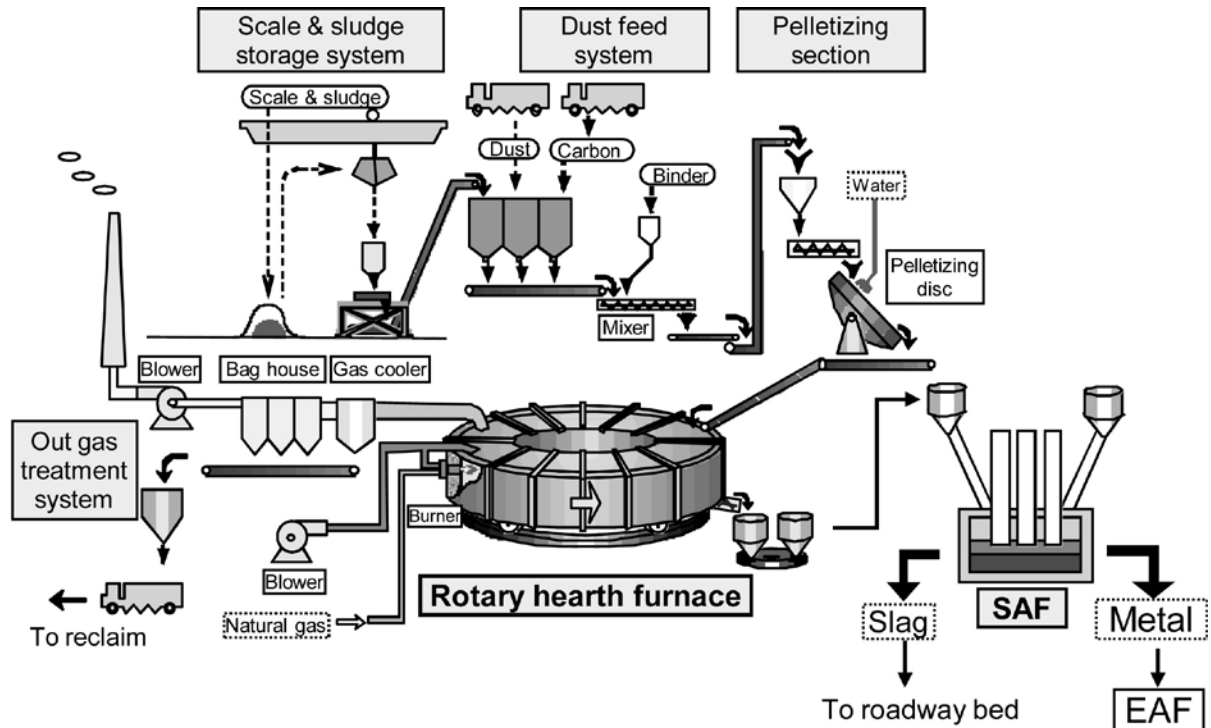


Fig.1. Process flow of INMETCO process.

としてのカーボン粉、バインダも空気搬送装置などを用いてサイロに搬送・貯留する。こうして一時保管した原料を、定められた配合比に見合う切出し量で、定量切出し装置により貯蔵サイロから切り出し、混練した後造粒する。造粒形状は、原料性状、造粒から回転床炉までの搬送形態、還元処理後の運搬形態、最終製品としての要求により決定される。ブリケット、押出成型ペレットなど、原料性状、用途、などにより適宜選択する。水分を多く含むスラッジを原料として扱う場合には、乾燥後再度水分調整の必要のない押出成型が有利となる場合もある。乾燥原料のみの場合には、ブリケットングも選択肢となる。球形ペレットの場合には、次に続く還元処理での爆裂に耐える直径数mm～十数mm程度の生ペレットとする。

プロセスの第2段階はRHFでの酸化金属の予備還元である。前処理で成形したペレットは、場合によっては未乾燥のままRHFに連続投入され、炉内の回転炉床上に1～2層の厚みで敷き詰められる。RHF内は1100～1350℃の高温に保たれており、炉床が1回転(10～20min.)する間にペレット中の酸化鉄が還元されて金属化率の高い還元鉄になる。還元されたペレットは抽出口からINMETCOが独自開発した水冷式抽出スクリーンにより連続抽出される。一方、亜鉛、鉛、および一部のア

ルカリ、塩化物、フッ化物は還元処理中に排ガスと共に排出され、非鉄原料としてリサイクル可能な程度まで濃縮された二次ダストとして回収される。

RHFから抽出された還元ペレットはプロセスの第3段階としてSAFで熔融還元処理される。連続抽出された還元ペレットは耐火物を内張りした保温ビンに高温のまま移され、クレーンでSAF上の保温ビンステーションに移送される。そして還元ペレットを保温ビンの下部から投入シュートを通してSAF内に連続投入し、炉内で熔融還元処理を行う。SAF内の還元とスラグ調整のため保温ビンにはスラグフラックスや還元用カーボン粒を同装する。SAF内で還元ペレットは熔融還元され溶銑とスラグに分離し、比重の違いによってメタルが下部にスラグが上部に分離する。これを定期的にSAF側面のタップホールから抽出する。抽出した溶銑は直接製鋼工程に戻されるか、ハンドリング性、利便性を考慮して鋼塊もしくは延べ棒状に鋳込まれる。

INMETCO法の主要設備であるRHFの概念図をFig.2に示す。RHF内は大別して加熱帯、還元帯、装入・抽出帯の3つのゾーンに分かれている。回転炉床上に薄く積層された生ペレットは炉床回転と共にバーナ火炎、雰囲気、および炉内壁からの輻射により急速加熱される。炉内排ガスはペレットの移動方向とは反対方向に流れる

カウンターフローとなっており、ペレット投入位置近傍の加熱帯端から排出される。そのため還元帯で発生したCOガスは還元ペレットの再酸化防止ガス層を形成するだけでなく、加熱帯で燃焼してCO₂ガスとなることにより、加熱帯での加熱源ともなる。

回転床炉内での金属化率およびトランプ元素の除去率を Fig.3, Fig.4 に示す。図中横軸が回転床炉の角度で、投入位置を0°としてある。金属化率は120°で80%を超え、中間点の180°過ぎに最大値を取る。一方、例えば亜鉛、鉛のような蒸気圧の高い重金属も酸化金属として原料ペレット中に含有しており、還元反応により揮発し排ガス中で再酸化する。投入後70°以降で急激に

還元反応が始まり、240°でほぼ反応が終了する。鉛、塩素はほぼ100%除去される。

3. INMETCO法の特長

RHFを用いた石炭ベースの直接還元プロセスは、下記のような特長を持っている。

- 1) 高温でペレットを焼成・還元するため還元時間が10～20 min. と短く、還元効率も高い。
- 2) 安価な石炭系エネルギーを利用できるので、ランニングコストの節約に有効である。
- 3) 重金属を含んだダストも処理することが可能で、炉内でのペレットの粉化程度がキルン方式に比べて低い

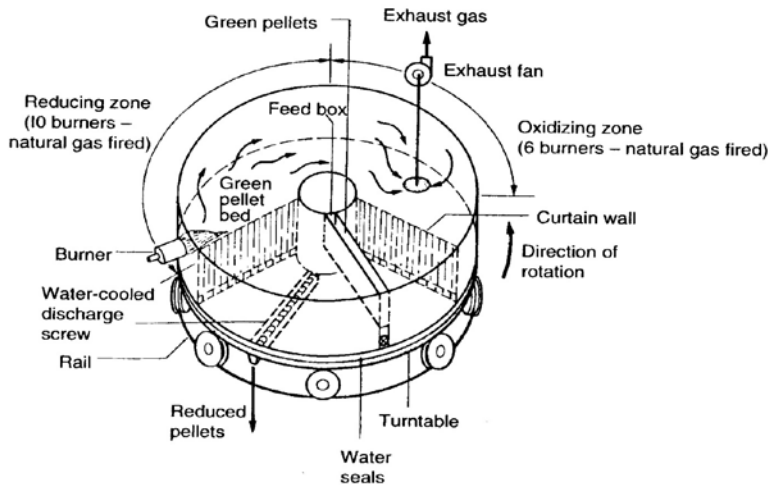


Fig.2. Schematic of INMETCO Rotary Hearth Furnace.

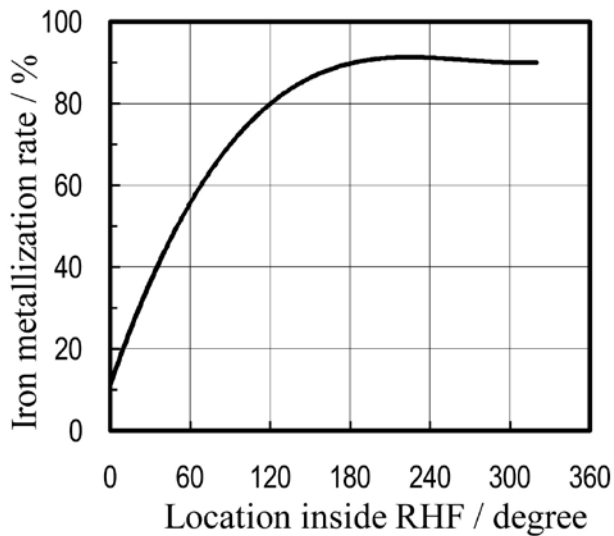


Fig.3. Relation between pellet position and iron metallization rate.

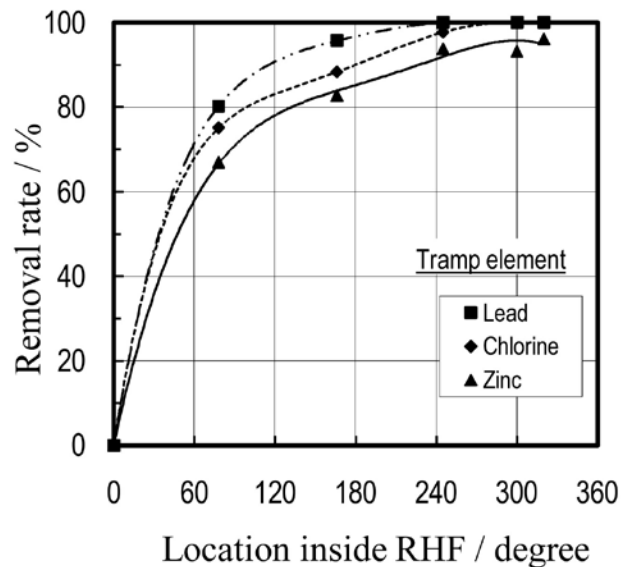


Fig.4. Relation between pellet position and removal rate of tramp elements.

ため二次ダストへの重金属の濃縮度が高い。

4) 操業が簡単で、安定連続操業に適する。

さらに他の RHF を使用した直接還元プロセスに対して、INMETCO 法は以下の優れた特長を持っている。

1) 長寿命の水冷式ペレット抽出スクリュー

炉内で還元された高温の還元済みペレットを炉外へ排出する機構としてはスクリー式での排出装置がもっとも構造が簡単で安定性、確実性がある。しかし、高温の鉄系還元ペレットを連続排出する場合、シャフトに螺旋状に溶接されペレットを連続的に掻き出す役目をするフライドが摩耗しやすい、雰囲気によっては腐食の心配がある、ペレットと共に炉床上に投入されたペレット粉により炉床表面が焼結して硬化しフライドが摩耗する、などにより、ペレット排出装置の優劣がプラントのメンテナンスインターバルを決定する。

INMETCO 社により開発された水冷スクリューは長年にわたる経験から種々の改良が施されており、実績として2年程度の寿命が報告されているなど、メンテナンスサイクルを延ばすのに貢献している。

2) 長期操業経験に裏打ちされた原料に対するフレキシビリティおよび長期安定操業技術

操業開始以来30年以上にわたる各種製鋼関連廃棄物の処理経験から、原料による処理形態の選択、配合制御、処理パラメータ、メンテナンス方法、炉床管理技

術、および特殊炉体構造などの豊富なノウハウが蓄積されている。

4. ステンレスダストリサイクルプラントの概要

当社が納入した INMETCO 法を適用したステンレスダストリサイクルプラントの操業実績を紹介する。

本プラントは2004年から商業ベースの処理を開始した。隣接する年間生産量80万トンのステンレス製造工場から発生するさまざまな廃棄物を処理するよう設計された。年間ダスト処理能力は50000トンである。

Fig.5 にプラントレイアウトを示す。設備は集塵機を除いて建屋内に収納されており、1)原料受入・貯蔵ヤード、2)混練・造粒ヤード、3)RHF、4)SAF、5) 鑄造ヤードに区別され、原料受入から製品搬出までがコの字型につながっている。

原料となる各種廃棄物はその性状により受入工程が異なる。電気炉ダスト、精錬炉ダストなどの乾粉ダスト系、酸洗焼鈍ライン (APL:Annealing and Pickling Line) ショットブラストおよび乾燥処理後の酸回収プラント (ARP:Acid Recovery Plant) スラッジはサイロへ直接空気輸送される。また還元材であるカーボン粉、バインダなどは乾粉でありフレコンで搬入されるため一時保管

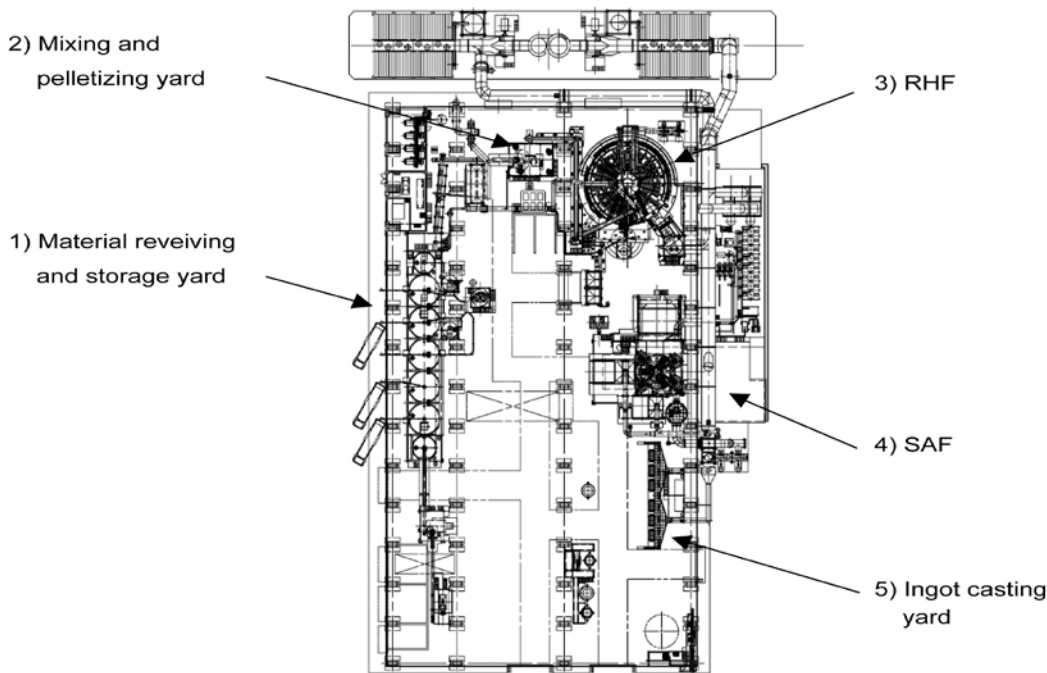


Fig.5. Waste recycling plant layout.

後、場内の空気輸送装置で同じくサイロへ貯留する。

一方水分を含んだミルスケールはバンカで予備水切りをする。造粒のため乾燥、粉碎が必要で、スケール乾燥機で乾燥した後、粉碎しサイロへ貯留する。

処理計画に沿って各原料がサイロ下の定量切出し装置から一定量切り出され、コンベアで搬送される間に混合を完了し、皿形造粒機で直径6～13 mm程度のペレットに造粒する。

ペレットは外径17 mのRHFに連続的に投入され、炉床が1回転する20 min.程度の間に還元処理され抽出口から掻き出し装置を用いて還元ペレットが連続的に抽出される。

抽出口下にあるターンテーブルには2基のペレット搬送ピンが対角に置かれており、一方のピンが還元ペレットで充填されるとテーブルを回してもう一方のピンを抽出口下に移動させ、充填ピンはクレーンで後段のSAF上にある搬送ピンステーションへ移送される。

SAF上のピンステーションに置かれたペレット搬送ピンからは、連続的に還元ペレットを炉内に投入し、溶融還元を行う。スラグ調整材、還元用カーボンも追加投入される。サブマージ加熱により炉温を維持することにより、投入された還元ペレットは炉内で溶融金属と溶融スラグに分離され、定期的に別々に排出される。

抽出した金属は大型インゴットとして鋳込み、成分測定した後製鋼場でスクラップと共に電気炉へ投入される。SAFの全景をFig.6、SAFからの出銑風景をFig.7に示す。

5. プラント操業実績

処理対象物の代表的な成分をTable 1に示す。ダスト



Fig.6. Side view of SAF.

は電気炉、コンバータ、真空精錬炉からのダストで、原料であるスクラップの影響で製鋼ダスト中の亜鉛濃度が5.6%と比較的高位になっている。またダストには塩素分が含まれている。ARPスラッジは酸洗ラインの酸洗液を再生する際に発生したスラッジで微粉である。ミルスケールは小片を含んでいるため、前処理として粉碎プロセスを通す。

Table 2に造粒したペレットの成分例を示す。造粒に際し少量のバインダと還元材となるカーボン微粉を添加している。

この生ペレットをRHFで予備還元し、さらにSAFで溶融還元して得られる金属とスラグの代表的な成分をTable 3、Table 4に示す。出銑時の金属温度は1440～1540℃で、ニッケル5%、クロム15.2%、カーボン約4%を含む銑鉄が得られる。SAFスラグの成分、温度の調整および維持が安定操業の非常に大きなポイントであり、INMETCO社のノウハウが生かされている。

本プラントでの総合的な金属回収率をTable 5に示す。操業開始2年にして95%に達している。クロム回収率とスラグ成分調整は密接に関連しており、スラグ成分を適切に調整することにより、上記のような高率クロム回収が実現する。

本プラントでダスト処理することにより、これまで安定化処理していた廃棄物から年間1100トンのニッケルと4300トンのクロムを廃棄物から回収できている。またSAFスラグは米国環境保護庁(EPA)のTCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)法による重金属溶出規制値を満足しており、路盤材などに問題なく利用されている。



Fig.7. SAF metal tapping scene.

Table 1. Chemical composition of wastes generated in stainless steel making plant.

Item	Weight [ton/y]	Component [%]												
		Fe	Ni	Cr	C	S	Zn	Pb	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	Cl
Dust	29700	31.0	2.4	8.2	0.6	0.10	5.62	0.81	0.00	0.41	3.98	2.90	8.00	0.30
CCIM scale	2900	30.2	2.4	8.3	14.7	0.20	3.4	0.72	0.03	1.54	5.90	2.40	9.90	0.40
Mill scale	13000	31.8	3.2	6.5	7.7	0.20	0.10	0.74	0.03	1.00	1.21	2.07	0.67	0.00
ARP sludge	2200	46.9	6.9	10.1	1.3	0.60	0.02	0.01	0.28	0.11	1.61	0.10	0.30	0.00
APL blast	4100	69.9	1.0	9.0	1.7	0.10	0.01	0.01	0.24	0.35	1.32	0.10	0.30	0.00

Table 2. Chemical composition of green pellet.

Item	Component [mass%]												
	Fe	Ni	Cr	C	S	Zn	Pb	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	Cl
Green pellet	28.7	2.0	7.1	14.9	0.24	5.5	0.8	0.03	1.43	5.40	2.55	9.09	0.1

Table 3. SAF metal composition.

Item	Component [mass%]										
	Fe	Ni	Cr	C	S	Mo	Mn	Co	Cu	P	
SAF metal	71.4	5.0	15.2	4.3	0.05	0.17	2.81	0.04	0.95	0.05	

Table 4. SAF slag composition.

Item	Component [mass%]						
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	S	Cr ₂ O ₃	Fe
SAF slag	4.9	21.3	9.5	35.0	0.9	6.4	1.3

Table 5. Metal recovery rate at metal recycling plant.

	Fe	Ni	Cr
Recovery rate [mass%]	95	95	86

6. まとめ

製鋼工場から排出される各種廃棄物の廃棄が制限されその処理が問題となると同時に、含有する有価金属の回収は、循環型社会形成の要求に対し企業責任になりつつある。INMETCO法はステンレス製造プロセスから発生する廃棄物からの有価金属回収プロセスとして世界で認められた実績あるプロセスであり、今後も新興国を中心にさらに採用が加速されていくと考えられる。

当社としても今後本プロセスの有用性をアピールし採用を働きかけていくことで、循環型社会の構築に向け貢献していく所存である。

(文献)

- 1) K. Pargeter, R. H. Hanewald and D. E. Dombrowski : Conservation & Recycling Vol. 8, No. 3/4 (1985), 363.
- 2) Hiroshi Matsui, R. H. Hanewald and R. R. Bleakney : Proceedings of East South Asian Iron and Steel Institute Seminar (1998), Session 6, Paper 3.