

現場技術報告

製鐵所における溶射技術の応用

Application of Thermal Spray Technology in Steel Making Plants

新日本製鐵(株) 名古屋製鐵所

龍田昭一・佐藤信治*・津村康浩

澤雅明・大堀潤二

1. 緒言

膨大な装置群で構成される製鐵プロセスでは、直接、生産能力と製品品質を左右する設備機能の向上、および膨大な保全費削減の観点から、設備メンテナンスが重要な課題である。機械設備の殆どの課題は、摩擦・摩耗・潤滑のトライボロジー問題であり、機械装置の表面機能化を行う溶射技術は、不可欠なキーテクノロジーとなっている。

名古屋製鐵所においては、これまで、プロセスロールなど多様な装置に溶射を応用し大きな成果を上げてきた。溶射技術を成功裡に应用するためには、摩耗現象・原因の解明、最適材料の開発、最適溶射装置の応用・施工条件の確立の三位一体が非常に重要である。

本報告では、名古屋製鐵所における最新の溶射応用例と、併せて今後の方向について紹介する。

2. 製鐵プロセスにおけるコーティング適用技術開発の進展

2.1 当所でのコーティング適用技術開発の歴史

当所では、メンテナンス革新が急速に進展しており、その一つとして材料技術・コーティング技術による設備長寿命化・設備高機能化を強力に推進している。10年前より、先端ファインセラミックス応用を展開し、ZrB₂製の熱電対保護管を開発し世界に先駆けて溶銑溶鋼の連続測温技術^①を確立したり、いち早くSIALONセラミックスを機械部品へ適用し、設備長寿命化の成果を得てきた。しかし、セラミックスの脆さ・製造寸法制約等の欠点から、応用にも限界があり、特にニーズの高いプロセスロールへの適用が遅れていた。そこでバルクセラミックスの応用からコーティング技術へと新たな展開を図ってきた。その理由は、①表面にのみ必要な特性を付与すれば機能を向上できる、②大きさに制限がなく対象に広がりがある、③自由に組成が選べる、からである。

コーティング技術の適用開発は、応用開発途上にあったプラズマ粉体肉盛り溶接(PTA)や複合メッキと共に成熟溶射技術である粉末フレーム溶射、プラズマ溶射(APPS)装置を導入し、主として粒子分散型材料開発やそのコーティング技術の適用開発から始まり、溶射技術、周辺技術の高度化と共に最新鋭の溶射装置を導入しつつ材料・コーティング技術蓄積を図り、研究から実現主義へ立ち、現在では、Fig.1に示すように溶射適用拡大途上にある。

2.2 溶射適用による成果例

これまでの溶射適用により、メンテナンスコスト削減、製品品質向上、生産能力向上などに、多大な成果を得ている。

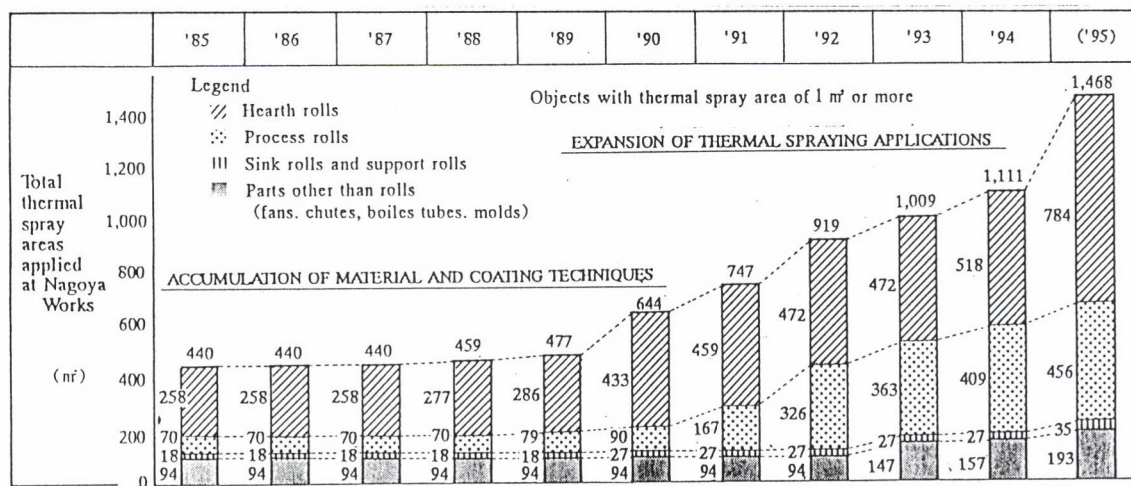


Fig.1. Expansion of thermal spraying applications at Nagoya Works.

1996年6月5日受付 (Received on June 5, 1996)

* Shinji Sato (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokaimachi Tokai 476)

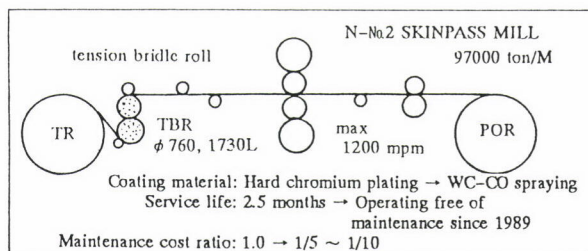


Fig.2. Benefits of thermal spraying process rolls.

一例として、Fig.2は、長寿命化・メンテナンスコスト削減例、Fig.3は、製品品質向上例を示す。

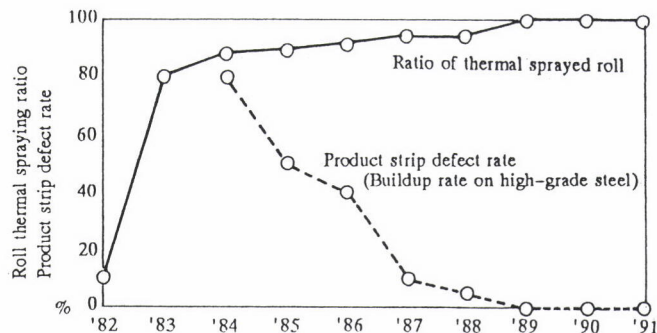


Fig.3. Changes in thermal spraying ratio of continuous annealing furnace rolls and defect rate of product strip.

3. 最新の溶射適用開発事例

3.1 CAPL, CGLハースロール

冷間圧延工程や表面処理工程の連続焼鈍炉は縦型で、900℃前後の高温かつ還元雰囲気下で、銅板が上下に配置されたハースロールにより搬送される。炉内では銅板表面酸化層または圧延工程で生じた付着鉄粉が、還元・活性化し、Fe、Fe-Oxide(Fe_3O_4 , FeO 主体) またはその複合物がロール表面へ拡散または凝着し成長した鉄系のビルドアップ(以下BUと略)が生じる(Fig.4)。ロール表面に生じたBUは銅板の押し疵の原因となり、品質低下をもたらす(Fig.5)。

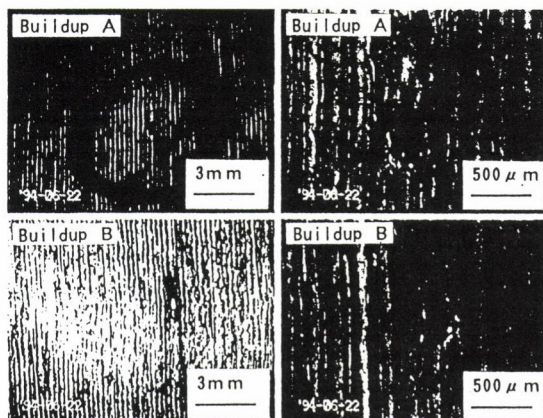


Fig.4. Examples of buildup formed on hearth rolls.

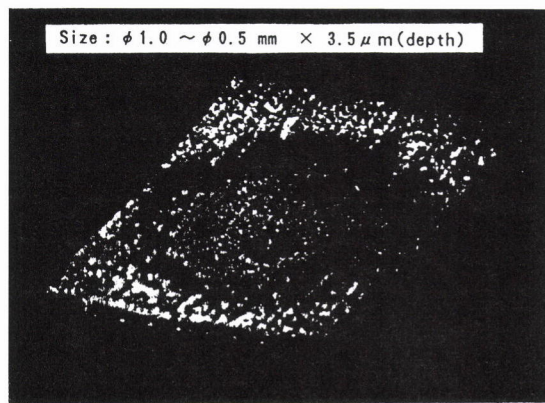


Fig.5. Example of dent caused by buildup on strip surface.

このためハースロールには耐熱・耐摩耗性と同時に耐BU性という特性が要求される。ハースロールへの溶射は、15年程前から実施されており、Fig.3に示すように、BU防止に大きな効果を上げている。主に用いられていた溶射材料は、 SiO_2 - ZrO_2 系セラミックスまたはMCrAlY系サーメットである。溶射皮膜寿命は、スポーリングや表面粗度低下により、それぞれ1.5年、3年程度の寿命で、メンテナンスコストや交換休止損失などの短寿命の問題があった。そこで当所ではこれ迄に、耐BU性を維持向上しつつ長寿命化を狙った溶射材料を開発し²⁾、爆発溶射法で実機化した。開発材料は、MCrAlY合金に Y_2O_3 微粒子をMechanical Alloying法で分散強化し、さらに硼化物セラミックスを複合させたものである。その性能評価結果をFig.6に、実機稼働状況をFig.7に示す。開発溶射ハースロールは、既に稼働6年目に入りつつあり、大幅な寿命延長により、メンテナンスコスト低減に貢献している³⁾。

連続焼鈍炉は、今後さらに生産性向上目的に、高速安定通板要求があり、銅板の蛇行やスリップ問題発生が必至で新たな表面機能が求められつつある。即ち、安定搬送に必要なグリップ力・摩擦係数の確保である。そこで現在高速通板シミュレーターにより、各種材料・表面性状の摩擦力速度依存性の評価⁴⁾を実施している。プロセス全体の機能向上には、多面的トライボロジー評価がますます重要になっている。

3.2 CGLシンクロール

連続溶融亜鉛メッキライン(CGL)では、460~500℃の溶融亜鉛ポット内に、シンクロール、シンクロール軸受、及びその支持部材など機械装置が配置されている。溶融亜鉛による著しい腐食を受け、軸受けは、腐食摩耗により極端に寿命が短く、2週間程度である。シンクロールは、摺動摩耗はないが、ロール表面が、亜鉛腐食により荒れ、メッキ銅板の押し疵の原因となるため、寿命が1~2ヶ月と短い。

ライン高機能化には、これらの課題に総合的に取り組む必要がある。軸受けは、Fig.8に示す亜鉛浴中軸受けシミュレータ

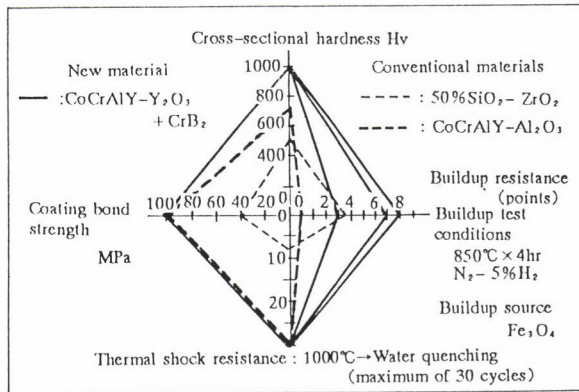


Fig.6. Performance of new hearth roll thermal spraying material.

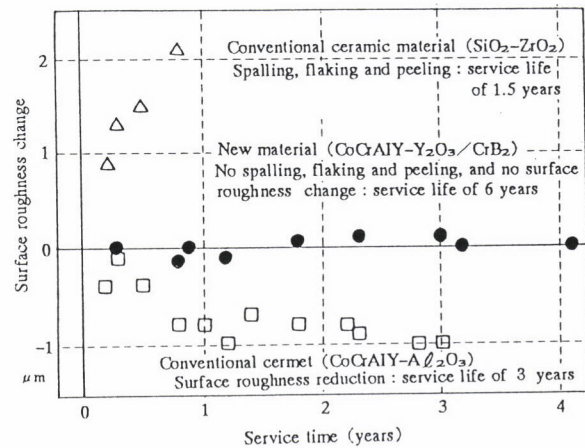


Fig.7. Service life of hearth rolls coated with new thermal spraying material.

ーにより、耐亜鉛腐食・耐摩耗の新材料開発と軸受摺動抵抗を低減する軸受を開発⁹⁾し、従来寿命の5倍に延命した。シンクロールは当初、耐剥離性からCo基自溶性合金(Co-SFA)やWC-Coを分散したCo基SFAが使用されてきたが、現在では溶浸漬前のロール予熱などの使用方法改善で、より亜鉛耐食性のよいWC-Co系サーメット材料を超音速系溶射機で溶射しているのが、主流である。しかし溶射皮膜の部分的微小剥離や亜鉛浴組成との相互拡散反応による合金層生成で製品疵発生問題があり、溶射皮膜寿命が1~2ヶ月と短い。当所では、これ迄の開発結果で、従来比2倍の寿命延長を達成している。ロール母材は、耐食性と皮膜膨張係数を考慮してマルテンサイト系ステンレスとし、溶射材料は皮膜膨張係数差を緩和するため複層とし、最表層に新規耐亜鉛耐食材料を配置している。現在、適用拡大中で、良好な結果を得ている。

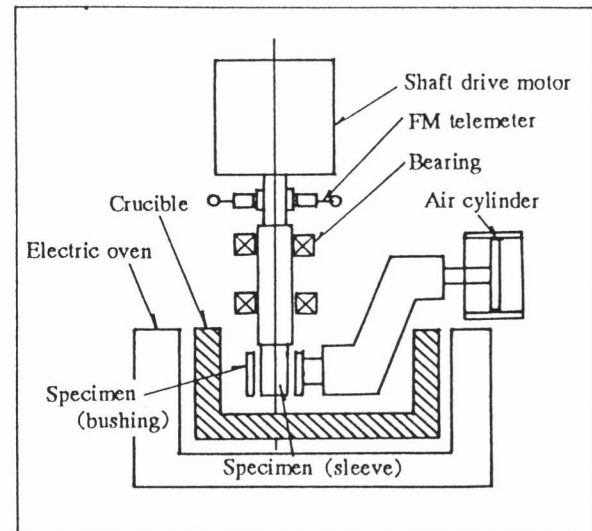


Fig.8. In-molten zinc bath sink roll bearing simulator.

3.3 CCモールド

連続鋳造設備(CC)の中の水冷銅板からなる鋳型は、凝固シェルとの摺動摩耗を受ける。シェルとモールド銅板間には、潤滑パウダーが投入されている。モールド銅板への耐摩耗溶射の課題は剥離防止で、Ni基自溶性合金(SFA)溶射が主流である。Ni基SFAは、従来のNiメッキに比べ5倍以上の長寿命効果をあげている。更に耐摩耗性向上を狙って、従来材料に、 Cr_3C_2 を分散複合化させた新溶射材料を開発⁹⁾し、適用推進中で、そのラボ性能評価方法および結果例をFig.9、Fig.10に示す。CCは、高速鋳造化による生産性向上やメンテナンスフリー化ニーズから、更に優れた高性能モールドが望まれており、CCパウダーをも含めたトライボロジーやFusingなどの溶射周辺技術の総合的取組みがより重要視されている。

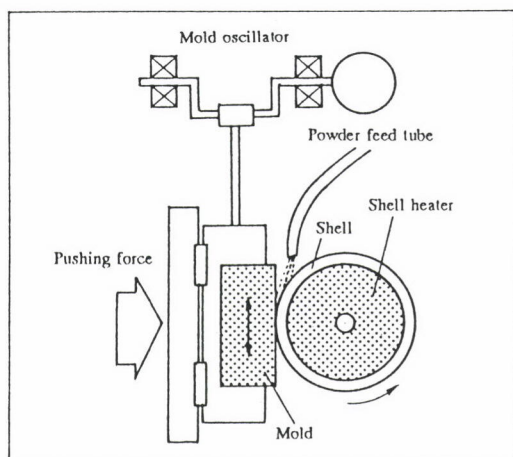


Fig.9. High-temperature mold wear simulator.

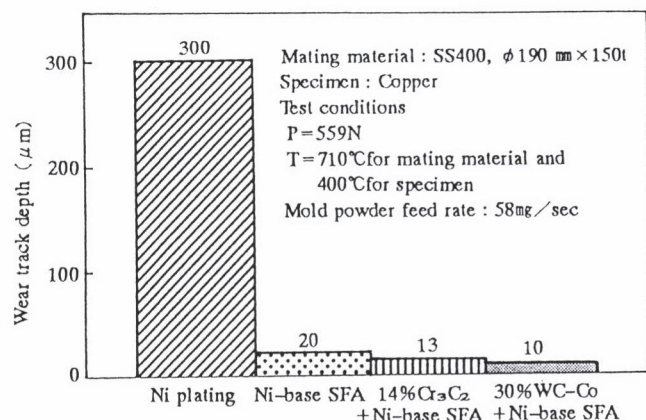


Fig.10. Wear track depth of high-temperature mold wear simulator.

3.4 ボイラーチューブ

石炭焚きボイラーでは、アッシュカットによるボイラーチューブの摩耗減肉が発生する。チューブ交換による設備休止は多大なデメリットが生じるためチューブ保護が、重要な課題である。摩耗対策は、高温環境から、Cr炭化物サーメット溶射が主流である。当所では、 $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-25NiCr}$ 材料の超音速系溶射機による現場溶射を実施している。膜厚は、 $200\mu\text{m}$ 以上で、総面積 53m^2 ($1.6\text{m}^2/1$ 箇所 $\times 33$ 箇所)の範囲である。溶射皮膜の摩耗速度は、平均 $30\mu\text{m}/\text{年}$ で、チューブ母材に比べ $1/10\sim 1/15$ に低減し、延命効果を発揮している。エネルギープラントの設備休止は、損失金額が膨大で大容量の迅速現場溶射施工技術がより重要となっている。

4. 溶射技術適用拡大の今後の方向と課題

更なる溶射技術の適用拡大・普及化を図るためには、①汎用技術化、②総合的アプローチ、③溶射適用周辺技術開発、④皮膜設計技術の確立等があげられる。

4.1 汎用化技術

今後適用対象を広げるには、徹底的なローコスト化と極厚溶射が課題である。溶射化が可能で効果が期待されながらイニシャルコスト高で投資回収年数が長く普及が進まない事例が数多くある。また摩耗速度は小さいが膜厚が薄く結果として対摩耗性が不十分な部位も数多くある。これらへの対応として当所では、溶射コストの半減、 1mm 越えの厚膜化を図り更なる溶射適用拡大中である。例えば、ロール以外の上工程の土砂摩耗部位で焼結工場の造粒粉鉱石のアブレッシブ摩耗を受けるシュートライナー、グリズリーバーなどや、含塵ガスのダストカットを受けるシンタリングファン、クーラーファンなどがある。

4.2 総合的アプローチ

事例に示したように、設備機能向上課題は、複雑困難な問題となっており、摩耗防止から摩擦制御などのトライボロジー的視点がより重要で、プロセスシミュレーターなどによる評価・解析技術と最適材料の開発、最適溶射装置の応用・施工条件最適化の三位一体で、プロセス全体課題に取り組む必要がある。

4.3 溶射周辺技術開発

溶射は、密着力が低いことが最大の欠点で、密着力を補完する周辺技術が求められる。例えば、Fusing技術を自溶性合金(SFA)から汎用材料へ拡大することや、無変形のFusing技術などがあげられる。また、最終表面加工技術もトライボロジー面から重要で、新たなSurface Texturing 技術が必要となっている。例えば、既にレーザー彫刻などの技術が出現しているが溶射皮膜変質問題から酸化物溶射皮膜が対象となっており、溶射材料に制限がなく、かつ安価に実現できることが必要である。

4.4 皮膜設計

応用課題として皮膜設計技術の確立もあげられる。皮膜品質の信頼性が低いことや皮膜物性・機械的性質の解明が不十分である。同じ材料成分でも溶射粉末形態や溶射機種で皮膜品質が大きく異なり、更にそれを規格化や品質保証できていない。加えて試料調整が困難なこともあって、皮膜物性や機械的性質のデータ蓄積・公開ができていない。また従来より指摘されてきた皮膜の非破壊検査技術確立も信頼性を高めるために不可欠な技術で早急な技術確立が求められる。

5. 結言

機械装置の表面機能化を行う溶射技術は、生産設備に不可欠なキーテクノロジーとなっており、今後益々進歩発展していくものと確信している。

文献

- 1) 四阿佳昭, 大堀潤二, 森英朗, 三輪英一, 酒井恒蔵, 林篤: 鉄と鋼, 72 (1986), S1023
- 2) 澤雅明, 大堀潤二, 佐藤信治, 白井勝之, 河村伸彦: 材料とプロセス, 4 (1991), p.1576
- 3) 澤雅明, 大堀潤二, 佐藤信治, 白井勝之, 内山輝之: トライボロジー会議 (1994), p.815
- 4) 小寺孝正, 田中康治: トライボロジー会議 (1994), p.371
- 5) 澤雅明, 大堀潤二, 津村康浩: トライボロジー会議 (1994), p.765
- 6) 森英朗, 岩崎好孝, 大堀潤二: ITC, (1990), p.1749