

表面被覆による設備長寿命化について

About the Lifelong Duration of Equipment by a Surface Coating

山田昌寿* Masatoshi YAMADA	内山輝之 Teruyuki UCHIYAMA	司城浩一 Koichi SHIJO	早苗武士 Takeshi SANAE
李ユ Yu LI	津田健太郎 Kentaro TSUDA	柳生好二 Koji YAGYU	

抄 録

製鉄設備に使用しているロールや各種部材は、各工程における使用環境による損耗が激しく交換寿命や製品品質への影響が大きい。そこでロール、各種部材は溶接、溶射による表面改質技術が適用されている。その結果、各種製品の品質向上ならびに設備の長寿命化等によるトータルコスト削減に大きな成果が得られている。溶接、溶射による表面改質技術は産業の発展に貢献しており、鉄鋼製品の生産に必要な不可欠なものとなっている。製鉄設備のロールの溶接、溶射による表面改質技術適用例を紹介する。

Abstract

The service life and production quality are greatly influenced by the performance of the rolls and other factory components in the iron factory. However, the traditional rolls and some components deteriorate severely due to the harsh environment of iron-steel mill. To improve the life time of the components and reduce the production cost, the surface modification technology based on the overlaying welding and thermal spray technology are applied in iron manufacture industry. As a result, the total cost reduction and the improvement of production quality are achieved through the application of the overlaying welding and thermal spray surface modification technology. These surface modification technologies greatly contribute to the development of modern industry, and became necessary to iron manufacture process. In this paper, some application examples of the overlaying welding and thermal spray technology applied as the surface modification of rolls in iron factory are introduced.

1. 緒 言

溶接、溶射による表面改質コーティングは、耐腐食性、耐摩耗性等の特性の大幅な向上を見込むことができるが、適用環境に応じた材料設計・選択が重要となる。現在、製鉄設備に使用されるロールや各種部材への溶接・溶射適用が進み、製品品質向上に不可欠な技術となっている適用部位の内、製鋼/連続铸造(CC)ロール、熱間圧延(熱延)/ダウンコイラーロール、ランナウトテーブルロール、冷間圧延(冷延)・連続溶融亜鉛めっきライン(CGL)/浴中ロール、炉内ロールにおける表面改質技術について紹介する。

2. 表面改質技術

2.1 連続铸造設備フート、サポートロール

連続铸造設備の上部で使用される小径及び分割ロールは

熱負荷が大きく、高温環境下での摩耗、熱亀裂や腐食などの損耗が激しい。そのため、それら損耗の対策が大きな課題となっていた。従来は13Cr系、17Cr-4Ni系肉盛溶接材料が使用されていたが、長寿命化対策として熱間特性が優れているNi基合金系肉盛材料“NCA-050”を開発し適用している。NCA-050の特徴として次の2点が挙げられる。

- ① 耐食性、耐酸化性に優れる
 - ② 高温環境下における耐摩耗性に優れる
- これらの特徴について以下に説明する。

① 耐食性、耐酸化性

NCA-050はNi基合金であることから、耐食性を向上させる元素を多く含んでいる。そのため、優れた耐食性と耐酸化性が得られている。耐食性の評価条件を表1に、試験結果を図1に示す。従来材の13Cr系肉盛溶接材料は単位面積当たりの腐食減量が試験時間100hにおいて約5.0mg/mm²であるのに対して、NCA-050では13Cr系材料の

表1 耐食性評価試験条件
Conditions of corrosion-resisting evaluation test

Corrosion solution	5% solution of hydrofluoric acid (corrosion solution exchanged every 24 hours.)
Temperature	Room temperature
Time	100 hours
Evaluation	Mass loss

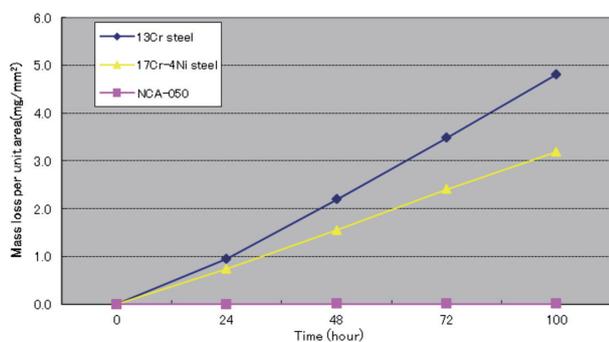


図1 耐食性評価試験結果
Result of corrosion-resisting test

1/500 と腐食減量が大幅に減少している。このことから NCA-050 は従来材と比較して極めて高い耐ふっ素腐食性を有している。

② 高温環境下における耐摩耗性

NCA-050 の引張強度、0.2%耐力測定結果を図2に示す。また、高温硬さ測定結果を図3に示す。なお、比較のために従来材（13Cr系、17Cr-4Ni系）の測定結果も併せて示している。NCA-050 はNi固溶体基体（ γ 相）中に析出したNi₃Al規則格子相（ γ' 相）をはじめとした複数の金属間化合物が分散、析出している材料であるため、高温強度、高温硬さが高く、高温域における各特性に優れている。図2、図3より、NCA-050 は従来材に比べ高温での高い引張強度、降伏応力、硬度を有していることがわかる。従って、高温における耐摩耗性に優れている。

以上のことから、NCA-050 はCC上部で使用されるフット・サポートロールに要求される特性に対し、従来材に比べ大幅に改善されており、実機ロールにおいても従来材に比べ寿命が向上している。

2.2 熱延工場ランナウトテーブルロール

熱延工場ランナウトテーブルは、仕上げ圧延後の鋼板を巻取設備（ダウンコイラー）まで搬送する設備であり、設置された水冷ヘッダーにより鋼板の冷却速度を制御し、鋼板の特性が決まる。搬送用のランナウトテーブルロールは冷却水による湿潤環境かつ、高温の薄板を高速で搬送する環境で使用されるため、摩耗、腐食などの損耗が激しく、また焼付きによる鋼板品質への影響が問題とされる。従来は高Cr 鋳鉄系ロールが使用されていたが、摩耗損耗が大きく、焼付きによる手入れが必要であった。近年、耐摩耗

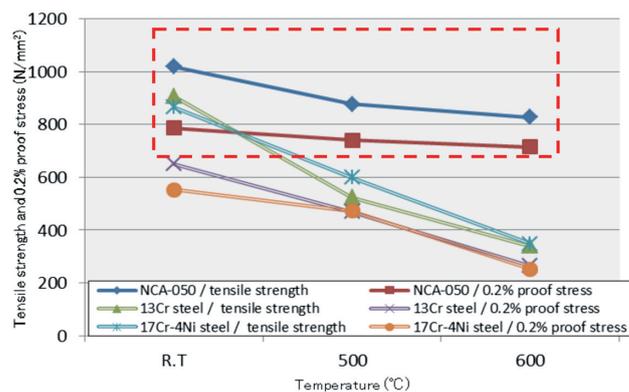


図2 引張強度及び0.2%耐力測定結果
Result of tensile strength and 0.2% yield stress test

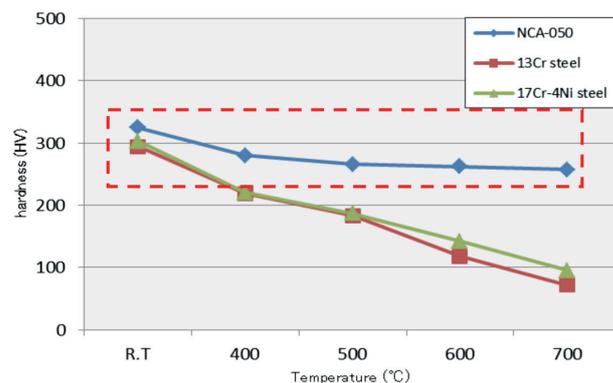


図3 高温硬さ測定結果
Result of hardness test at high temperature

性及び耐焼付き性向上を目的として、ランナウトテーブルロールへのNi基自溶合金溶射適用が試みられたが、従来鋳鋼ロールに比較して摩擦係数が低く、鋼板スリップを生じやすい問題があった。

そこで最適量のFeを配合することにより、摩擦係数が従来の高Cr 鋳鉄ロールと同等であり、鋼板スリップ問題を解決した“N-11”溶射皮膜を開発し、溶射ランナウトテーブルロールの実用化に成功した。N-11溶射の適用により、以下のメリットが得られている（図4、図5）。

- ①耐摩耗、耐食特性に優れ、長期間の使用において摩耗、腐食によるロール外径プロフィール変化が少なくパスラインの安定保持が可能であり、かつ鋼板スリップしにくいいため、薄手材のスレッチングスピードが向上し生産性が向上
- ②Ni系合金溶射皮膜のため、鋼板との耐焼付き性に優れ、焼付き除去のためのロール手入れ時間、回数が少なくてすむため、メンテナンスフリー化に寄与
- ③ロールシェルの薄肉化により、ロール重量及び、慣性モーメント（GD₂）の低減によりモーター負荷、電力コストの削減が可能

ランナウトテーブルロールへのN-11溶射ロール適用は2000年頃より本格化し、現在、多数のラインにて採用され

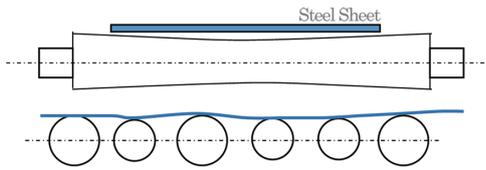


図4 従来鋳鋼ロール
 摩耗によるプロフィール変化とロール間との径差が生じやすく、パスラインを保つことができない
 Conventional cast-iron rolls

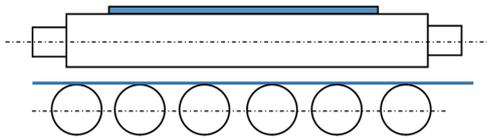


図5 N-11 溶射ロール
 長期操業での摩耗が少ないため、外径が一定でパスラインを一定に保持でき、メンテナンスフリー化が可能
 N-11 thermal spraying roll

ている。一例として熱延工場ランナウトテーブルロールの摩耗量を図6に示す。従来の高Cr 鋳鉄ロールに比較して約10倍の耐摩耗性を示した。また2000年代初期にオンラインされた一部ロールについては10年以上継続使用されている。N-11は多数の適用実績があるが、一部ディスクロールを装備するサイドガイド設置セクションにおいては、押し付け力により鋼板エッジ部が反るため、局所的なエッジ摩耗が生じて、短寿命となるケースが報告されている。現在、このようなセクションの更なるロール寿命延長を図るために耐摩耗性向上溶射皮膜の開発も行っている。

2.3 熱延工場ダウンコイラーロール

熱延工場ダウンコイラーロールは、圧延材の高張力鋼化や高品質化、更に生産性向上に伴う高速化等、熱延操業条件が厳しくなり、より高性能なロールが要求されている(図7)。上下ピンチロールにおいて従来は硬化肉盛溶接ロール(Cr-Mo系)を使用していたが、ロール摩耗による早期の定期取り替えが必要となっており、ロールプロフィール形状が崩れることによるコイル巻形状不良、鋼板の焼付きによる鋼板品質への影響が問題となっていた。これらの問題を解決するため、従来のロールに替わる画期的な長寿命化かつ鋼板品質を維持し続けるロール“SFW-10”を開発し適用した結果、これらの問題を飛躍的に改善させた。

仕上げ圧延機より排出された熱延鋼板は高温高速で図7に示す上・下ピンチロール部に突入し、下部にあるコイラーに向かって方向を変え巻き取られる。巻取設備は高速で搬送される鋼板をスムーズに巻き取るため、仕上げ圧延機、上・下ピンチロール及びラッパーロールのそれぞれ間で速度差(周速差)を持たせ各設備間で張力を保つようにしており、この周速差によるスリップにより摩耗及び焼付きが発生する。また、ロール圧下と鋼板衝突による重衝撃及

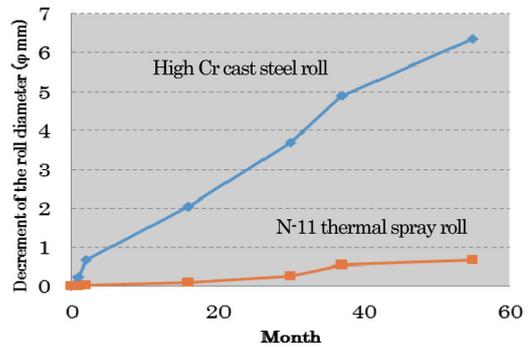


図6 N-11 溶射ロールの摩耗量の一例
 Example of amount of abrasion at N-11 thermal spraying roll

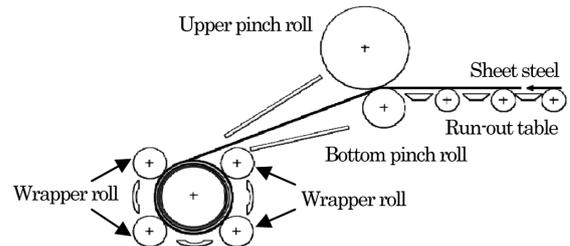


図7 熱延工場ダウンコイラーロール
 Down coiler roll at hot strip mill

び鋼板からの熱衝撃を受ける過酷な環境である。

このような過酷な環境下で、画期的な長寿命化かつ鋼板品質を維持し続けるロールは鋼系では困難であり、自溶合金に炭化物を分散したSFW-10を開発した。SFW-10をダウンコイラーロールに適用するために開発した技術について説明する。

① 超耐摩耗材

耐摩耗、耐腐食特性に優れた自溶合金に炭化物を分散させた材料を採用した。自溶合金溶射は比較的脆いため熱衝撃によるヒートクラック、衝撃による微小剥離、摩耗の促進などを抑制した材料を開発した。

② 耐機械的衝撃性に優れたロール

自溶合金材料は比較的脆く、機械的衝撃に対して破壊抵抗性に乏しいため、溶射皮膜を強力に支える下地層として硬化肉盛を施している。

③ 耐焼付き性材

普通鋼及び、Ni系、Cr系ステンレス鋼、Ti材においても耐焼付き性に優れている。

④ 大径中空ロールの製造技術

従来下ピンチロールサイズ(400~500mm径)の施工が限界であったが、上ピンチロールサイズ(920mm径)の施工技術を開発した(図8)。

SFW-10を実機使用した結果、従来硬化肉盛ロールに比べ耐摩耗性が約10~15倍、取替周期が最大10倍以上に延長され、摩耗量減少によりロールプロフィールが維持され操業安定性が向上された。また、焼付きによるロール手

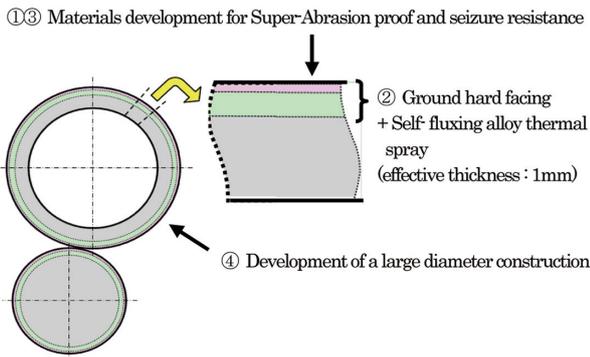


図8 上下ピンチロールの断面
Section of a pinch roll

入れがほとんどなくなった。SFW-10は、熱延工場の巻取設備用ロールにおいて高い性能を発揮し、現在国内外多くの製鉄所で使用されている。現在各製鉄所の使用条件に合った材料を開発し適用されており、更なる開発を進めている。

2.4 連続焼鈍炉ハースロール

連続焼鈍ライン (CAPL)、CGLの連続焼鈍炉では、高温の還元雰囲気下でハースロールにより鋼板が搬送されている。現在、鋼板表面に発生するFe及びMn酸化物が、ロール表面に付着し、反応を起こし、ビルドアップが発生することが問題となっている (図9)。ロール表面に発生したビルドアップは鋼板への押疵や表面粗さの低下といった問題の原因となる。その対策として、耐熱合金とセラミックスからなるサーメット材料の溶射皮膜が適用されている。

日鉄住金ハード(株)ではこの問題の対策として、従来材料よりも耐Mnビルドアップ性に優れたサーメット溶射材料“HG-360M2”を開発、実用化した。HG-360M2は、ロール表面に付着したMnとの反応を抑制することを目的とした溶射材料である。図10は溶射皮膜とMnとの反応性を評価した結果である。従来材料では、溶射皮膜表面にMnが付着、反応しており、一部でMnが濃化していることがわかる。対してHG-360M2は、溶射皮膜表面にMnの濃化は認められず、従来材料よりも良好な結果となっている。HG-360M2溶射皮膜を実用化したことで、ハースロール表面におけるビルドアップが抑制され、従来材に比較して長期間使用することが可能となった。

今後、連続焼鈍炉ハースロールにおいては、通板材の超高張力化や、使用環境の変化により、更なる耐ビルドアップ性能が求められており、溶射皮膜材料の改善が必要となっている。これらの状況に対して、ビルドアップ抑制のため溶射皮膜は、付着したFe・Mnと反応しないまたは付着しにくい性質、更には付着しても成長せずに剥離する性質等が必要であり、ビルドアップ現象の詳細な解析が重要となる。現在、耐Mn反応性により、優れたサーメット溶射材料の開発に取り組んでいる。

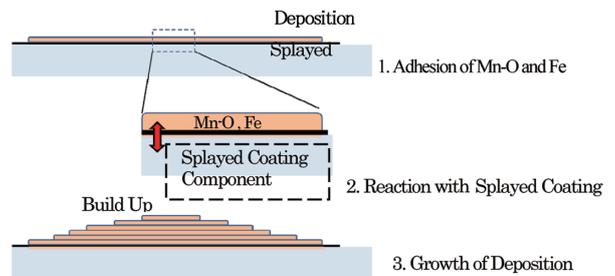


図9 ハースロールビルドアップ問題
Problem of build up for hearth roll

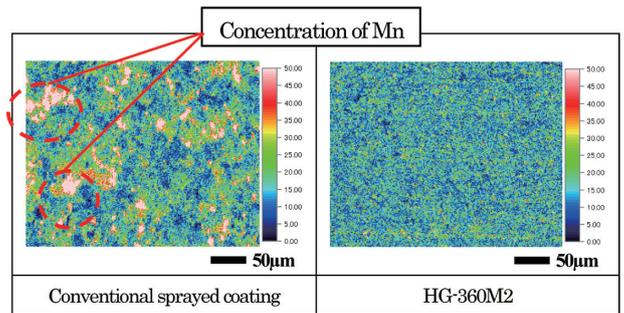


図10 Mn反応評価試験結果
Result of Mn reaction test

2.5 溶融亜鉛めっきロール溶射皮膜 HG-204N

CGLは、鋼板の表面に亜鉛の被膜を作ることによって、鋼板の耐腐食性を高めることを目的とした製造ラインである。日鉄住金ハードの溶射技術は高品質の連続亜鉛めっき鋼板製造に貢献している。溶融亜鉛めっき鋼板の品質に大きな影響を及ぼすのは浴中ロール (図11にシンクロールとサポートロールを示す)である。1980年代以後、WC-Co系サーメット溶射ロールがSUS316などの耐食素材に比較して優れた耐摩耗性及び耐腐食性を持つため、国内の浴中亜鉛めっき用ロールには、ほぼ溶射ロールが採用されている。

従来仕様のWC-Co系溶射ロールでは、Coの溶出や脆弱な Co_3W_3C (η 相)と W_2C の生成などの問題が連続長期間使用のネックとなっている。上記の問題を解決するため、硼化物系サーメット溶射皮膜“HG-204N”を開発した。HG-204Nは、複硼化物系溶射皮膜組成で、従来のWC-Co系溶射皮膜に比較して、耐Zn浸食性及び耐高温割れ性、耐摩耗性に優れた皮膜特性を持たせることに成功した。図12にWC-Co系サーメット溶射皮膜及びHG-204NのZn浸漬試験結果を示す。72時間のZn浸漬にてWC-Co系溶射皮膜は、浸漬範囲の半分程度に溶損が発生したが、HG-204Nでは溶融Znに均一に濡れ、溶射皮膜は健全な状態であった。

一方、亜鉛めっき過程に多発するドロス巻き問題²⁾に対して、HG-204Nは溶射皮膜の溶出を最小限に抑制することで、溶射皮膜近傍における浴成分の変化を防止し、浴の流動性を維持することが可能であるため、亜鉛めっき浴中においてドロスが溶射皮膜表面に付着しにくい、またはドロ

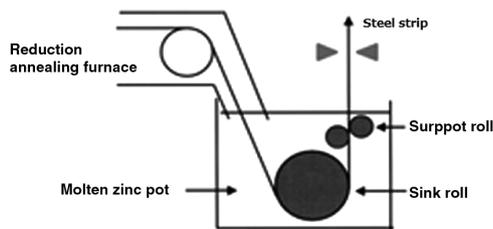


図 11 CGL の浴中ロール位置模式図
Position of sink roll and support roll in the molten zinc pot

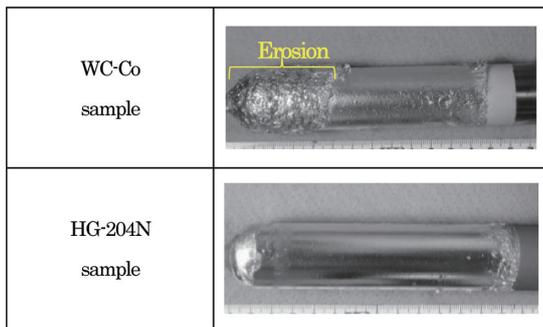


図 12 72 時間 450°C -100% Zn 浸漬試験結果
Result of molten zinc corrosion test (723K, 100%Zn, 72 hours)

スが溶射皮膜に付着しても機械的に除去しやすい特性を持つ。

今後、各製鉄所と共同で更なる品質向上及び、長期間連続操業可能な溶射ロールの開発に取り組んでゆく。

3. 結 言

製鉄技術の技術革新に伴い、ロール等の製鉄設備に要求される特性も常に変化している。長寿命化による整備費コストダウンへの貢献はもちろんのこと、薄板の高張力化など鉄鋼製品の高機能化、高品質化による操業の変化に応じた表面改質技術が必要となっており、材料開発に終わりは

ない。操業の変化に伴い生じる現象を的確に把握し、それに適した材料開発と開発スピードが重要となる。開発サイクルの長期化はニーズの変化に追いつけず、新材料を製品化しても陳腐化する場合があるため、効率的な材料開発体制、及び開発手法の確立を進めてゆく。

参考文献

- 1) 日本溶射協会：溶射技術入門. p. 218
- 2) 大石直樹, 四阿佳昭, 栗栖泰, 和田和実, 石森裕一：新日鉄技報. (391), 115 (2011)



山田昌寿 Masatoshi YAMADA
日鉄住金ハード(株)
常務取締役 生産技術部長
東京都江東区亀戸6-26-5 〒136-0071



李 ユ Yu LI
日鉄住金ハード(株)
技術開発部 課長 工学博士



内山輝之 Teruyuki UCHIYAMA
日鉄住金ハード(株)
常務取締役 技術開発部長



津田健太郎 Kentaro TSUDA
日鉄住金ハード(株)
技術開発部



司城浩一 Koichi SHIJO
日鉄住金ハード(株)
技術開発部 部長



柳生好二 Koji YAGYU
日鉄住金ハード(株)
技術開発部



早苗武士 Takeshi SANAE
日鉄住金ハード(株)
技術開発部 次長