

連続溶融めっき鋼板製造ライン用 大型セラミックスロールの開発



濱吉 繁幸



小川 衛介

日立金属(株)



清水健一郎



野田 尚昭

九州工業大学



岸 和司

(独)産業技術
総合研究所



古賀 慎一

日新製鋼(株)

連続溶融めっき鋼板製造ラインのめっき浴中ロールにおいて、従来のステンレスロールの課題である高温環境下での溶損、摩耗の問題を解決するため、構造用セラミックスとしては超大型のオールセラミックスロールを世界に先駆けて開発した。

1. はじめに

めっき鋼板は、防錆を目的として鋼板にめっきを施したものであり、建築、家電、自動車等の用途に幅広く使用されている。さらに近年、新興国での飛躍的な鋼板需要の増加に伴い、自動車向けを中心とするめっき鋼板市場は、ますます拡大する傾向にある。こうした中、多くの鉄鋼メーカーでは、国際的な競争激化に対応すべく、生産性向上に対するニーズが高くなっており、とりわけ高級めっき鋼板の生産性向上に力を注いでいる。さらに、地球温暖化対策として省エネ、省資源化志向が強まっていることも、生産性向上のニーズを高めている。

連続溶融めっき鋼板製造ラインの生産性向上策として、具体的には、連続操業日数延長、ラインスピード向上、品質安定化等が挙げられるが、大きな阻害要因となっているのが浴中ロール(サポートロール、シンクロール)である。そこで日立金属、九州工業大学、産業技術総合研究所、日新製鋼からなる研究グループは、浴中ロールの耐食性や耐摩耗性等を向上させ、生産性向上に大きく寄与するため、浴中ロールをオールセラミックス化する研究に着手した。

図1に連続溶融めっき鋼板製造ラインおよびめっき浴中のレイアウトを示す。めっき浴種としては、亜鉛(Zn)-アルミニウム(Al)合金めっき、アルミ

ニウム(Al)-シリコン(Si)合金めっきに大別される。なお、Zn-Al合金は、Znに0.1~0.2wt%のAlを含有したものが最も生産量が多く、他に55wt%のAlを含有しためっき等がある。

本報では、構造用セラミックスとしては、他に類を見ない超大型である浴中ロールを、世界に先駆けて製品化した事例について報告する。

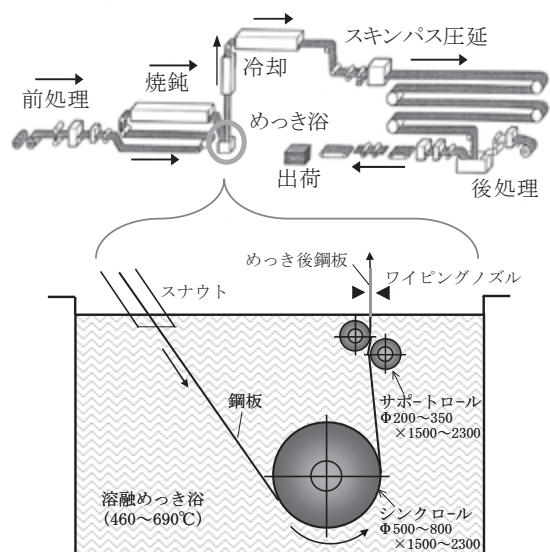


図1 連続溶融めっき鋼板製造ラインおよびめっき浴中レイアウト

2. 従来の浴中ロールの問題点

図2に示すように、従来の浴中ロールには、ステンレス鋼の表面にWC・Co系材料を溶射したものが主に使用されており、以下の問題点がある。

- (1) めっき浴との反応により、溶損や合金化が発生し、ドロスも付着しやすい。
- (2) 胴部や軸部の摺動部が早期に摩耗する。
- (3) 溶射層と母材であるステンレス鋼との熱膨張差に起因して溶射層の剥離が生じる。
- (4) 熱変形による曲がりが生じる。
- (5) 塩酸や硫酸等に弱いため、酸洗によるメンテナンス再使用が難しい。

以上のような問題点により、浴中ロールの連続使用期間が長くなるにつれ、鋼板のキズ、振動模様、めっき厚みむら等の品質的問題が顕著になるため、短期間でのロール交換や改削・再溶射を余儀なくされており、コスト増加や生産

性阻害の要因となっている。

ロールの交換頻度は、通常2週間に1回程度であり、その都度ラインを長時間停止せねばならず、停止前後にダミー鋼板(スクラップにする鋼板)を通す必要があること等、むだが発生している。

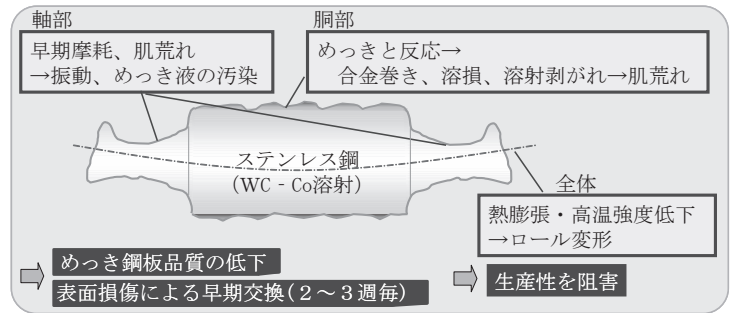


図2 従来の浴中ロールの問題点

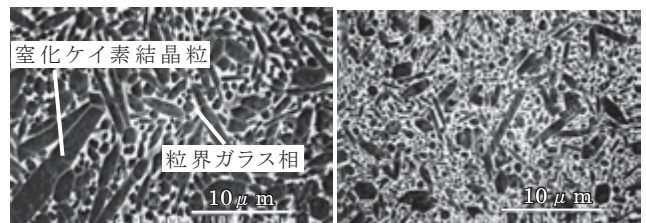
3. 開発技術

本セラミックスロールは、鋼板が接する胴体部と軸受が接する軸部に分割して製造後、接合により一体化する構造としたものであり、セラミックス材質開発、構造解析による安全性の評価、大型品の焼結、加工技術とセラミックス同士を接合する組立技術を駆使することにより実現できた。

3.1 適用材質

今回浴中ロール用に開発した高強度耐熱衝撃型セラミックス(以降、開発材と称す)および構造用セラミックス材として広く適用されているサイアロンの材料特性を表1、組織写真を写真1に示す。また、種々のセラミックス材料の中で、耐熱衝撃性および強度面における開発材の位置付けを図3に示す。開発材は、強度、破壊靱性、耐熱衝撃性などの点で優れており、セラミックスの中では浴中ロールに適した材料と考えることができる。写真1に見られるよ

うに、アスペクト比を高めた結晶粒が熱伝導率を高め、耐熱衝撃性の向上に大きく寄与している。



開発材

サイアロン

写真1 開発材の組織写真

表1 開発材の特性

特性		開発材	サイアロン
曲げ強度	MPa	1050	880
破壊靱性	MPa m ^{1/2}	7.7	7.5
熱膨張係数	× 10 ⁻⁶ /°C	3.0	3.0
熱伝導率	W/m K	65	17
耐熱衝撃性	°C (ΔT)	1000	710

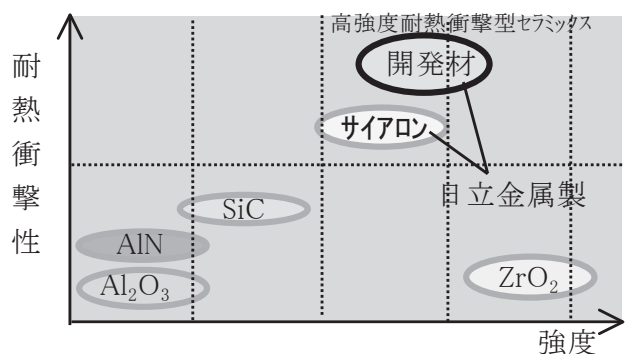


図3 開発材の位置付け

写真2に耐熱衝撃性試験結果を示す。800℃に加熱した試験片を水中急冷した場合、サイアロンには亀甲状の亀裂が発生したのに対し、開発材には亀裂の発生はなかった。

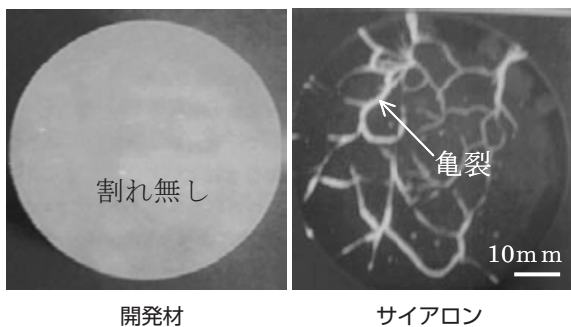


写真2 耐熱衝撃性試験結果（蛍光探傷写真）
（ $\Delta T=800^{\circ}\text{C}$ 水中急冷試験、試験片寸法： $\phi 60 \times 20\text{ t}$ ）

3.2 構造設計

図4に大型セラミックスロールの構造例を示す。サポートロールは、鋼板の表面品質に与える影響が大きいことから、胴部には継ぎ目を設けない単体構造とし、両端に軸とスラスト受けを接合している。シンクロールは、胴部を分割し、分割した胴部同士をインナーリングで接合し、さらに両端に軸とスラスト受けを接合した構造としている。

軸部およびスラスト受け部は、軸受等による摺動摩擦のため、比較的短い周期での取替えが必要となる。従って、前記の様に各パーツに分割することにより、パーツ毎の取替えを可能とした。

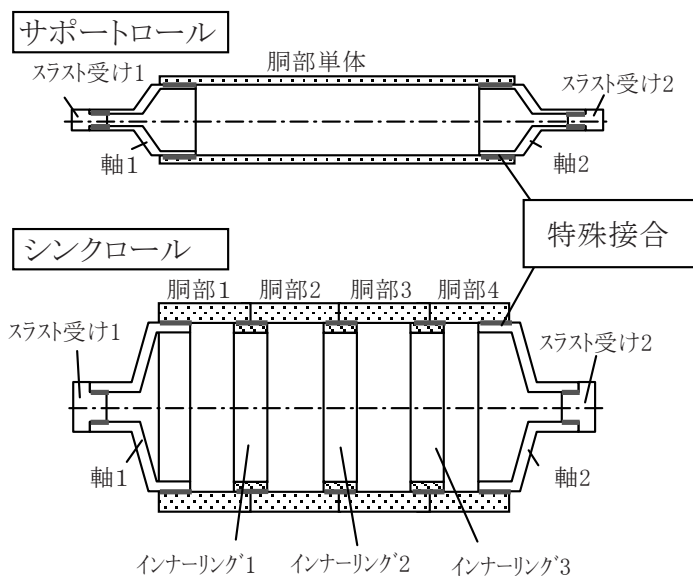


図4 構造の概略図

強度設計に関しては、めっき浴中に浸漬する際の熱衝撃や操業中に鋼板から受ける荷重を考慮し、耐用可否および構造上の問題点をFEM解析による検討を行い、実機使用に耐用可能であることを確認した。操業中に受ける荷重解析の一例を以下に示す。

胴径530×胴長1500mmのシンクロールに関するFEM解析条件およびその結果を図5および図6に示す。解析は、実在するラインの中でも、最大級の過酷な荷重条件にて行った。引張応力が集中する部分は、胴部中央部および胴端の接合部である。その値は、材料強度より十分な安全率を有することを確認した。

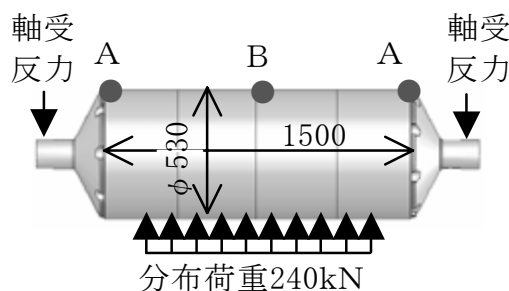


図5 強度計算条件

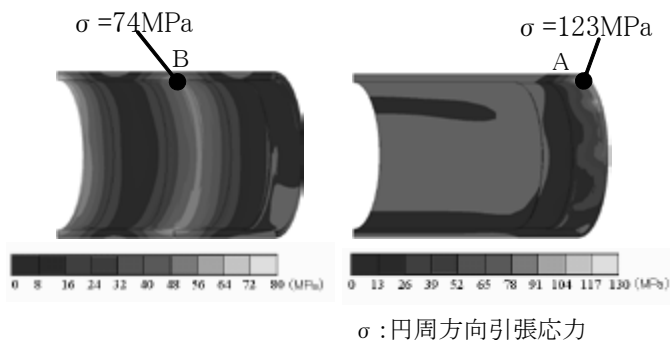


図6 FEM解析結果
（図5のA、B点における胴部内面側視野）

3.3 耐食性試験

セラミックスロールのめっき浴中における劣化挙動を確認するため、熔融Zn-Al合金および熔融Al-Si合金浴中での浸漬試験を実施した。

評価材には、従来の浴中ロール材であるステンレス鋼(SUS316)にWC-Co溶射を施したもの（以降、従来材と称す）、開発材、さらに評価を早期に完了すべく、本開発材の製作に先立ち、耐食性に関しては開発材と同様の性質を有することが明白な市販の窒化ケイ素材を一部開発材の代わりに用いた。

試験方法としては、熔融したZn-Al合金およびAl-Si合金に、棒状の試験片を約10mmの深さまで浸漬した後、外観と断面を観察評価した。

まず、Zn-Al 合金に対する評価を実施した。試験片を 490℃ の Zn-0.2wt% Al 浴中へ 45 時間浸漬した後、溶湯中より取り出した開発材外観および従来材断面を写真 3 に示す。開発材は、付着しためっきが簡単に除去でき、表面を観察した結果、全く反応していないことを確認した。一方、従来材は、溶射層のみならずステンレス鋼母材の部分まで大きく浸食されていることが観察された。そもそもステンレス鋼は溶融 Zn や溶融 Al に腐食され易い性質を持っているため、実機においても、同様の現象により浸食が加速度的に進行することが考えられる。従来材のロールは常にこの問題を抱えており、実際に頻繁な交換を余儀なくされている。

次に Al-Si 合金に対する浸漬試験を実施した。写真 4 に 700℃ の Al-9wt% Si 浴へ 25 時間浸漬した後の開発材表面および市販の窒化ケイ素材断面を示す。開発材は、溶湯中から取り出すと僅かにめっきの付着が見られるが、簡単に除去できた。さらに市販の窒化ケイ素材と共に合金との反応層も見られず、浸食は全く起こっていない。一方、従来材は、溶射層に亀裂が生じて剥離しており、母材が大きく浸食された。前記の Zn-Al 合金より高温であるため、母材と溶射層との熱膨張差が影響しているものと考えられる。

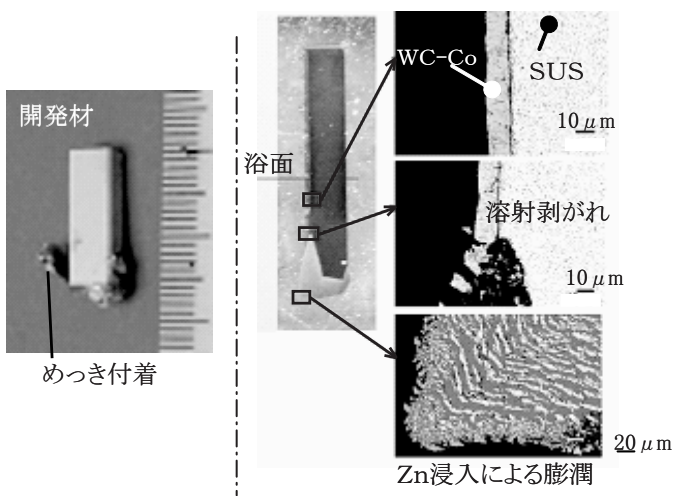


写真 3 浸漬試験後の開発材外観（左）および WC-Co 溶射材断面（右）
(Zn-0.2Al, 490℃ 45h 浸漬後)

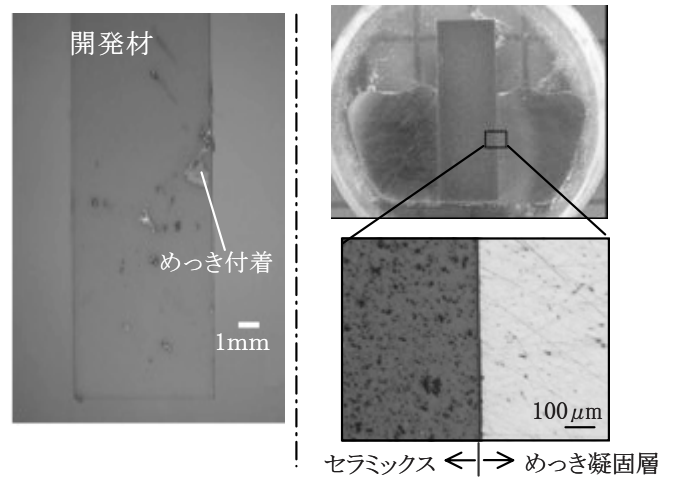


写真 4 浸漬試験後の開発材表面（左）および市販の窒化ケイ素材断面（右）
(Al-9Si, 700℃ 25h 浸漬後)

4. 実機ライン評価

写真 5 に完成したサポートロールとシンクロールの外観写真を示す。

サポートロールについては、これまでに 10 本以上を市場に投入しており、長期耐久性能を評価中である。初期に Zn-Al 合金めっきラインに投入したサポートロールは、使用日数が延べ 90 週を超えており、胴部および軸部の摩耗状況は、図 7 に示すように、長期に亘って溶損もなく殆ど摩耗していない。また、胴部の表面粗さについても投入初期の状態を保っていることを確認している。

シンクロールは、浴温が最も過酷な Al-Si 合金めっきラインにて評価を行った。ライン条件は、板厚 0.3 ~ 1.6mm、板幅 682 ~ 1,227mm、ラインス

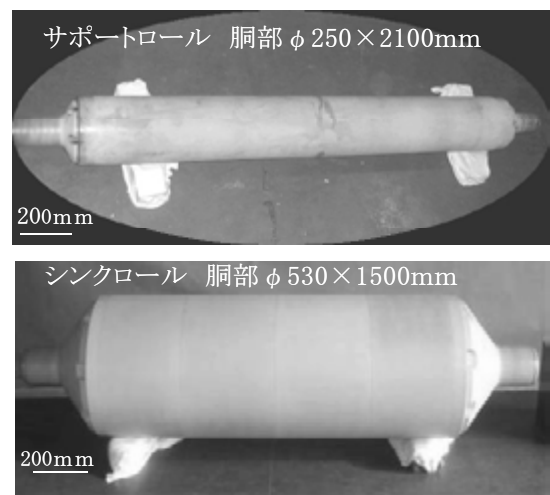


写真 5 オールセラミックスロールの外観写真

ピード最大 120m/min、鋼板張力最大 19kN
である。

その評価結果を表 2 に示す。全ての項目
において高い評価を得ており、現在、長期
性能を評価中である。

表 2 シンクロロールの実機評価結果

	評価項目	評価結果	
浸漬	浸漬時の熱衝撃割れ	無し	○
運転	板荷重による折損	無し	○
	ロール回転性	問題なし	○
	振動	問題なし	○
	ドロス (合金) 巻き	問題なし	○
	板の品質	問題なし	○
引き上げ後	ロール溶損、摩耗、肌荒れ	無し	○
	ロール損傷	無し	○
	ロール外観	問題なし	○

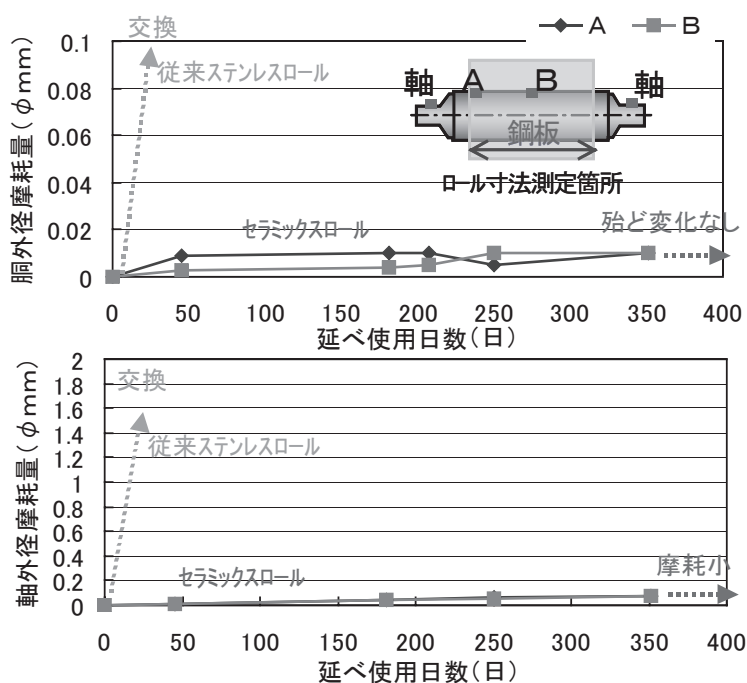


図 7 セラミックス製サポートロールの摩耗状況

5. おわりに

当研究グループでは、連続溶融めっき鋼板製造ラインにおける浴中ロールをセラミックス化するために、各方面からの研究開発を系統的に進め、先行して市場展開しているサポートロールに次いで、シンクロロールの製造も可能となり、世界に先駆けてオールセラミックス化を実現した。

連続溶融めっき鋼板製造ラインは、世界全体で約 550 ライン (国内約 55 ライン) があり、新興国を中心にさらに増加傾向である。

今後、グローバル展開を進め、製造技術を高め、めっき鋼板の生産性や品質の向上、省エネ、省資源に貢献できれば幸甚である。

日立金属株式会社
セラミックス事業推進部 ひびき製造部
〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町 1-100
TEL. 093-751-1867 FAX. 093-751-1884
<http://www.hitachi-metals.co.jp/>