

## CPC法で製造した厚板ホットレベラーロールの新材質特性

New Materials Characteristics of Hot Leveler Roll Produced by CPC Process



技術開発センター室長

姜 孝京

Hyo-Gyoung Kang

技術開発センター係長

園田 晃大

Akio Sonoda

技術開発センターセンター長

永吉 英昭

Hideaki Nagayoshi

### 要 旨

最近、厚板ホットレベラーロールへの負荷の増大及び補修コスト削減のため、従来品に変わる新しい材質ロールの開発が望まれている。当社は既存の肉盛溶接品とは品質やコスト面で完全差別可能な以下の特徴を持つ厚板ホットレベラーロールの新材質を開発した。新材質の耐腐食性と高温酸化性は従来材に比べそれぞれ4倍と6倍以上優れ、2倍以上の高寿命が期待できる。また、耐焼付き性と耐衝撃特性は既存溶接品と同等以上の特性を示した。

### Synopsis:

Recently, the development of new material roll for hot leveler roll is required because of load increasing to the roll and in order to achieve reduction of the repair cost for conventional rolls. FUJICO has developed the new material for hot leveler rolls that is perfectly discriminated from the welded overlays material in quality and cost. The new material has the next characteristics. The corrosion resistance and the high temperature oxidation resistance of the new development material are respectively more excellent over 4 times and 6 times than those of the existing welded material. Then, the high life over the double can be expected the development material. The seize resistance and thermal shock resistance are over the existing welded material.

## 1. 緒言

最近、通板材の変化、矯正反力増加及び通板材温度の高温化などにより、ロールへの負荷が高いため材質特性の向上が求められている。さらにロールの補修頻度を少なくするため、高寿命・低コストロールに対する要求が高まっている。従来のロールはマルテンサイト系ステンレス鋼の硬化肉盛り溶接品あるいは工具鋼の焼入れ品が用いられている。しかし、肉盛溶接法により作られた13%Crのマルテンサイト系ステンレス鋼ロールは、使用途中で溶接ビードの優先腐食摩耗によりビード模様か鋼板へ転写されるなどの問題があると共に、ロールの摩耗による消耗が早いと、本ロール類の寿命が工場の定修計画を支配し、かつ多くの補修費が費やされている。そこで当社では、指向性凝固の1層盛りで、肉盛溶接ビード模様か出現せず、合金設計に自由度が高い特徴を持つCPC(Continuous Pouring process for

Cladding)法を用いて、新材質ロールの製造を行っている。ホットレベラーロールに要求される主な物性は、耐高温酸化性、耐腐食性、耐摩耗性、耐焼付き性などがある。既存の材質である13Crのマルテンサイト系ステンレス鋼(SUS420-J2)と開発材(析出硬化型ステンレス鋼)のマイクロ組織と各種物性との関係を調査し、既存材に比べて、特に耐高温酸化性や耐腐食性が優れ、高い高温物性を持ちロール寿命が2倍以上期待できる析出硬化型新材質を開発したので紹介する。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材及び試験方法

従来材はSUS420-J2系合金を、Table 1の溶接条件で肉盛溶接を行った。従来材は溶接後、低温応力除去処理(150℃放冷)を行い実機レベルの硬さに調整を行い各種評価材の試験片に加工した。

Table1 Welding conditions of specimen

Layer	Preheat temp. (°C)	Pass to pass temp. (°C)	Current (Amp.)	Voltage (V)	Travel speed (mm/min)
Under	300	400	450	27-28	400
Middle	300	400	700-750	23-24	200
Top	270	400	700-750	23-24	200

開発材は銑鉄、軟鋼、フェロマンガ、フェロシリコン、フェロクロム、フェロモリブデンなどの原料を用い、Arガス雰囲気の高周波誘導炉で溶解した。溶湯温度1550°Cから金型モールド（内径Φ90 x 400L）に铸造し、各々の熱処理前の試験片に加工した。金型モールド铸造材の凝固速度を測定した結果、CPC製造法による製造された実機品のロール材の凝固速度と類似していることを確認した。開発材の熱処理は1000°Cで1hr固溶化処理を行い強制空冷により焼入れ後、300°C~560°Cの範囲で1hr時効処理を行った。光学顕微鏡観察及びX線回折によって、供試材の組織を調べ、また村上試験を用いて、点算法(铸肌から10mmの位置、倍率400倍、視野数60)によりM7C3及びMC炭化物の面積率を計測した。また、EPMA装置によって主な添加元素について、ライン分析(加速電圧20kV、試料電流0.02μA、ビームサイズΦ1μm×10μm)を行い主な添加元素の偏析を調べた。

常温での硬さは試験片(25×25×20t)を用いマクロピッカース硬さ計で荷重20kg、負荷時間15秒の条件で測定を行った。また、高温間マイクロピッカース硬さ試験機を用いて室温~700°Cの範囲にわたって測定を行った。引張試験はJIS4号試験片を用いて万能試験機で常温と500°Cの温度条件で行った。熱膨張試験は、供試材をΦ5×20mmに仕上げ、文献<sup>1)2)</sup>の方法を用いて、熱膨張曲線により線膨張係数(25~800°C)、γ化温度、Ms点温度をそれぞれ求めた。

さらに、供試材の組織構成を同定するためX線回折(Cu-Kα)を行った。残留オーステナイト量(%)の測定には、X線応力測定装置(DX-10)を用いCr-Kα管球を使用し、管電圧30kV、管電流10mAの条件で行った。α-Fe(211)とγ-Fe(220)の回折線のプロファイルの面積を測定し残留オーステナイト量(%)を算出した。

## 2.2 物性比較テスト

従来材と開発材について実機レベルでの使用環境に応じた高温酸化性、熱衝撃性、耐腐食性、熱間摩耗特性、耐焼付き性などの比較テストを行った。高温酸化試験は試験片(25×25×20mm t)をアセトンで超音波洗浄・乾燥した後、その質量を測定し、酸化試験に供した。酸化試験は大気中の電気炉にそれぞれ600°Cで12時間、900°Cで24時間維持した後アルミナ坩堝を用いて冷却を行った。酸化試

験後の試験片と捕集したスケールの質量を測定し、酸化増量(g/m<sup>2</sup>・hr)を算出した。

熱衝撃特性は試験材(25×25×20mmt)を試験前に浸透探傷試験法(PT検査)によりき裂の有・無を事前確認し、所定テスト温度(500~800°C)に保持した大気中の電気炉に投入し5分間保持した後、予め準備した水槽(500mlの容器中、水温25°C±2°C)の中へ投入する水中焼入れ方式により行った。熱疲労テストは上記の熱衝撃特性試験を10回繰り返してテストにより行った。

耐腐食試験は試験材(50×50×20mmt)を用い35°Cの塩水噴霧試験を2時間行い60°Cの4時間乾燥後50°Cで2時間湿潤の処理を1サイクル(8時間)とし、総合6サイクル繰り返してテストを行った。腐食減量(mg/mm<sup>2</sup>)の測定はJIS Z 2371の塩水噴霧試験方法に基づいて行い、試験前・後の外観をマクロ写真により比較した。熱間摩耗試験と耐焼付き性試験は当社が開発した熱間焼付き・摩耗試験機<sup>3)</sup>を用いてTable 2とTable 3の試験条件によってそれぞれ行った。

Table2 Experimental conditions of wet rolling-sliding hot wear tests

Items	Conditions
•Counterpart material	S 45 C
•Size of counterpart piece	Φ 100 x 15 mmt
•Size of test piece	Φ 80 x 10 mmt
•Load	10 kg
•Rolling velocity	500 rpm
•Sliding ratio	5%
•Temperature of counterpart material	600 °C
•Cooling conditions	Water cooling, 600ml/min
•Test time	2hrs, 4hrs

Table3 Experimental conditions of galling tests

Items	Conditions
•Counterpart material	SUS 430
•Size of counterpart piece	Φ 100 x 15 mmt
•Size of test piece	Φ 80 x 10 mmt
•Load	50 kg
•Rolling velocity (Test piece)	50 rpm
•Sliding ratio	10% ~ 60%
•Temperature of counterpart material	850 °C
•Cooling conditions	Water cooling, 600 cc/min
•Test time	1min

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 開発材の基礎的性質

#### 3.1.1 創製法とミクロ組織

従来材と開発材の標準的な成分と基礎物性をTable 4に示す。従来材は0.2%C-13%Crマルテンサイト系ステンレス鋼であり、開発材は従来材より硬さ向上とδ-フェライトの生成を抑制するためC添加量を増加させた。0.3%C - 13%Crマルテンサ

Table4 Chemical composition and properties of specimens

Code	Composition (wt.%)	Condi-tions	Y.S. (MPa)	T.S. (MPa)	El. (%)	R.A. (%)	Hard-ness (HS)	$\alpha^*$ ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	Ac1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Ms ( $^{\circ}\text{C}$ )
Conventional	0.2C-13Cr	at R.T	540	740	8	25	68	13.4	817	278
		at 500 $^{\circ}\text{C}$	400	630	12	35	41			
Developed	0.3C-14Cr-3Ni-Others	at R.T	900	1040	3	6	71	12.5	635	134
		at 500 $^{\circ}\text{C}$	610	890	5	10	45			

$\alpha$  : Coefficient of expansion,  $\alpha^*$  : 20~800 $^{\circ}\text{C}$

イト系ステンレス鋼の成分を基本にして3%Niを添加させることにより、焼入れ温度における $\delta$ -フェライト量を抑制、焼戻し抵抗の増加、強度と靱性が改良されかつ耐食性の改善を図った。但し、Niの添加はMs点を低下させ、残留オーステナイトを生成し、強度の低下を招くので、高温強度の確保や焼入性の確保のため特殊元素の同時添加を行った。

Nb, Ti, V, Bに代表されるMC炭化物形成元素を適切な量を添加し、固溶原子によるドラッグ効果、析出物によるピンニング効果を通して高温での固溶化処理中 $\gamma$ 結晶粒の成長防止や焼入性の向上、時効処理中の析出硬化効果を狙った。さらに、析出硬化型元素を適切な量添加させることにより析出硬化熱処理でマルテンサイトマトリックス中に析出硬化型元素のリッチ相として微細に分散析出させることにより基地の強度向上を狙った。

Fig. 1 と Fig. 2 に従来材と開発材の光学顕微鏡組織写真を示す。

従来材は組織写真に見られるように、基地はマルテンサイトと残留オーステナイトと構成されており、旧 $\gamma$ 粒とその中心に炭化物が観察される。開発材のAs cast材は合金組成と凝固中の過冷却により基地は大部分のオーステナイトと一部のマルテンサイトの組織となっており、 $\gamma$ 粒界に炭化物が晶出している。

開発材の固溶化・時効処理材(以下SA材)では、基地はマルテンサイト(焼入れと焼戻し)組織から形成されており、旧 $\gamma$ 粒界には未固溶炭化物が観察された。一方、基地(旧 $\gamma$ 粒内)には2次析出炭化物が粒状に観察された。

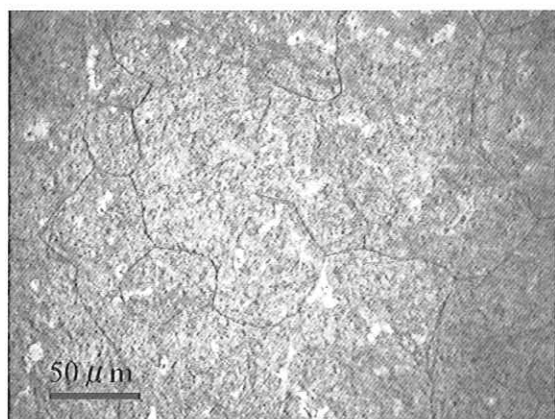


Fig. 1 Typical microstructures of conventional alloy

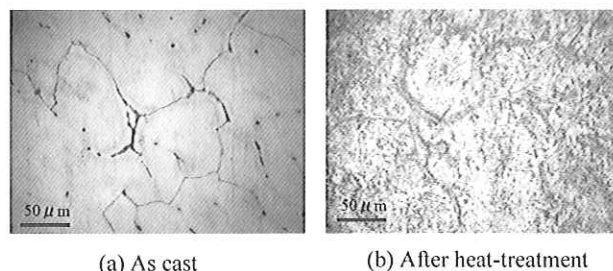


Fig. 2 Typical microstructures of developed alloy

### 3.1.2 炭化物の種類と量

供試材の組織構成を同定するためにX線回折( $\text{Cu-K}\alpha$ )を行った。まず、従来材の回折パターンをFig. 3に示す。さらに、村上試薬を適用し炭化物を顕在化させ炭化物の面積率(%)測定した結果や残留 $\gamma$ 量の測定結果をTable 5に示す。従来材は $\alpha$ -Feの(110)、(200)や $\gamma$ -Feの(111)、(200)のX線回折ピークが見られる他に $\text{M7C3}$ の炭化物のX線回折ピークも見られる。このことから従来材は $\alpha$ -Fe、 $\gamma$ -Feと $\text{M7C3}$ 炭化物から構成されていることが分かった。一方、従来材の残留 $\gamma$ -オーステナイトの量は14.2%であり溶接時の非平衡凝固の影響により高い値を示したものと推測される。

従来材の炭化物の面積率を測定した結果8.9%でありX線回折の結果とよく対応している。開発材の回折パターンをFig. 4とFig. 5に示す。As cast材の場合、ミクロ組織観察結果及び残留 $\gamma$ 量の測定結果からもよく対応するように、Niなどオーステナイト安定化元素の添加によりオーステナイト量は66.7%を占める。その他に $\text{M7C3}$ 炭化物や $\alpha$ -Feのピークが観察された。SA材の場合は、 $\text{M7C3}$ の炭化物の他に2次析出炭化物である $\text{M23C6}$ 炭化物のピークがわずかながら観察された。 $\gamma$ -FeのピークはAs cast材と比べ非常に低く、残留 $\gamma$ 量の測定結果とよく一致する結果を示した。As cast材とSA材の炭化物の面積率はそれぞれ7.7%、9.6%を示し、SA処理による2次析出炭化物の面積率は約2%範囲である事が予測できる。一方、 $\gamma$ -Feのピークや残留 $\gamma$ の測定結果から1%という非常に少ない結果を示した。開発材は従来材と比べて残留 $\gamma$ 量が少なく炭化物の増加により固溶炭素が減少され、Table 4に示した従来材以上の低い線膨張係数率が得られたものと考えられる。その結果は、耐力の向上にもつながり摩耗特性、熱き裂性、焼付き性にも有利に作用

するものと予測される。

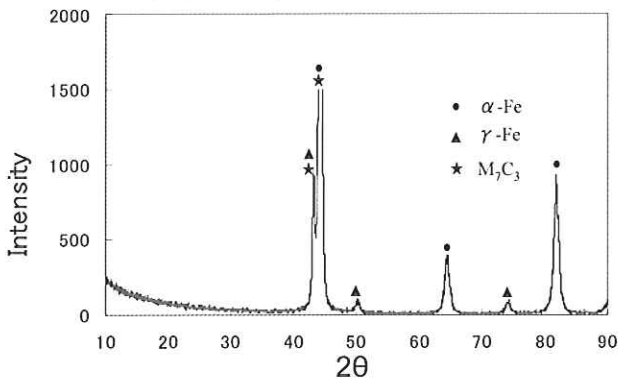


Fig. 3 Experimental and calculated X-ray diffraction scans for conventional alloy

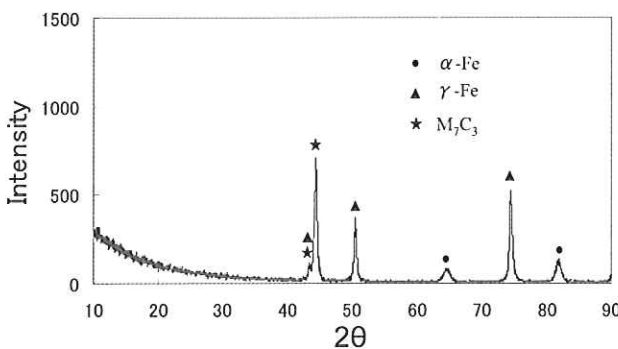


Fig. 4 Experimental and calculated X-ray diffraction scans for developed alloy in as cast

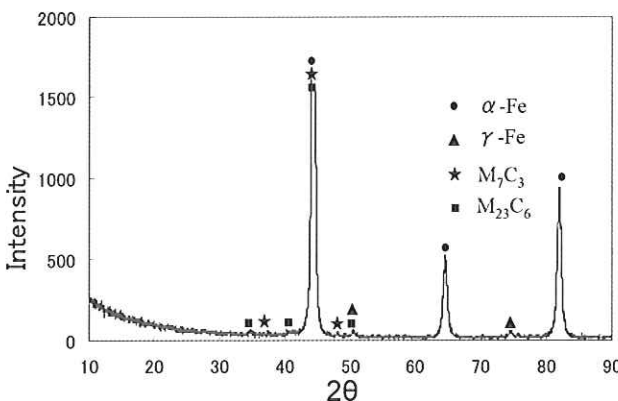


Fig. 5 Experimental and calculated X-ray diffraction scans for developed alloy after solution treatment and ageing treatment

Table 5 Results of volume fraction of retained austenite and area fraction of carbides

Alloy	Conventional	Developed	
		As cast	After SA
Volume fraction of retained austenite (%)	14.2	66.7	1.0
Area fraction of carbides (%)	8.9	7.7	9.6

### 3.1.3 開発材の熱処理特性

開発材は析出硬化型ステンレス鋼としてマルテンサイト変態点(Ms)が134℃であり、固溶化熱処理後焼入れ処理により、基地組織はマルテンサイト組織を呈する。固溶化熱処理時にオーステナイト地に固溶していた析出硬化元素が、室温ではマルテンサイト地に過飽和に固溶することになり、固溶化熱処理後に続いて析出硬化処理を行うことにより、過飽和に固溶していた析出硬化元素が析出し、高い硬度が得られる。開発材及び従来材の熱処理条件と硬さの関係をFig.6示す。

開発材は1000℃の1時間の固溶化処理後焼入れ処理により大幅な硬さ増加が確認された。それは、Ni添加の影響より焼入れ後の組織に占めるマルテンサイト相の割合を増加させることやMC形成元素の影響によりマルテンサイトラス内に粒状のMC炭化物の析出やM<sub>23</sub>C<sub>6</sub>タイプの粒状析出炭化物がマルテンサイトラス内部と残留γとマルテンサイトの境界近傍に微細に分布することによるものと考えられる。このM<sub>23</sub>C<sub>6</sub>析出炭化物はTEM分析の結果<sup>4)</sup>によるとCr濃度が高く、FeやNiの濃度は低いものの時効温度や時間が増加することによりFeやNiの濃度が増加し、主に不連続的に不規則的な形状粒子としてマルテンサイトラス内部やサブ結晶粒界に沿って観察されると報告されている。さらに、TEM観察の報告によると、析出硬化型元素の添加影響により、FCC格子構造を持つ粒状の析出硬化型元素リッチ析出相がマルテンサイトラスの中や残留γ中に観察されている。開発材は上記の析出炭化物の出現により480℃レベルで最高硬度を示したものと判断される。

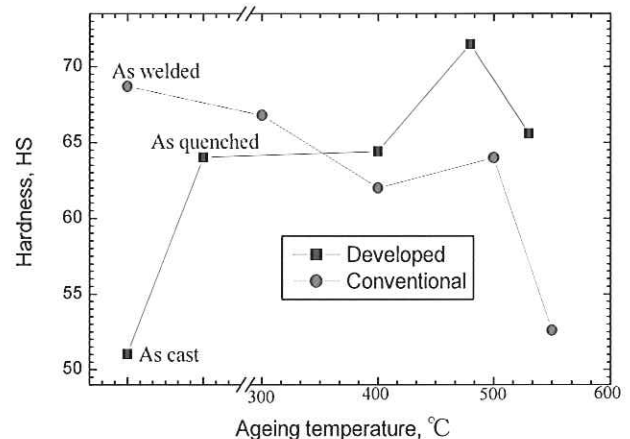


Fig. 6 Isochronal hardness curves as function of heat treatment conditions

### 3.2 材料特性

#### 3.2.1 常温及び高温での機械的特性

供試材の機械的性質、物理的性質をTable.4に示したように、開発材は従来材に比べ組織観察結果からも予測できるように最高硬さを示す時効処理条件により引張強さと耐力ともに高い値を示しているが、伸びと絞り率は低い結果を示した。高温

(500°C)での結果も同一な傾向を示しており、開発材の場合、耐力は高温でも600MPa以上高く、伸びと絞り率は高温側で改善される。20~800°Cでの線膨張係数の比較結果を見ると開発材の方が低い値を示し、高温耐力も高いことから耐熱き裂性の面からも改善が期待できると考えられる。AC1変態点とMs点は添加元素の成分差により開発材の方が低い傾向を示した。

ホットレベラーロールは600~900°Cの鋼板が通過され高温で使用されるので、その温度域での性質が重要である。Fig.7に高温での硬さ測定結果を示す。開発材は従来材より全ての測定温度レベルで高い傾向を示しており、高温特性が優れることが分かった。それは、開発材の場合、高温強度維持性を持つ特殊添加元素の影響であると考えられる。高温領域での硬さの向上は、実際使用環境でのロールの機械的摩耗性に有利に作用すると共に耐焼付き性にもよい結果をもたらすものと推測される。

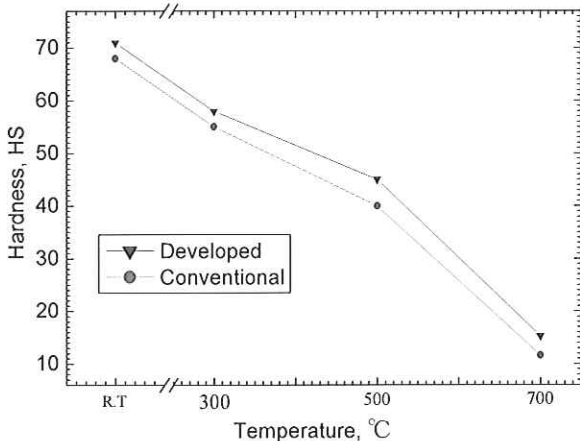


Fig. 7 Relationship between hardness and testing temperature

### 3.2.2 高温酸化特性

高温酸化特性はロール材質の高温での使用中ロールの熱間摩耗性、肌荒れ性及び焼付き性現象と直接的な関係が深く通板鋼材の表面品質にも影響を与える。高温酸化性試験結果をFig.8とTable 6に示す。

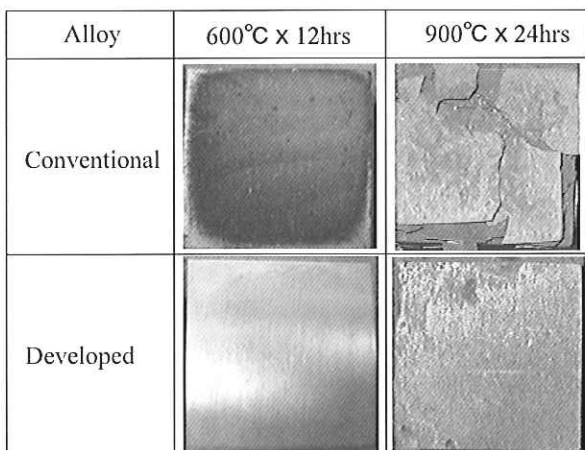


Fig. 8 Photos showing result of high temperature oxidation test

Table6 Result of high temperature oxidation test

Test conditions		600°Cx12hrs		900°Cx24hrs	
		Weight gain (gr/m <sup>2</sup> ·hr)	Ratio	Weight gain (g/m <sup>2</sup> ·hr)	Ratio
Alloy	Conventional	0.58	1	5.72	1
	Developed	0.09	1/6.4	0.96	1/6.0

600°Cで12時間保持した試験材の場合、従来材は黒い酸化スケールが表層に観察される反面、開発材は光沢の表層そのまま維持していることが確認された。900°Cで24時間保持した試験材の結果を見ると、従来材は明らかに溶接表層部スケールが完全に剥がれた様子が観察される。しかし、開発材は表層が若干酸化したもののスケールの発生はほとんど観察されず、4倍以上の優れた高温酸化特性を示した。一般的に高温酸化特性は材質のCr濃度と関連性が高く570°C以上の場合は3つ (Fe<sub>1-x</sub>O、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の酸化物が形成されると報告<sup>5)</sup>されている。開発材の場合CrやNiの基地への固溶量が従来材より多いためCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>や(Mn,Cr,Ni)<sub>3</sub>O<sub>4</sub>の安定酸化物が初期段階で形成するものと考えられる。EPMAによる基地中のCr濃度の分析値からも分かるように従来材と開発材のCr濃度は安定なCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化物が形成できる13%以上の濃度を示しているにも係わらず開発材の方が優れた高温酸化特性を示すのはSi添加によるSiO<sub>2</sub>の酸化皮膜の形成とMC炭化物形成元素の添加によりM<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化物の形成によりCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化スケールの成長速度の抑制に影響したものと推測される。中村<sup>6)</sup>によるとNdなどのレアメタル (NdやPr) の添加は保護Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化スケールの生成のための核生成サイトとして作用するとの報告もあり、今回添加した特殊元素の添加が有効に作用したものと考えられる。

### 3.2.3 熱衝撃特性及び熱疲労特性

ロール表面には使用環境の中で通板時の摩擦発熱や鋼板の加工発熱が加わって大きな熱負荷が掛かる。その後、外部からの冷却やロール内部への熱拡散等によりロール表面が急冷される結果、ロール表層部に熱衝撃を受ける。本実験では、まず急激な温度変化による熱衝撃特性を簡易的に把握するため従来材と開発材との相対比較評価を行った。その結果をTable 7に示す。従来材と開発材共に500~800°C範囲では熱衝撃による表層部の1mm以上の熱衝撃によるき裂は観察されず、優れた熱衝撃特性を示した。一方、600°Cの温度条件で10サイクル繰り返しテストによる熱疲労特性を調べた、従来材と開発材共に表層のき裂は観察されず、同等レベルの熱疲労特性が確認された。

### 3.2.4 耐腐食性

ホットレベラーロールは一部のミルで腐食を主体とする摩耗が発生する場合があるので、複合サイクル試験による耐食試験を行った。腐食によるサンプル

Table7 Result of thermal shock test

Alloy	Test temperatures			
	500°C	600°C	700°C	800°C
Conventional	○	○	○	○
Developed	○	○	○	○

○:No crack initiation, ×:Crack initiation over 1mm.

ルの腐食減量と表面の状況をそれぞれTable8とFig.9に示す。Fig.9の外観写真から明らかのように3サイクルと6サイクルテスト材共に従来材である溶接材はビード部が局部的に優先腐食されており、時間の増加と共に腐食程度は明らかな差を示している。一般的にCr/C, Ni/C及びMo/C量の増加により耐食性が上昇すると報告<sup>7)</sup>されている。開発材の場合Ni及び特殊元素添加による改善はもちろん、MC形成元素の添加によりMC炭化物を生成することにより、マトリックス中への固溶C (Cバランス、開発材：-0.65従来材：-0.58) の減少をもたらすことが耐腐食性を大きく上昇させる要因の一つであると考えられる。

Table8 Result of salt spray corrosion test

Alloy		Conventional	Developed
Weight loss (mg/mm <sup>2</sup> )	48hrs	0.0255	0.0061
	Ratio	1	1/4.2

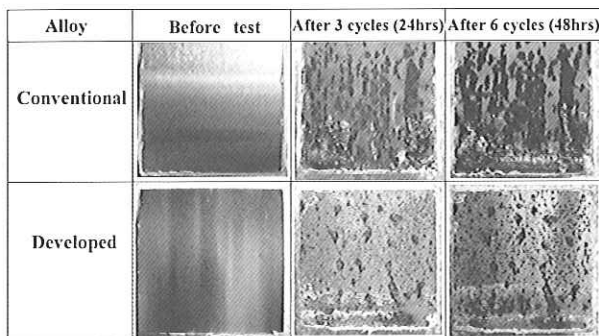


Fig.9 Photos showing result of salt spray corrosion test

### 3.2.5 熱間耐摩耗性

ロール素材の摩耗特性の評価は可能な限り実機ロールの使用条件に合わせた高温・長時間での評価が必要である。特に、13Cr系ステンレス鋼のように耐食性が優れた材質ほど化学的な摩耗の影響を実現するために長時間の評価が必要である。摩耗に影響する因子として、荷重(接触圧力)、回転速度、潤滑油の有無、テスト時間などが上げられる。今回は弊社が開発した熱間摩耗試験機を用い、上記の条件を同一にしてテストを行い、相対比較テストを行った。Fig.10に600°Cでの2時間、4時間でのテスト結果を示す。2時間の結果を見ると、開発材が従来材よ

り若干優れた結果を示した。それは、組織観察結果からも分かるように、開発材は従来材よりM23C6やMC析出炭化物量が大きく分布すること及び残留γ量の差に起因するものと考えられる。末次<sup>8)</sup>のステンレス鋼の比摩耗量と析出物や基地組織との調査結果とよく対応する。Fig.11に600°Cでの2時間摩耗テスト後の表面観察結果を示す。従来材と開発材共に平滑な摩耗表面を示しており、従来材の方が若干酸化されたものと大きな差は観察されなかった。摩耗テスト時間を増加させた4時間材の場合、開発材と従来材の摩耗減量の差は大きくなっていることが分かった。それは、Fig.11の2時間摩耗後の表面観察からも予測できるように、開発材は耐腐食性が4倍以上優れることにより、時間増加と共に腐食摩耗が加わることに起因するものと推察される。実機レベルではもっと過酷な腐食環境で長時間曝される可能性が高く、高温使用中での酸化問題も加わるため開発材と従来材の寿命の差が大きく現われるものと考えられる。

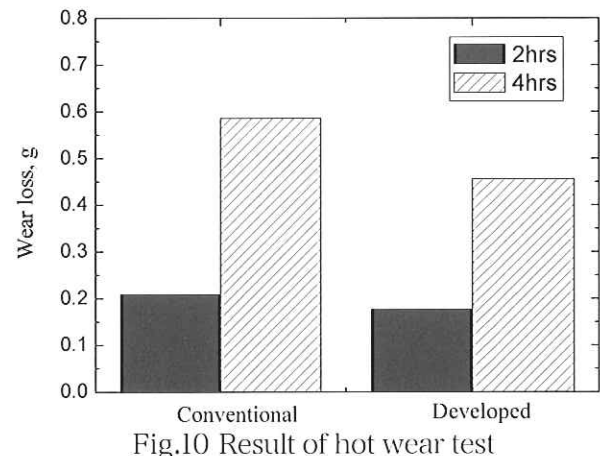


Fig.10 Result of hot wear test

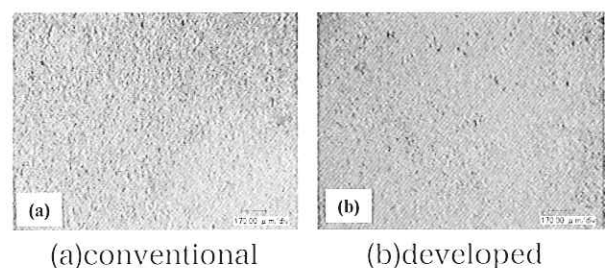


Fig.11 Worn surface of specimen after hot wear test in 600°C × 2hrs

### 3.2.6 耐焼き付き特性

ステンレス合金はCr添加量が高いほど焼付き易いことが知られているが、この理由に対してはまだ明確になっていない。非金属すなわち、炭化物、黒鉛などを多く含む物質の方が金属結合を起し難いことから焼付き性は改善されると知られている。

一方、材質の硬さが低い金属は摩擦力により表層が塑性流動し易いことから焼付きし易いと知られている<sup>9)</sup>。Table9にすべり率を10%~60%範囲での

耐焼付きテストの結果を示す。従来材に比べて優れた結果を示している。それは、開発材の場合、添加元素による表面酸化層の性状の違いや析出炭化物の量が高いことから優れた焼付き性を発揮したものと考えられる。また、高温での硬さが高い開発材の場合、摩擦力によって表層が塑性流動し難い点や、表面の酸化膜が破れて新生面が現われ難いと共に変形による歪みが少ないため拡散し難いことも関係するものと考えられる。

Table9 Result of seize resistance test

Alloy	Sliding ratio (%)					
	10	20	30	40	50	60
Conventional	○	○	△	△	△	×
Developed	○	○	○	○	△	△

Notes, ○ : No seize initiation  
 △ : Small area initiation  
 × : Initiation in area over 50%

#### 4. 結論

これまでに得られた試験結果を要約すると、次の通りである。

- 1) 開発材は合金成分の調整や熱処理による組織制御により残留γ量が極少化させることや析出硬化効果により、従来材よりも熱膨張特性が優れるとともに高温での機械的特性が優れる。
- 2) 開発材の高温酸化特性と耐腐食性は従来材よりそれぞれ6倍、4倍以上改善された。
- 3) 熱衝撃特性及び耐焼付き性の評価試験結果より開発材は従来材と同等以上の特性を示した。

- 4) 熱間耐摩耗性試験においても開発材は従来材以上の性能を示し、高温酸化特性と耐腐食性の改善効果や熱間での機械的特性の向上効果が加わることにより、総合判断として従来材より約2倍以上のライフ延長が期待される。

さらに下記のようなCPC製造法の特徴を生かすことにより硬化層のクラックまた剥離の心配やビードマークの転写の心配がないなど高機能高品質の鋼板製造に大きく寄与するものと考えられる。

- ①指向性凝固の1層盛りであり、肉盛溶接ビード模様の出現がない。
- ②1層盛りであることから、層中に脆化層の出現がない。
- ③肉盛速度は肉盛溶接の比ではなく、厚肉盛には極めて有利である。
- ④母材との接合は肉盛溶接同様に拡散接合であり接合強度は極めて高い。

#### 参考文献

- 1) 桑野、大城、松田：鋳物、54(1982) 586
- 2) 桑野、大城、松田：鋳物、54(1983) 558
- 3) 沼、坂本、植田、斉藤：フジコー技報 No.6 (1998) 25
- 4) H.R. Habibi Bajguirani : Materials Science Engineering A338(2003) 142
- 5) A.Martinez-Villafane et al., : Materials Science Engineering A363(2003) 15
- 6) Y.Nakamura : Metallurgical Trans.,5 (1974) 909
- 7) 李、坂本、斉藤：フジコー技報 No.3 (1995) 26
- 8) T.Suetsugu et al., : CAMP-ISIJ 16(2003) 1406
- 9) 加藤：フジコー技報 No.3 (1995) 34