

技 術 論 文

熱間圧延ピンチロール用新材質の特性について

New Materials Characteristics of Pinch Roll for Hot Strip Mill



技術開発センター
商品・生産技術開発室
室長
博士(工学) 園田 晃大
Akio Sonoda

技術開発センター
副センター長
博士(工学) 姜 孝京
Hyo-Gyoung Kang

山陽工場
生産技術室 室長
古田 博昭
Hiroaki Furuta

鉄鋼事業本部
商品技術・品質管理室
室長
宮崎 裕之
Hiroyuki Miyazaki

技術開発センター
センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要 旨

熱間圧延用の巻取りロールの性能を改善するため、当社ではこれまでCPC製造法によるロール開発を行ってきた。さらに当社では、巻取りロールよりも熱負荷の高いピンチロールの開発に取り組んでいる。ピンチロールにおいては、ロール表面の高温硬度特性が巻取りロールよりも重要となってくるため、従来の材質を改善し、ピンチロール用の高硬度材の開発を行った。また、従来材と開発材について基礎物性・機械的特性、実機レベルでの使用環境に応じた各種性能比較テストを行った。特性評価や試作品製造の結果、開発材は熱間圧延ピンチロールの耐用延長に期待できる。

Synopsis:

To improve materials characteristics of the coiler roll for hot strip mill, we have carried out the material development by the CPC production technique. Also, we have developed the pinch roll which the thermal load is higher than the coiler roll. In the pinch roll, the high temperature hardness characteristics of the roll surface is important. Therefore, we improved the material for the conventional coiler roll, and the high-hardness material for the pinch roll was developed. For the conventional and developed materials, fundamental physical properties, mechanical properties, and various efficient comparison tests responding to the using environment in apparatus level were done. As a result of characteristic evaluation and prototype manufacturing, the development material can be expected to extend the durability of pinch roll for hot strip mill.

1. 緒言

当社では、これまで製鉄所における熱間圧延設備に用いられる熱延プロセス用ロールの長寿命化のため、ロール材質の開発を行ってきた。その中でも代表される鋼板巻取り設備用の巻取りロールは、材質改善の結果、各製鉄所においてロール耐用の向上に多く貢献し、広く採用されている^{1) 2)}。

この巻取りロールの前段には、鋼板を適正な状態で

送り込むためのピンチロールが設置されている。一般的に、熱延プロセス用ロールは高温での腐食環境下で使用されるため、耐腐食性、耐焼付き性、耐摩耗性、耐熱衝撃特性及び耐打ち疵性など多くの耐久性能が要求される³⁾。ピンチロールは、巻取りロールとは違い常時高温の鋼板と接触するため、巻取りロールよりもさらに厳しい環境下で使用されるロールといえる。

そのため、当社では巻取りロール用の材質に特殊な

素を添加してさらに発展させたピンチロール用の材質開発を進めており、特性の評価とCPC (Continuous Pouring process for Cladding) 法による試作品の製作を行っている。本稿では、その内容について報告する。

2. 熱延ピンチロールの使用条件

熱延工程の巻取り設備とは、加熱炉、粗圧延および仕上げ圧延を通過し、要求仕様の機械的性質を有した製品としてのストリップ材がホットランテーブル上を通過した後、コイル状に巻き取る設備のことである。

この巻取り設備は、一般的にサイドガイド、上下ピンチロール、巻取りロール、マンドレルおよびコイル抽出機からなり、この代表的な構成図を Fig.1 に示す⁴⁾。

仕上げ圧延機を通過したストリップ材は、板の速度に対して5~20%のリード速度で回転する上下ピンチロールによりマンドレルへと送り込まれる。この上下ピンチロールは、通常10~20%のオフセット角にセットされており、ピンチロールに噛み込んだストリップ材は先端が下に曲げられ、巻取りロールとマンドレルの間へ案内される。このラッパーロールは、ストリップ材の先端をマンドレルの周囲に沿って確実に搬送する役目を果たし、適切な圧力でストリップ材をマンドレルに押し付ける。このため、ストリップ材に曲げ変形が生じ、その結果、巻き取られ易い形状になる。

熱延ピンチロールは、鋼板との接触や衝突によりロール表面に損傷を受けるばかりでなく、繰り返しの加熱冷却を受ける過酷な使用環境下で使われている。そのため、熱延ピンチロールに要求される特性としては、耐焼付き性、耐摩耗性、耐打ち疵性、耐熱衝撃性、耐腐食性などが挙げられる。

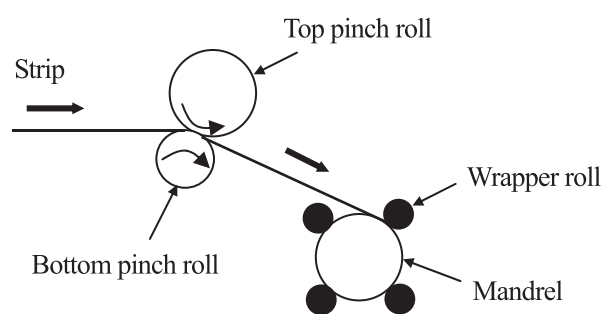


Fig.1 Construction of coiler in hot strip mill

3. 供試材および試験方法

上述の通り、ピンチロールに適用される材質には様々な特性が要求される。ただし、これらは巻取りロールの材質にも共通の特性といえる。ピンチロールと巻取りロールの大きな違いの一つは、ピンチロールの方は高温の鋼板と常時接触しロール表面温度が上昇しやすという点である。そのため、高温での硬度が巻

取りロールの材質よりも高いということが重要と考えた。つまり、常温においても巻取りロール用の材質よりも高硬度となり、巻取りロール用の優れた諸特性は維持することを指標として材質開発を行うこととした。

供試材は銑鉄、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、金型モールド(内径φ90×400L)に铸造することで作製した。なお、金型モールド铸造材の凝固速度を測定した結果、CPC製造法にて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が確認されている。

準備した供試材は、従来の巻取りロール用の材質と開発材であり、開発材は従来材をベースとして、特殊微量元素を0.5%、1.0%、2.0%添加したものである。供試材の主要な成分をTable1に示す。

供試材それぞれの熱処理は1000℃で7時間の条件により固溶化処理を行い強制空冷後、400~600℃の範囲で7時間の保持により時効硬化処理を行った。また、所定の試験片寸法に加工して試験を行った。

3次元レーザー顕微鏡と光学顕微鏡による組織観察、常温での硬さはビッカース硬さ計で荷重20kg、負荷時間15秒の条件下で測定を行った。

開発材について実機レベルでの使用環境に応じた耐熱衝撃性、耐焼付き性の比較テストを行った。耐熱衝撃特性は試験材(15×40×20mm)を試験前に浸透探傷試験法(PT検査)によりき裂の有無を確認し、所定テスト温度(600~800℃)に保持した電気炉に投入し5分間保持した後、予め準備しておいた水槽(500mlの容積、水温25±2℃)の中へ投入することによって行った。また、繰り返しの耐熱衝撃特性については、本試験を同じ供試材を用いて行った。耐焼付き性試験は当社が開発した熱間焼き付き・摩耗試験機⁵⁾を用いてTable2の試験条件によって行った。

また、供試材の液相線(LL)から固相線(SL)の固液温度範囲(ΔT)を求めるために、示差熱分析法を用いて相変態温度の測定を行った⁶⁾。φ5×5mmの試験片をAr雰囲気中で5℃/minで1500℃まで加熱して、その後冷却した。冷却中の供試材と基準物質との温度差を測定して供試材の相変態時の反応を確認した。

Table 1 Chemical composition for conventional and developed alloy

Alloy	Composition (wt.%)
Conventional	0.6C-3Ni-14Cr-Si
	0.6C-3Ni-14Cr-Si + 0.5 special element
Developed	0.6C-3Ni-14Cr-Si + 1.0 special element
	0.6C-3Ni-14Cr-Si + 2.0 special element

Table 2 Experimental conditions of seizing test

Counterpart material	SUS430
Size of counterpart piece	$\phi 100 \times 15\text{mmt}$
Size of test piece	$\phi 80 \times 10\text{mmt}$
Load	50kg
Rolling velocity (Test piece)	50rpm
Sliding ratio	10%~60%
Temperature of counterpart material	850°C
Cooling conditions	Water cooling, 600cc/min
Test time	1 min

4. 試験結果および考察

Fig.2 に従来材と開発材の熱処理後の 3 次元レーザー顕微鏡による組織写真を示す。従来材の熱処理後では、基底は焼き戻しマルテンサイトとして構成されており、旧 γ 粒界には M_7C_3 炭化物が観察される。また、基底 (旧 γ 粒内) には 2 次析出炭化物 ($M_{23}C_6$) が粒状に観察された。

開発材では、特殊元素の添加によって従来材と組織の様相が変化している。特殊元素 0.5%、1.0% 添加の開発材では、従来材と違って結晶粒界に共晶の析出炭化物が大きく生成されているのが特徴的である。基底は、焼き戻しマルテンサイトであり、結晶粒界には M_7C_3 の炭化物が確認されている点は、従来材と同じである。特殊元素 2.0% 添加材では、さらに組織の様相が違っており、組織全体に析出炭化物が確認されている。さらに基底は強く腐食さらされて黒っぽく観察された。これは、特殊元素の添加量が増えたことによって、基底中の Cr と優先的に炭化物を形成されたためと考えられる。したがって、基底中の Cr が優先炭化物として消費されたため、Cr 元素の濃度低下により腐食しやすくなったと考えられる。

従来材と開発材ともに析出硬化型ステンレス鋼であり、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.3 に示す。従来材と開発材ともに 460°C~480°C の焼き戻し処理で最高硬さを示している。また、特殊元素の添加量が増加するにつれて、最高硬さも高くなる傾向が確認された。これは、主に基底中の Cr と特殊元素との析出物が多くなった影響と考えられる。

ピンチロールは鋼板との接触や摩擦熱により高温になる一方、冷却設備による水冷によって急激に冷却されるため、ロール表面には大きな熱負荷がかかる。本研究では、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 3 と Fig.4 に示す。従来材と特殊元素を 0.5% と 1.0% 添加した開発材は、700°C においてき裂が確認された。2.0% 特殊元素添加の開発材では、600°C でき裂が確認され最も耐熱衝撃性が劣る結果であった。き裂が発生した後、さらに試験温度を上げて熱衝撃試験を続けると、いずれの試験片もさらに新たなき裂が発生する傾向を示した。

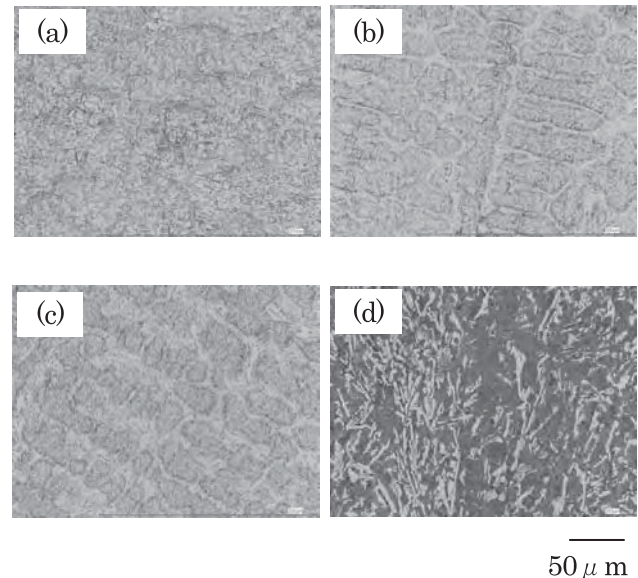


Fig.2 Typical microstructures of conventional and developed alloy : (a) conventional alloy, (b) developed alloy (0.5%), (c) developed alloy (1.0%), and (d) developed alloy (2.0%)

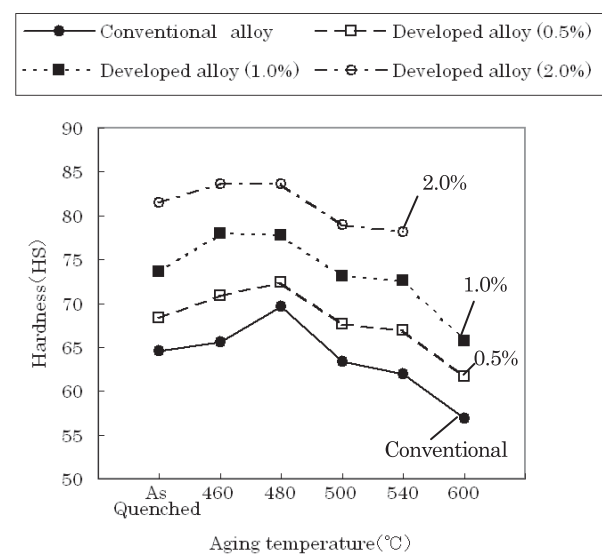


Fig.3 Relationships between hardness and aging temperatures

特に、2.0%特殊元素添加の開発材は、700°Cでき裂が多く発生しているのが確認された。これは、き裂の発生起点となる析出物の生成量が最も多いためと考えられる。これらの結果を考慮すると、従来材と同等の耐熱衝撃抵抗を示すのは、0.5%と1.0%特殊元素添加の開発材であり、特殊元素を2.0%レベルで添加すると、耐熱衝撃抵抗が大幅に低下してしまい、実機使用が困難であると判断される。そのため、以降の評価試験については、0.5%特殊元素添加の開発材に絞って行うこととした。

0.5%特殊元素添加の開発材について、繰り返しの熱衝撃試験を行った結果を Fig.5 に示す。試験温度600°Cにおいて30回までの繰り返し熱衝撃を与えたが、試験片表面にき裂は確認されず十分な耐熱衝撃性を示した。

Table 3 Result of thermal shock test

Alloy	Test temperature		
	600°C	700°C	800°C
Conventional alloy	○	×	×
Developed alloy (0.5%)	○	×	×
Developed alloy (1.0%)	○	×	×
Developed alloy (2.0%)	×	×	-

○ : No crack , × : Crack , - : No data

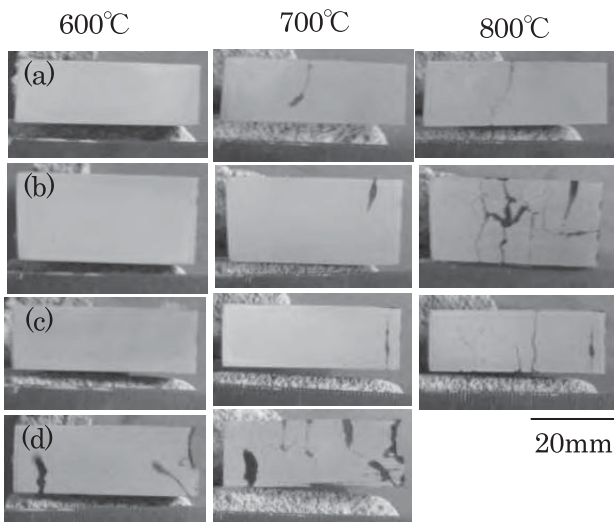


Fig.4 Appearance of thermal shock testing piece: (a) conventional alloy, (b) developed alloy (0.5%), (c) developed alloy (1.0%), and (d) developed alloy (2.0%)

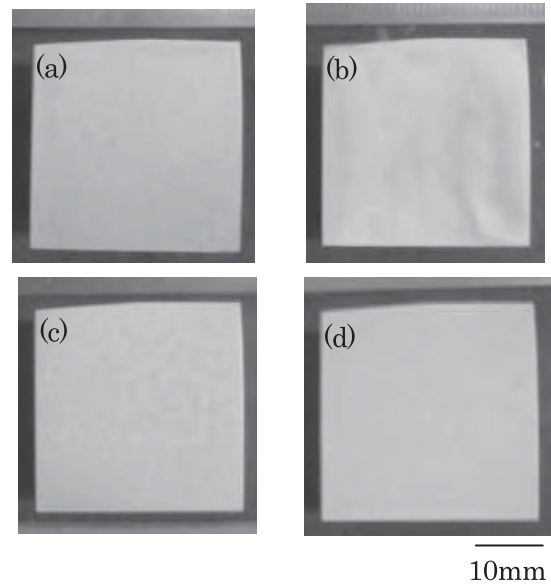


Fig.5 Appearance of thermal shock cycle testing piece: (a) 5 cycles, (b) 10 cycles, (c) 20 cycles, and (d) 30 cycles

Fig.6 と Table 4 にすべり率を40~70%範囲での耐焼付きテストの結果を示す。0.5%特殊元素添加の開発材は従来材に比べても同等の優れた結果を示している。

従来材と開発材ともに、添加元素による表面酸化層による潤滑性が高く析出炭化物の量が多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、従来材と開発材ともに、高温硬度を維持するための添加元素や析出物生成の影響で高温での硬さが高い傾向があり、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いった耐焼付き性に有利な点が効果的に作用した結果であると考えられる。

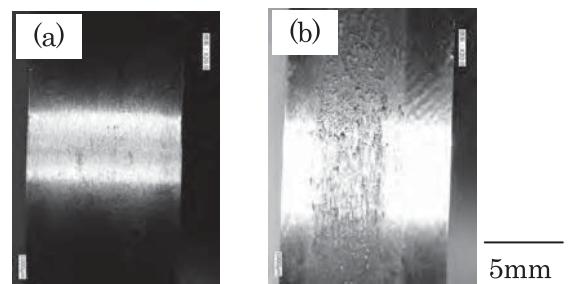


Fig.6 Photos showing result of seizing test under different sliding conditions: (a) 40% and (b)70%

Table 4 Result of seizing test

Alloy	Sliding ratio	
	40%	70%
Conventional alloy	○	△
Developed alloy (0.5%)	○	△

Width of seized band (○ : ~0.5mm, △ : 0.5mm~3mm)

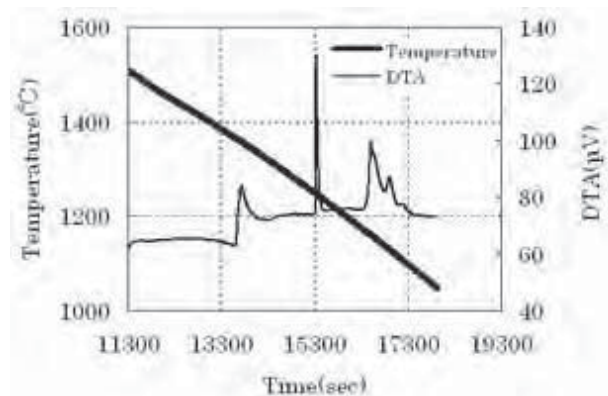
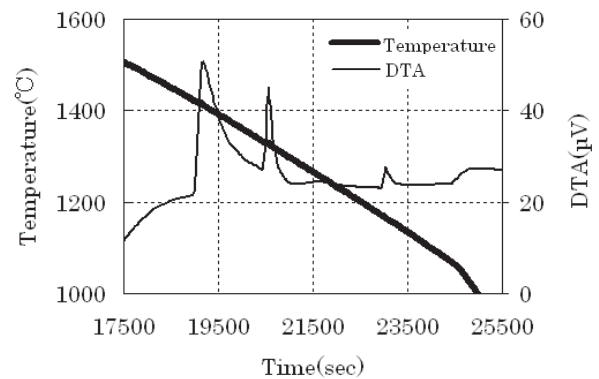
次に、従来材と0.5%特殊元素添加の開発材について示差熱分析を実施した結果を Fig.7 に示す。発熱の反応を示すピークがいくつか現われており、従来材については、温度が高い方(左側)から順番に、 $L \rightarrow L + \gamma$ 、 $L \rightarrow \gamma + M_7C_3$ の反応を示すピークであると考えられる。また、3番目の低いピークは低融点の化合物であると考えられる。0.5%特殊元素添加の開発材については、同じく温度が高い方から順番に、 $L \rightarrow L + \gamma$ 、 $L \rightarrow \gamma + M_7C_3$ の反応を示すピークであると考えられる。3番目のピークが従来材よりも顕著にみられるのは、特殊元素添加の効果によって、低融点化合物の生成量が多くなった影響であると考えられる。

材料の融点は、凝固が開始する1番目のピークの初めと読み取ることができ、凝固が完了する温度は、Fig.7における3番目のピーク後であると考えられる。この温度範囲を固液温度範囲(以下、 ΔT)と呼び、材料の铸造性に大きく影響する因子となっている。Fig.7において ΔT を読み取ると、従来材は、液相線温度(以下、LL)は1422°Cで固相線温度(以下、SL)は1151°Cであり、 ΔT は271°Cということになる。また、0.5%特殊元素添加の開発材は、LLは1364°CでSLは1100°Cであり、 ΔT は264°Cということになる。

铸造においては、LLとSL間の ΔT が大きいほど、最終凝固部に液相が残存し易くなり、引け巣欠陥が出来やすくなる。 ΔT が小さいほど铸造性が良いといえるが、0.5%開発材は従来材と同等か、わずかに铸造性に有利であるということになる。しかも、融点は0.5%特殊元素添加の開発材の方が低く、低温での铸造が可能となるため、CPC法によるロール製造時においては、より高品質かつ安定した操業条件の選定がしやすくなる。

5. 実機ロールの製造検証

開発材を用いたCPC工法による実機ロールの製作を行った結果について報告する(Fig.8)。CPCを実施した結果、従来材よりも铸造性が良く、最終凝固部における欠陥発生も減少し、高品質のロールが製造できることが確認できた。今後は、さらに実機での使用における試作品評価を行っていく。



(b) developed alloy (0.5%)

Fig.7 Result of differential thermal analysis



Fig.8 Manufacturing of the roll material by CPC

6. 結論

熱延ピンチロール用の材質開発を耐熱衝撃性や耐焼付き性に優れた巻取りロールの材質をベースとして、特殊元素を添加することで行った。開発材の特性評価を実施して得られた結果は次の通りである。

- 1) 特殊元素の添加量が増加するにつれて、硬度の上昇が確認された。
- 2) 特殊元素の添加量が0.5～1.0%であれば、巻取りロール用の材質と同等レベルの耐熱衝撃性を示すが、添加量が2.0%になると耐熱衝撃性は低下し実機使用には困難と判断される。
- 3) 特殊元素の添加量が0.5%の開発材は、もとの巻取りロール用の材質と同等の耐焼付き性を示した。
- 4) 特殊元素の添加量が0.5%の開発材は、巻取りロール用の材質よりも融点が低く、わずかに固液温度範囲 (ΔT) も狭くなり、CPC法で有利に製造できるものと判断される。

今後の取組みとして、特殊元素の添加量が0.5%の開発材は、巻取りロール用の材質より高硬度材料であるにも関わらず、同等の耐熱衝撃性や耐焼付き性を示すため、熱延ピンチロール用の材質として、ロール耐用延長の効果に期待できる。

参考文献

- 1) 姜、園田、嵩、永吉：フジコー技報No. 16 (2008) 25
- 2) 園田、花田、肖、永吉：フジコー技報 No. 22 (2014) 25
- 3) 坂本、玉川、津田、森高：フジコー技報 No. 1 (1993) 9
- 4) 尾崎、姜、園田：フジコー技報 No. 13 (2005) 54
- 5) 沼、坂本、植田、斉藤：フジコー技報 No. 6 (1998) 25
- 6) 栗花：東北工業技術試験場. 先端技術を拓く (1988) 52