
製鉄プロセスロールの表面処理技術

Development of Surface Treatment Techniques of Process Rolls on Iron and Steel Works

笠井 聡(Satoshi Kasai) 佐藤 裕二(Yuji Sato) 柳沢 章博(Akihiro Yanagisawa)
市原 晃(Akira Ichihara) 大西 廣(Hiromu Onishi)

要旨：

製鉄プロセスにおけるロールを使用条件から大別し、それらの要求機能に適合する表面処理技術の研究開発を行ってきた。熱間加工プロセス用ロールには、耐焼付き性、耐熱き裂性、耐食性に重点を置いた肉盛溶接材料 KOA-H3(L), H3(M), H4 および H5 をそれぞれ開発した。高温耐摩耗性が必要とされるハースロールには CrC 系サーメット溶射材料が、耐ビルドアップ性が必要とされるハースロールには CoCrAlY 系耐熱合金溶射材料が適することを見いだした。また、コンダクタロールには、強酸水溶液に対する耐食性に重点を置いた WC 含有 Ni 基自溶性合金を、冷間加工プロセス用ロールには、表面粗度を長期にわたって維持するために高硬度の WC 系溶射材料をそれぞれ適用した。これらにより、プロセスロールの高信頼性と長寿命化を図ることができた。

Synopsis：

Studies on surface treatment techniques of process rolls, except for working rolls in iron and steel works, were carried out by taking account of the operating conditions. Welding materials of rolls used in the continuous casting process and hot rolling process were developed, which would particularly satisfy such properties as adhesion resistance, heat-check resistance and wet-corrosion resistance. It was found out that CrC cermet with a superior wear-resistance property at high temperature and the CoCrAlY alloy with a build-up resistance property were suitable for hearth rolls. Furthermore, it was found out that WC containing Ni self-fusing alloys were suitable for conductor rolls and WC thermal spray materials were suitable for rolls used in the cold rolling process. Reliability and long-life of various process rolls were improved by these new techniques.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Development of Surface Treatment Techniques of Process Rolls in Iron and Steel Works



笠井 聡
Satoshi Kasai
千葉製鉄所 保全部 保全技術室 主査(掛長)



佐藤 裕二
Yuji Sato
千葉製鉄所 保全部 保全技術室



柳沢 章博
Akihiro Yanagisawa
千葉製鉄所 保全部 保全技術室



市原 晃
Akira Ichihara
千葉製鉄所 保全部 保全技術室 主査(課長)



大西 廣
Hiromu Onishi
水島製鉄所 設備部 製鋼・厚板整備課 課長

1 緒 言

製鉄プロセスにおけるロール、ローラー類は、連続鑄造機以降の主要プロセスだけでも8000本を超える。その大部分は、鋼板の搬送、送り込み、支持、矯正などに使用されるロールである(以下、これらをプロセスロールと称す)。

プロセスロールの使用条件や要求機能は各プロセスで異なるが、いずれも製品あるいは製品となるべき鋼板と接触するため、その表面性状は、圧延用ロールの場合と同様に製品の表面品質を保証する上で重要な要素となる。また、プロセスロールの取替えおよび補修にかかわる費用も莫大で、総メンテナンス費用の20%以上を占めるプロセスも少なくない。

そこで、千葉製鉄所においては、これらプロセスロールの高信頼性と長寿命化を目的とした表面処理技術の研究を行ってきた。例えば、1967年からロールの自動肉盛溶接技術の確立を進め、1973年頃からは、製品の高品質化にともなう肉盛溶接材料の開発やセラミック被膜の適用を可能とする溶射技術の研究を行ってきた。

要旨

製鉄プロセスにおけるロールを使用条件から大別し、それらの要求機能に適合する表面処理技術の研究開発を行ってきた。熱間加工プロセス用ロールには、耐焼付き性、耐熱き裂性、耐食性に重点を置いた肉盛溶接材料 KOA-H3(L), H3(M), H4 および H5 をそれぞれ開発した。高温耐摩耗性が必要とされるハースロールにはCrC系サーメット溶射材料が、耐ビルドアップ性が必要とされるハースロールにはCoCrAlY系耐熱合金溶射材料が適することを見いだした。また、コンダクターロールには、強酸水溶液に対する耐食性に重点を置いたWC含有Ni基自溶性合金を、冷間加工プロセス用ロールには、表面粗度を長期にわたって維持するために高硬度のWC系溶射材料をそれぞれ適用した。これらにより、プロセスロールの高信頼性と長寿命化を図ることができた。

Synopsis:

Studies on surface treatment techniques of process rolls, except for working rolls in iron and steel works, were carried out by taking account of the operating conditions. Welding materials of rolls used in the continuous casting process and hot rolling process were developed, which would particularly satisfy such properties as adhesion resistance, heat-check resistance and wet-corrosion resistance. It was found out that CrC cermet with a superior wear-resistance property at high temperature and the CoCrAlY alloy with a build-up resistance property were suitable for hearth rolls. Furthermore, it was found out that WC containing Ni self-fusing alloys were suitable for conductor rolls and WC thermal spray materials were suitable for rolls used in the cold rolling process. Reliability and long-life of various process rolls were improved by these new techniques.

本報は、プロセスロールの要求機能に適合する表面処理技術の研究ならびに実用成果について述べる。

2 プロセスロールに要求される機能

連続鑄造機以降の主要なプロセスと、その使用条件から見たプロセスロールの分類を Fig. 1 に示す。プロセスロールは大別すると熱間加工プロセス用ロールと冷間加工プロセス用ロールに分けることができる。さらに、冷間加工プロセスの中でも特殊な環境にあるロールとして、連続式熱処理炉のハースロールや電気めっき設備のコンダクターロール、さらには電解洗浄設備や溶融亜鉛めっき設備のシンクロールなどがある。

これらプロセスロールの表面に要求される機能をまとめて Table 1 に示す。

熱間加工プロセス用ロールは、鋼板からの輻射および熱伝達によ

* 昭和61年10月23日原稿受付

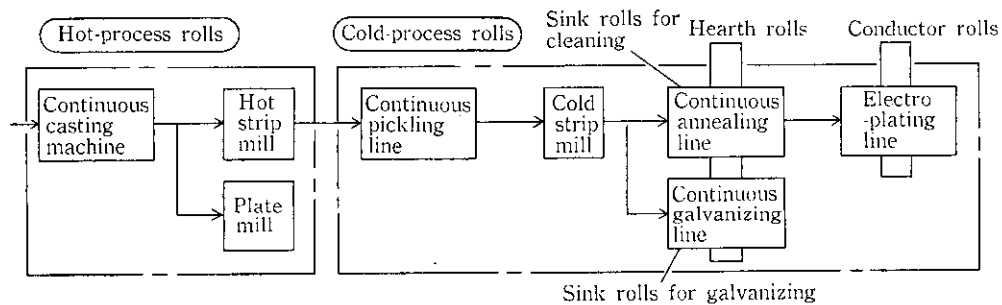


Fig. 1 Classification of process rolls

Table 1 Requirements for surface properties of process rolls

Classification	Example	Requirements
Hot process roll	Pinch roll	Heat checks resistance
	Guide roll	Corrosion resistance
	Roller table	Abrasive-wear resistance
	Feed roller	Adhesion resistance
	Wrapper roll	
	Roller for leveler	
Cold process roll	Bridle roll	Slippage resistance (abrasive-wear resistance)
	Deflector roll	
	Wringer roll	
	Tension roll	
	Steering roll	
	Roller for leveler	
Furnace roll	Hearth roll	Slippage resistance (abrasive-wear resistance) at high temperature Build-up resistance
Electroplating roll	Conductor roll	Corrosion resistance Abrasive-wear resistance
Electrolytic-cleaning roll	Sink roll	Corrosion resistance Abrasive-wear resistance
Galvanizing roll	Sink roll	Corrosion resistance

る加熱とロール冷却あるいは鋼板冷却のための冷却水飛散による冷却を繰り返すため耐熱き裂性が要求される。また、前述の冷却水あるいはデスケリング用高圧水に対する耐食性や耐エロージョン腐食性も要求される。さらに、鋼板とロールのわずかなすべりによる焼付きがすりきずを発生させるため、耐焼付き性も要求される。

高速で鋼板を搬送し、しかも加速、減速が頻繁に行われる冷間加工プロセス用ロールでは、すりきず防止のために耐スリップ性がとくに必要となる。このため、冷間加工プロセス用ロールに適正な表面粗さを付与して、この粗さを低下させないことが耐スリップ性を確保する重要な因子となる。

高速で通板する連続焼鈍設備のハースロールもロール表面粗さの低下が、鋼板のスリップや蛇行をひき起す⁴⁾ため、ロール表面粗さを長期にわたって維持するための高温耐摩耗性が必要となる。また溶融亜鉛めっき設備のハースロールでは、鋼板もしくは鋼板表面のスケールがロール表面に付着することもあり²⁾、一般に耐ビルドアップと呼ばれる性能が必要となる。

電気めっき設備のコンダクタロールは、強酸水溶液であるめっき液に触れるため、耐食性が最も重要な要素であるが、鋼板との摺動による摩耗も発生するため耐摩耗性も必要である。

電気洗浄設備のシンクロールや溶融亜鉛めっき設備のシンクロールについても、強アルカリ水溶液や溶融亜鉛に対する耐食性がそれぞれ必要である。

プロセスロールの高信頼性や長寿命化を図る上で、このような要求機能に適合する表面被覆材料の開発および選定が、技術的課題であった。以下に熱間加工プロセス用ロール、冷間加工プロセス用ロール、ハースロールおよびコンダクタロールに関する研究について、それぞれ述べる。

3 熱間加工プロセス用ロールに関する研究

3.1 肉盛溶接材料の開発

表面被覆の要求機能と肉盛溶接材料の開発経過を Table 2 に、化学組成と機械的性質を Table 3 に示す。材料開発にあたっては、まず熱間プロセスロールに要求される機能を明らかにし、それに適合する肉盛溶接材料の開発を行ってきた。

KOA-H3(M)は耐摩耗性、耐熱き裂性および耐焼付き性の向上を目的として開発された中 C-Cr-Mo 系肉盛溶接材料である。この材料は強靱鋼として知られる SCM 材³⁾を基本鋼種にしており、耐摩耗性と耐焼付き性をもたせるために、炭素を 0.35% 含有させている。さらに、耐熱き裂性を向上させるためにクロムとモリブデンの含有量の増加により引張強さを大きくし、しかもチタンを添加することで靱性の向上も図っている。

KOA-H3(L)は耐熱き裂性をさらに向上させるために開発した低 C-Cr-Mo 系肉盛溶接材料である。例えば、熱延鋼板の停滞を受けるローラーにおいては、激しい熱き裂が生じ、そのき裂が使用中に連続し、ローラーの折損に至ることがある。このような使用条件下では、靱性を大きく向上させ、き裂の進展を抑制することが効果的である。この材料は KOA-H3(M)の炭素含有量を減らし、それに見合ったチタン量を添加することにより、靱性を大幅に向上させたものである。また、この材料は熱処理条件を変えることによって、機械的強度と靱性を制御することができる。例えば、625°C で焼戻しを行えば、引張強度を 75 kgf/mm²、衝撃値 15 kgf・m/cm² が得られ、ローラーの表面被覆だけではなく、各種高硬度材料の下盛材料や強靱鋼の形状復元材料⁴⁾としても使用されている。下盛材料に適用した場合、下盛部分でき裂の進展を抑制するため、一般的な溶接材料を使ったものより、き裂の深さははるかに小さい。

KOA-H4は耐食性と耐熱き裂性を併せもつ低 C-13Cr-4Ni 系肉盛溶接材料である。この材料は耐食・耐エロージョン性に優れた材料

Table 2 Requirements for rolls used in continuous casting and hot rolling processes and development of surface-welding materials

Requirements*1)				Development	
Hardness	Heat checks resistance	Wet-corrosion resistance	Adhesion resistance	Development of welding materials	Development of forged roll heat treatment
		—		SCM Improvement 1) weldability 2) strength	KOA-H3 (M) *2) Improvement of toughness KOA-H3(L) *2)
—		—	—		
			—	13 Cr Improvement 1) weldability 2) toughness 3) hardness	KOA-H4 *2) Improvement of hardness KOA-H5 *2) hardness control
	—				
				SUS420J2, J Induction hardening	

*1)  : Primary
 : Secondary

*2) See Table 3

^{*1)} ●: Primary ○: Secondary

^{*2)} See Table 3

Table 3 Typical chemical compositions and mechanical properties of weld metal

Item Brand name	Chemical composition (%)								Heat treatment	Mechanical properties		
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Ti	V		TS (kgf/mm ²)	$\frac{1}{2}E_{20}$ (kgm/cm ²)	HV 1 kgf
KOA-H3 (M)	0.34	0.46	1.60	3.22	1.12	—	0.12	—	650°C SR	114.0	2.75	350
KOA-H3 (L)	0.04	0.09	1.19	3.04	1.40	—	0.04	—	700°C Temper	56.4	18.1	230
KOA-H4	0.04	0.30	0.92	13.97	0.05	4.62	—	—	625°C SR	94.4	6.0	300
KOA-H5	0.34	0.42	1.60	14.05	0.42	—	—	0.43	550°C Temper	98.0	0.4	550
K-420J2	0.32	0.45	0.52	13.32	—	0.20	—	—	950°CQ, 650°CCT Induction hardening*	84.0	5.3	550
K-420J1	0.20	0.55	0.51	13.38	—	0.14	—	—	950°CQ, 680°CCT Induction hardening*	74.0	6.9	420

* Middle frequency

として知られている 13 クロムステンレス鋼⁵⁾を基本鋼種にしており、ニッケルの添加によって、さらに耐食性を向上させている。加えて、ニッケルとモリブデンの添加により、低炭素量でありながら高硬度と靱性を確保している。これにより、耐熱き裂性を損なうことなく、ある程度の耐摩耗性も有している。

KOA-H5 は耐摩耗性と耐焼付き性の向上を目的として開発した中 C-13Cr-V 系肉盛溶接材料である。この材料は炭素量を 0.35% 以下に制限し、クロムの含有とバナジウムの添加を行い、550°C で焼戻しを行うことにより、炭化物を析出させている。この炭化物により、高硬度化と耐焼付き性の向上を図っている。さらに、クロム量を 13% 以上含有させることで、耐食性も有している。

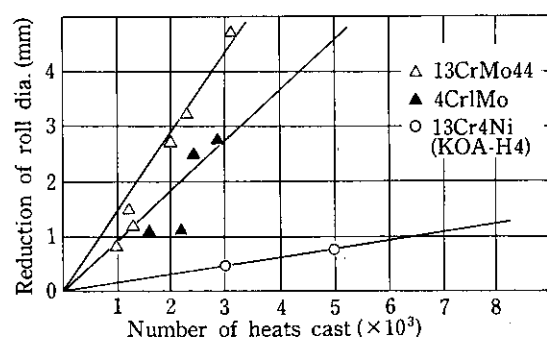
最近では、肉盛溶接ビード間でのわずかな硬度差による偏摩耗が鋼板に転写されて疵発生となる場合がある。この場合には、SUS 420J1, SUS420J2 の鍛鋼品の炭素量をそれぞれ 0.20% 以下、0.35% 以下に制限し、かつ中周波焼入れの条件を制御することにより、残留オーステナイトの量を調整したロール⁶⁾を使用している。

以上の開発によって、熱間加工プロセス用ロールに要求される機能を満足する材料をそろえることができた。

3.2 実機試験結果

3.2.1 連続鋳造機における実機試験

従来材料、開発材料のロールを実機で使用した結果⁷⁾を Fig. 2 に示す。KOA-H4 肉盛溶接ロールは従来の低合金ロール (DIN 13Cr-Mo44) に比較して摩耗速度が 1/10 以下になった。また、下盛材料

Fig. 2 Comparison of wear rate at slab casting machine⁷⁾

には KOA-H3(L) を適用しているため、き裂が分散され、かつその深さも小さくき裂の連続化によるロール折損は皆無となった。これにより、ロールの耐用寿命は従来ロールに比べて約 10 倍の 15~36 箇月になり、製品品質に大きな影響を与えるロールギャップの長期にわたる維持も可能になった。

3.2.2 ホットストリップミルにおける実機試験

当所 No. 1 ストリップミルでは、一般材に比較し熱間状態で軟らかく、表面の品質要求も厳しいフェライト系ステンレス鋼の圧延を行っている。そのため、粗ミル前後のテーブルローラーでは、熱延鋼板の先端部の突き当てによるわずかなローラー傷が鋼板の表面欠陥につながる場合もある。このため、ローラー表面には高い硬さが

必要となる。また、粗ミルでは、鋼板のリバース圧延を行うため、鋼板とテーブルローラー間のわずかな速度差によって焼付きが発生する場合もある。さらに、ここでは、デスケリング水による腐食も発生する。以上の理由により、このテーブルローラーには、高硬度で耐焼付き性、耐食性に優れた KOA-H5 を適用した。

クロップシャー前のテーブルには、熱延鋼板保温用のカバーが設置されており、さらに、熱延鋼板が停滞することもあるので、ローラーに熱き裂が発生しやすく、そのき裂の開口部にスケールの噛み込みが生じ、そのスケールが製品の裏面疵につながる。そこで、この部位のローラーには耐熱き裂性に優れた KOA-H3(L) を適用した。

その他のスケールブレイカーから粗ミル前面テーブルまでと、粗ミル出側のランナウトテーブルローラーは、耐焼付き性が必要であるが、耐熱き裂性も兼ね備えておく必要がある。とくにミル出側のランナウトテーブルはクロップシャー前のテーブルと同様に熱延鋼板保温用のカバーを設けており、とくに熱的条件が厳しい。そこで、この部位には耐焼付き性と耐熱き裂性に優れた KOA-H3(M) を適用した。

ホットストリップミルにおける各部位の要求機能³⁾と適用前後のローラー手入れ頻度の比を Table 4 に示す。ここで、ローラー手入れ頻度とは 4 週間に 1 回の点検で、設置ローラー本数に対して表面研削を行うロール本数の割合である。

Table 4 Comparison of grinding ratio between carbon steel roll and surface welding roll at No. 1 hot strip mill

Equipment	Roller table	Reversing mill	Roller table	Crop shear
Requirements and results of test				
Corrosion resistance	—	○	—	—
Hardness	○	●	○	—
Heat-checks resistance	○	—	○	●
Adhesive resistance	○	●	○	—
Comparison of grinding ratio ⁴⁾				
Original materials	G.R. 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 S35C	G.R. 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 S35C	G.R. 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 S35C	G.R. 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 S35C
Test materials	KOA-H3(M)	KOA-H5	KOA-H3(M)	KOA-H3(L)

*1 ●: Primary ○: Secondary

*2 Grinding ratio (G.R.) = $\frac{\text{number of rolls grinded for preventing scratches}}{\text{number of rolls}}$

従来、粗ミル前後および粗ミル以降のテーブルローラーは、1 回の点検で半数以上のローラー手入れが必要であったが、粗ミル前後のテーブルローラーに KOA-H5 を適用した後は、焼付きなどの欠陥が発生せず、手入れの必要がなくなった。その他のローラーでも従来品に比較して 1/2~1/6 の手入れ頻度になっており、製品の表面品質と生産性を大幅に向上することが可能となった。

3.2.3 厚板熱間矯正機における実機実験

この設備では製品とワークロール間の焼付きやロールの摩耗と摩耗傷の製品への転写、ワークロール傷のバックアップロールへの転写などがあり、製品の手入れやロールの手入れ・取替えなど、種々の問題を抱えていた。この解決策として、ワークロールに耐焼付き性の優れた KOA-H5 を適用し、バックアップロールには、靱性に優れた KOA-H4 を適用し、両者に硬度差をもうけた。

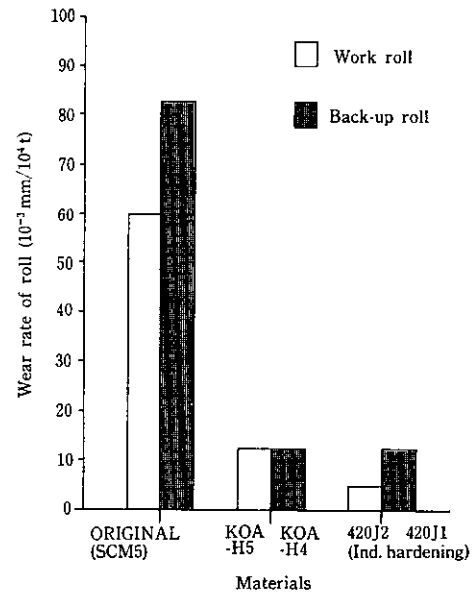


Fig. 3 Comparison of wear rate at hot leveler

厚板圧延設備の熱間矯正機での試験結果を Fig. 3 に示す。ここに示す摩耗量は 50 t 通過時の 1 万 t 当りのロール摩耗深さである。肉盛溶接により表面被覆したワークロールでは従来材料の 1/10、バックアップロールでは従来材料の 1/6 の摩耗量になった。鍛鋼品を中周波焼入れしたワークロールでは、表面硬度の均一効果により、さらにその 1/2 の摩耗量であった。

これにより製品およびロールの手入れ頻度が減少し、ロールの耐用寿命を飛躍的に延長することができた。

4 ハースロールに関する研究

4.1 被覆材料の選定と評価方法

高温耐摩耗材料としてセラミックスが考えられるが、セラミックスは一般に脆く、熱的衝撃に弱いことが知られている⁵⁾。しかし、ハースロールは、炉の加熱、冷却時ならびに操作中の冷却条件の変化により加熱、冷却を繰り返し受けるため耐熱衝撃性が必要となる。そこで、高温耐摩耗材料として期待できるアルミナ (Al_2O_3)、クロミア (Cr_2O_3)、タングステンカーバイド (WC)、クロムカーバイド (CrC) 系材料を選び、高温硬さ測定および熱衝撃試験を行った。

供試材の主な成分を Table 5 に示す。耐熱鋳鋼 (SCH22) は、ロール素材であり、高温硬さの比較材である。被覆方法は、直径 1000

Table 5 Compositions of base metal and thermal spray coating material for hearth rolls (wt %)

Type	Major compositions
SCH22 (base metal)	23~27Cr, 19~22Ni, 0.35~0.45C (the balance; Fe)
Al_2O_3	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 99$
Cr_2O_3	80 Cr_2O_3 , 20 Al_2O_3
WC	85 WC, 15 Co
CrC	80 Cr_3C_2 , 20 NiCr

Table 6 Compositions of thermal spray coating material used for the test of build-up resistance of hearth roll (wt%)

Type	Major compositions
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$	75 Al_2O_3 , 25 ZrO_2
ZrSiO_2	$\text{ZrSiO}_2 > 99$
CoCrAlY	90 CoCrAlYTa , 10 Al_2O_3 heat treated in air

mm の連続焼鈍設備 ハースロールにも施工が容易な溶射法を選んだ。

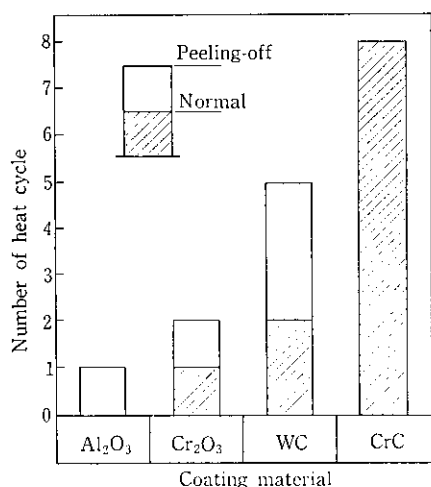
熱衝撃試験は、軟鋼板 (25 mm × 25 mm × 10 mm) 表面に 0.1 mm 厚みの溶射被覆を施した試験片を用い、1 100°C 加熱 (10 分間保持) 後、水冷する熱サイクルを繰り返し与えた。高温硬さ測定は、市販の高温硬さ計を用い被膜の断面で測定した。

耐ビルドアップ性能については、炉内雰囲気、鋼板温度、鋼板材質、前処理の状態など操作条件の影響を強く受けるため、実機で評価することにした。ビルドアップが発生しやすい条件、例えば溶融亜鉛めっき設備の炉内雰囲気温度および雰囲気露点は、連続焼鈍設備のそれよりも一般に高いため、この場合の供試材は酸化アルミナ・ジルコニア ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$)、ジルコン (ZrSiO_4)、耐熱合金 (CoCrAlY)¹⁰⁾ を選んだ。供試材の主な成分を Table 6 に示す。評価方法は、ロールの無手入期間とした。

4.2 高温耐摩耗被膜の評価

4.2.1 高温硬さ、熱衝撃試験結果

熱衝撃試験結果を Fig. 4 に示す。酸化物系の Al_2O_3 、 Cr_2O_3 溶射被膜は、それぞれ 1 回および 2 回の繰り返しで剥離した。炭化物系サーメット溶射被膜は酸化物系溶射被膜よりも耐熱衝撃性に優れ、とくに CrC 溶射被膜は、8 回の繰り返しでも割れおよび剥離が観察されなかった。

Fig. 4 Comparison of thermal shock resistance¹⁾

Al_2O_3 溶射被膜を除く各供試材の高温硬さ測定結果を Fig. 5 に示す。いずれも試験温度が高くなるにつれて硬さは低下するが、従来の耐熱鋼材 (SCH22) に比べれば、通常の操作温度である 800°C においても、十分に高い硬さを示している。

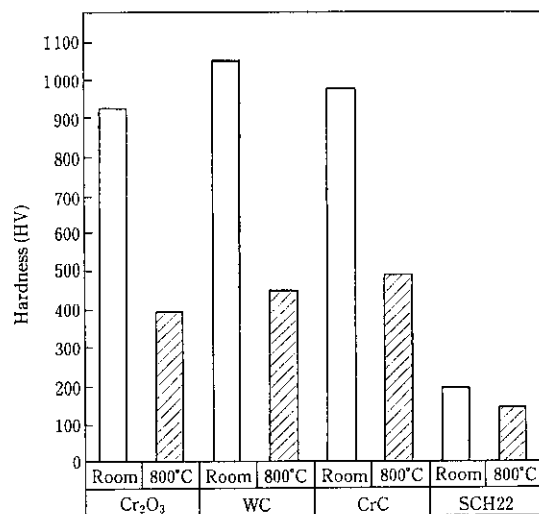
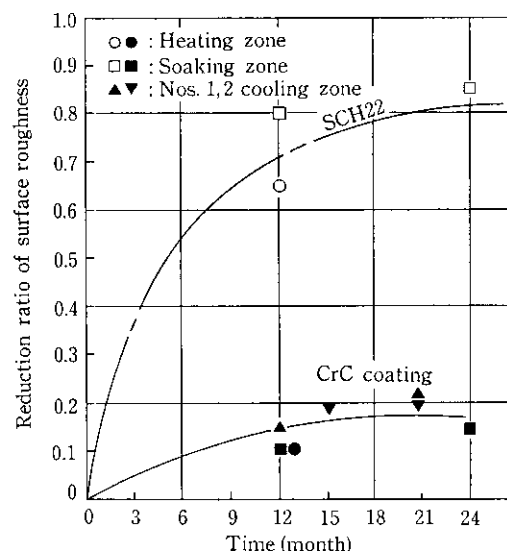
Fig. 5 Comparison of hardness between coatings and heat-resisting steel¹⁾

Fig. 6 Change in surface roughness of rolls

4.2.2 実機試験結果

CrC 系溶射被膜が耐熱衝撃性にとくに優れ、800°C の高温でも HV500 程度の硬さを有することが判明したので、皮膜厚さ 0.1 mm のロールを用い、千葉製鉄所 No. 2 連続焼鈍設備で実機試験を行った。そのロール表面粗さの変化を 2 年間にわたり調査した結果を Fig. 6 に示す。従来の耐熱鋼製ロールは、1 年間の使用で表面粗さが 70% 低下するのに対し、CrC 系溶射被覆ロールは 2 年間の使用でも表面粗さの低下はわずか 20% 程度であった。また、加熱帯、均熱帯、冷却帯の実験においても、この傾向は変わらなかった。

4.3 耐ビルドアップ性被膜の評価 (実機試験結果)

耐ビルドアップ性被膜の評価は、千葉製鉄所溶融亜鉛めっき設備で行った。その結果を Fig. 7 に示す。従来の耐熱鋼製ロールでは、2 箇月に 1 度ロール表面研削を行っていたが、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 溶射被覆ロールでは、その無手入期間を 7 箇月に延長することができ、さらに CoCrAlY 溶射被覆ロール (溶射後大気熱処理) では、2 年間使用後もビルドアップの発生はなかった。これは、筆者らが行った熱間焼付き試験¹⁾で確認した表面のごく薄い酸化膜層の効果

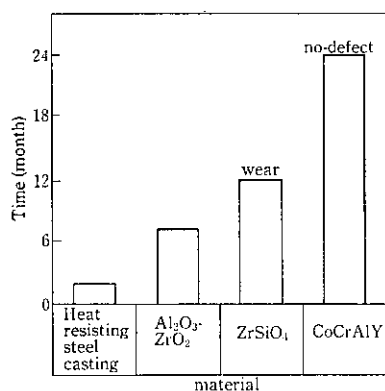


Fig. 7 Comparison of operating time without build-up

と考える。

なお、ZrSiO₄溶射被覆ロールも、ビルドアップの発生はなかったが、被膜粒子の脱落によると思われる摩耗が進行して1年の耐用寿命であった。

5 コンダクタロールに関する研究

5.1 被覆材料の選定と評価方法

コンダクタロールは電気伝導性の他に耐食性、耐摩耗性が要求される。溶射被覆材料の中で電気伝導性を有し一般に耐食性、耐摩耗性にも優れる材料としてニッケル基あるいはコバルト基の自溶性合金がある¹²⁾。しかも自溶性合金は一般のロール素材である炭素鋼よりも融点の低い材料、被覆後に熱処理を施すことで容易に貫通気孔のない被膜を形成することが可能である。そのため貫通気孔による母材界面の腐食を防止することができる。しかし、電気めっき設備のめっき液は塩酸、ふっ酸などを混合した強酸性水溶液であるから、その腐食挙動を調査する必要がある。

そこで JIS H 8303 で定める自溶性合金の中からニッケル基自溶性合金 (MSF-Ni4)、タングステンカーバイトを含有するニッケル基自溶性合金 (MSF-WC2) およびコバルト基自溶性合金 (MSF-Co2) を供試材として選定し、従来の被覆材料であるクロムめっきと比較した。供試材の化学組成と硬度を Table 7 に示す。自溶性合金被膜はビッカース硬度で HV500 以上あり、とくに MSF-WC2 に含有する WC 粒子の硬度は HV 1500 もあるため耐摩耗性についても期待できる。腐食試験の液組成は一般のめっき液¹³⁾を用い、液温は反

Table 7 Chemical composition and hardness of coating materials for conductor rolls

Type	Chemical composition (wt %)											Hardness (HV)
	Ni	Cr	B	Si	C	Fe	Co	Mo	Cu	W	WC	
MSF-Ni4	Bal	16.0	4.0	4.0	0.5	2.5		3.0	3.0			500~700
MSF-Co2	13.0	19.0	3.0	3.0	1.0	4.0	Bal			13.0		500~800
MSF-WC2	Bal	11.0	2.5	2.5	0.5	2.5					35	500~700 (WC: 1500)
Cr plating	>99.8											700~1000

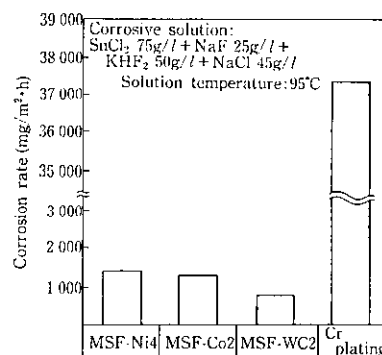


Fig. 8 Comparison of corrosion rate between self-fusing alloy coatings and Cr plating

応促進のため 95°C と実際よりも若干高めに設定した。また被膜以外はカーボン樹脂でマスキングを施し、静止液中に 48 時間浸漬後の腐食減量での耐食性を評価した。

腐食試験結果を Fig. 8 に示す。自溶性合金溶射被膜はいずれも従来のクロムめっき被膜に比べ耐食性に優れ、中でも MSF-WC2 は腐食減量がクロムめっき被膜の約 1/50 であることがわかった。すなわち、このようなめっき液腐食環境下では、Crめっき被膜は不動態を維持することが難しいものと思われる。

5.2 実機試験結果

MSF-WC2 の溶射被膜が耐食性に優れかつ十分な硬度も有していることがわかった。そこで、被覆厚み 1.0 mm を有するコンダクタロールを製作し千葉製鉄所 No. 2 電気鋳めっき設備での実機耐用試験を行った。その結果を Table 8 に示す。

Table 8 Test results of self-fusing alloy coated roll and Cr plated roll at electro-plating line

Material	Operating time	Results
MSF-WC2	10 months	Decrease of coating thickness of 0.33 mm
Cr plating	4 weeks	Base metal is exposed by corrosion

従来のクロムめっき被覆ロールは母材露出による耐用寿命が 4 週間であるのに対し、MSF-WC2 の溶射被覆ロールは 10 箇月使用後においても被覆厚みの減少量が 0.33 mm であった。これにより MSF-WC2 の溶射被覆ロールは再研磨することにより 2 年以上の被覆寿命が期待できる。

6 冷間加工プロセス用ロールに関する研究

6.1 被覆材料の選定と評価方法

冷間加工プロセス用ロールの表面粗さが低下するとスリップが発生し、逆に表面粗さを大きくすると鋼板に押しきずが発生する。従って、冷間加工プロセス用ロールの長寿命化を図るためには所定の表面粗さを長期間維持することが必要であり、そのために超硬質材料の被覆を検討した。超硬質な溶射被覆材料としては、タングステンカーバイト (WC) 系サーメットが一般に知られている¹⁴⁾。とくに WC87%、Co13% の組成の溶射被膜はビッカース硬度で 1200 も

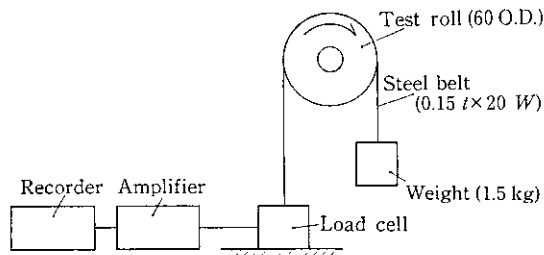


Fig. 9 Outline of testing machine for frictional coefficient

ある。そこで、まずロールの摩擦係数測定装置を使ってロール表面粗さと摩擦係数の関係を明らかにし、実機においては WC 系溶射被膜の粗度の変化を調査した。

摩擦係数測定装置の概略を Fig. 9 に示す。鋼帯の一方におもりを取付け、ロールを回転した状態で鋼帯の他方に発生する張力を測定した。そして摩擦係数は次式を用いて算出した。なお、ロールと鋼帯の間には油を噴霧し、相対すべり速度は 1.8 m/min とした。

$$T/W = \exp(\mu\theta)$$

T : 測定張力 (kg)

W : おもり重量 (kg)

μ : 摩擦係数

θ : まきつき角

また試験ロールとしては表面に WC 系材料を溶射被覆後ブラスト処理により中心線平均粗さを 1.2 μmRa と 3.2 μmRa に調整したものおよびブラスト処理後 Cr めっきを施すことにより 3.2 μmRa に粗度調整したものをそれぞれ準備した。

摩擦係数測定結果を Fig. 10 に示す。WC 系溶射被覆試験ロールで表面粗さが 1.2 μmRa と 3.2 μmRa の比較により粗度が小さくなると摩擦係数が大幅に減少することがわかる。また同一表面粗さの WC 溶射被覆試験ロールと Cr めっき被覆試験ロールを比較すると、WC 系溶射被覆試験ロールの方が摩擦係数が高いことがわかる。

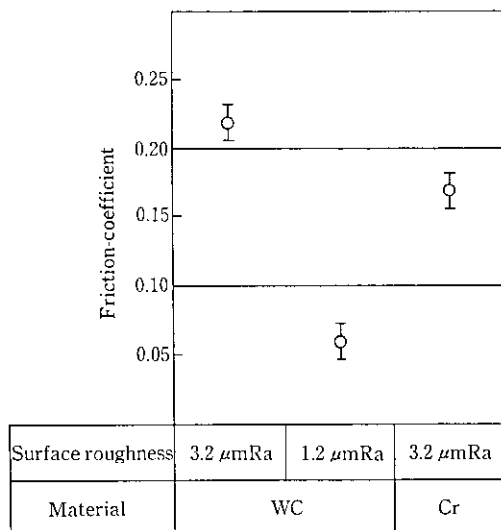


Fig. 10 Comparison of friction-coefficient between WC coating and Cr plating

6.2 実機試験結果

摩擦係数測定の結果、粗度が小さくなると摩擦係数が減少するこ

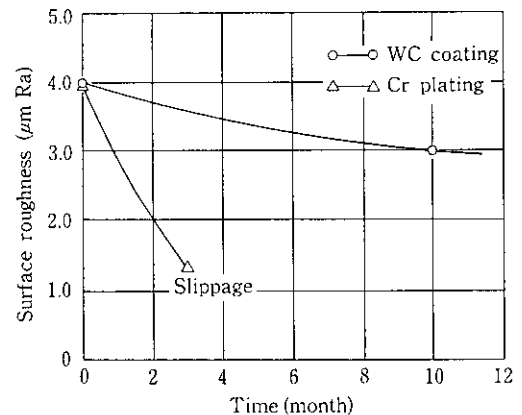


Fig. 11 Change in surface roughness of rolls

とがわかった。また WC 系溶射被膜は超硬質であり粗度の低下防止に有効であると考えられる。そこで、千葉製鉄所 No. 2 コールドタンデム圧延機の No. 6 スタンド出側デフレクタロールに厚み 0.1 mm の被覆を施し、従来の Cr めっき被覆ロールとの比較試験を行った。その結果を Fig. 11 に示す。

従来の Cr めっき被覆ロールは 3 箇月の使用で粗度が 4.0 μmRa から 1.2 μmRa に減少しスリップが発生した。これに対し WC 系溶射被覆ロールでは 10 箇月の使用においても粗度が 4.0 μmRa から 3.0 μmRa に減少した程度であり長期間の使用に耐えうることがわかった。

7 結 論

製鉄プロセスロールを使用条件から大別し、それぞれに対する要求機能とそれに適合する表面処理技術の研究成果について述べた。

- (1) 熱間加工プロセス用ロールでは、耐熱き裂性に重点を置いて開発した低 C-Cr-Mo 系肉盛溶接材料 (KOA-H3(L)) や耐食・耐エロージョン性に重点を置いて開発した低 C-13Cr-4Ni 系肉盛溶接材料 (KOA-H4) および耐焼付き性に重点を置いて開発した中 C-13Cr-V 系肉盛溶接材料 (KOA-H5) をそれぞれ商品化した。
- (2) ハースロールには、高温硬さと耐熱衝撃性を兼ね備えた CrC 系サーメット溶射材料の適用技術を開発した。また、耐ビルドアップ性に優れた CoCrAlY 系溶射材料も見い出した。
- (3) コンダクタロールには、耐食性と十分な硬度を有する WC 含有 Ni 基自溶性合金の適用技術を開発した。
- (4) 冷間加工プロセス用ロールでは、表面粗さと摩擦係数の関係を明らかにし、高硬度の WC 系サーメット溶射材料を適用することにより、長期にわたる耐スリップ性の維持が可能となった。

これら技術の適用拡大を進めることにより、プロセスロールの長寿命化ならびに製品品質の向上を図ることができた。しかしながら、製品品質に対する要求は近年、ますます厳しくなっており、またプロセスロールの使用条件も苛酷になってきているため、今後も新しい被覆材料の開発や、表面処理技術の研究につとめてゆく所存である。

最後に本報で紹介した溶射被覆の研究過程で、ユニオンカーバイド・サービセス株式会社およびトーカロ株式会社の関係諸氏に種々の御協力を頂いた。記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 笠井 聡, 矢田充宏, 下山雄二, 岸田 朗, 落合憲一郎, 比良隆明: プラントエンジニア, **17** (1985) 1, 24
- 2) 西阿佳昭, 西浦徹也, 三木徹夫, 森 英朗: 鉄と鋼, **71** (1985) 5, S469
- 3) 日本鉄鋼協会編: 「鋼の熱処理」, (1969), 351, [丸善]
- 4) 日本プラントメンテナンス協会編: 「現場の再生補修技術」, (1984), 210, [日本能率協会]
- 5) 徳田 昭, 熊川有宏, 中川嘉一: 日本製鉄所技報, (1970) 27, 36
- 6) 川崎製鉄(株): 特公昭 58-35577
- 7) 市原 晃, 久保田和雄, 丹野栄一, 石亀公夫, 佐藤貞夫: 川崎製鉄技報, **12** (1980) 3, 130
- 8) 菱沼 至, 豊島 貢, 笠井 聡, 大西 廣: 鉄と鋼, **67** (1981) 12, S960
- 9) 加藤泰三: プラントエンジニア, **16** (1984) 8, 8
- 10) 霜島一三, 逢坂達吉: 鉄と鋼, **69** (1983) 10, 1229
- 11) 笠井 聡, 行木正雄, 福永一郎, 酒井健二: 「熱間におけるセラミックコーティング材のすべり摩擦特性」, 日本潤滑学会九州大会予稿集 (1983), 17
- 12) 蓮井 淳: 「溶射工学」, (1969), 89, [養賢堂]
- 13) 伴野哲郎: 「ぶりきとティンフリー・スチール」, (1970), 90, [アグネ]
- 14) 蓮井 淳: 「溶射工学」, (1969), 105, [養賢堂]