

## 技術報告

熱延用高クロム鑄鉄ロール材の高温摩耗特性と  
その使用成績野口 紘\*・田中 智夫\*<sup>2</sup>・川元 孝一\*<sup>3</sup>・梅本 純生\*<sup>3</sup>High-temperature Wear Properties and Actual Rolling Results  
of High-chromium Work Roll for Hot Strip Mill

Hiroshi NOGUCHI, Tomoo TANAKA, Kooichi KAWAMOTO and Sumio UMEMOTO

## Synopsis :

Wear properties of high-chromium and adamite roll materials have been investigated by using roll wear machine designed to simulate the working conditions of a roll at high temperatures. It has been shown that high-chromium roll materials have better wear resistance than adamite roll materials. The use of the high-chromium rolls for work roll in the primary stand of hot strip mill finishing train decreased roll cost without deteriorating surface of hot strip.

## 1. 緒 言

従来、川崎製鉄(株)水島製鉄所では、熱間圧延用仕上げ前段ワークロールとしてアダマイトロールを使用していた。しかし、省エネルギー圧延など圧延条件の過酷化にともなつてロールの表面損傷がひどくなり、それが製品表面品質にも悪影響をおよぼすことから問題となつた。

とくに最近のように、需要動向が薄物化、高表面品質化指向となつてくると、ますます上記傾向が強くなつてくることはさげられない。

これらの問題に対処するため、昭和 56 年 3 月より仕上げ前段ワークロールに高クロム鑄鉄ロール(以下ハイクロムロールとする)の使用を開始した。58 年 4 月までの実績で、ハイクロムロールはアダマイトロールに比べて優れたロール成績を示している。

ここでは、ロール摩耗シミュレーターを用いてハイクロムロール材の高温摩耗特性を調べ、アダマイトロール材との比較を行つた結果について述べると共に、ハイクロムロールを実機に導入してロール成績を向上させたロール管理方法の一端を紹介する。

## 2. 高温摩耗特性の調査

## 2.1 ロール摩耗シミュレーターの概要

川崎製鉄(株)の所有する東試式ロール摩耗シミュレー

ターは、2つの円板によるころがりすべり方式の試験装置である。試験片の装着状況を Photo. 1 に示す。上側の大きな円板が被圧延材に相当する加熱片、それに接する下側の小さな円板がロール材に相当する供試片である。圧延圧力をシミュレートする荷重は油圧により最高

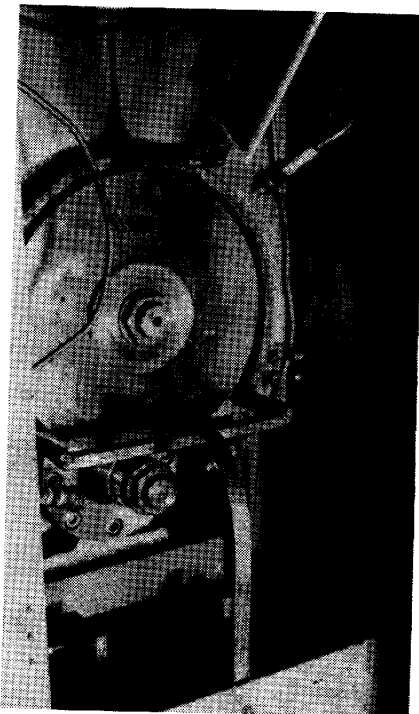


Photo. 1. Hot wear simulation device.

昭和 57 年 9 月本会講演大会にて発表 昭和 58 年 7 月 28 日受付 (Received July 28, 1983)

\* 川崎製鉄(株)技術研究所知多研究室 (Chita Laboratory, Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., 1-1 Kawasaki-cho Handa 475)

\*<sup>2</sup> 川崎製鉄(株)技術研究所 工博 (Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp.)

\*<sup>3</sup> 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp.)

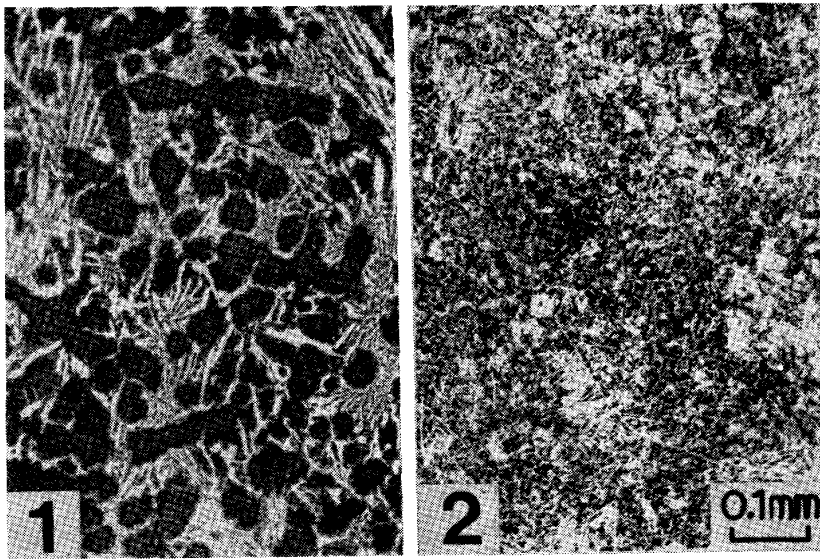


Photo. 2. Microstructures of (1) high-chrome and (2) adamite roll materials. (Nital etch)

500 kgf までかけられ、加熱片は周囲の高周波加熱用コイルにより最高 1100°C まで加熱できる。

供試片軸の回転速度は 700~6000 rpm の範囲で無段階に変速でき、加熱片軸の回転速度は変速ギヤを介して4段階に減速できるようになっている。また、すべり率は両軸の回転速度差および加熱片径と供試片径の組み合わせを変えることにより、3.9~50.2% の範囲で適宜選択可能である。なお、供試片の温度は冷却水流量の増減によっても制御することができ、測温は自動2色放射温度計により行っている。実験中に採取できるデータは、加熱片と供試片の温度、軸トルク及び荷重である。

2.2 実験方法

2.2.1 供試材

供試材には実験用に試作した 850φ×1500 mm 鑄塊を実際のロールと同じに熱処理したハイクロムおよびアダマイトロール材を用い、これらから 50φ×10 mm の供試片を採取した。供試材の化学成分と硬さを Table 1 に示す。

ハイクロムロール材は 2.3C-16Cr 系、アダマイトロール材は 1.4C-1Cr 系で、ハイクロムロール材の方がアダマイトロール材よりも C, Cr の含有量が高く、ショアー硬さも高い。

次に両供試材の組織を Photo. 2 に示す。ハイクロム

Table 1. Chemical composition and hardness of roll materials used.

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Hs
High-chrome (Hi-Cr)	2.25	0.68	0.75	0.015	0.009	1.28	15.51	1.32	70
Adamite (AD)	1.40	0.65	0.80	0.012	0.008	0.96	1.00	0.58	55

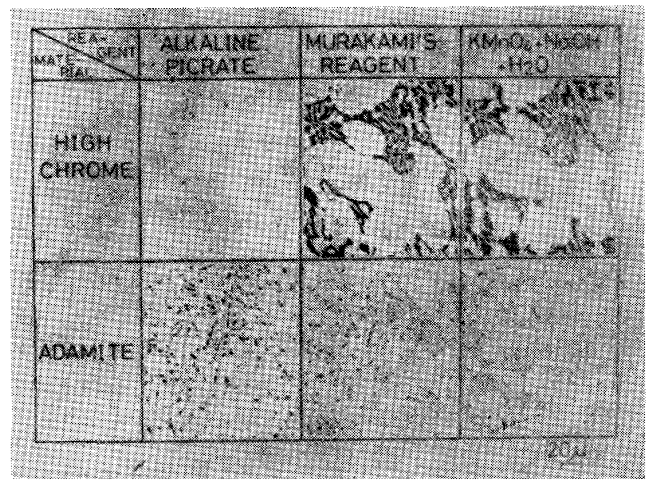


Photo. 3. Carbide etched by various reagent in high-chrome and adamite roll materials.

ロール材の組織は炭化物が連なつて基地が分断されているのに対し、アダマイトロール材のそれは基地の中に針状炭化物が析出した組織となつている。また、ハイクロムおよびアダマイトロール材の炭化物を、炭化物同定用腐食液<sup>1)</sup>を用いて調べた結果を Photo. 3 に示す。

アルカリピクレート液では、M<sub>3</sub>C 型の炭化物のみ腐食され、M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 型の炭化物は腐食されないことから、ハイクロムおよびアダマイトロール材の炭化物は、それぞれ、M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 型、M<sub>3</sub>C 型であることがわかる。

2.2.2 実験方法

実験は、前項で述べたロール材から採取した 50φ×10 mm の供試片と、S45C でつくつた 190φ×15 mm の加熱片とを用いて行つた。加熱片の温度は 900°C と一定にし、冷却水流量をかえて供試片温度を変化させた。加熱片と供試片との接触荷重は、摩耗量の荷重依存性を調査した時以外は 20 kgf と一定にした。この場合、供

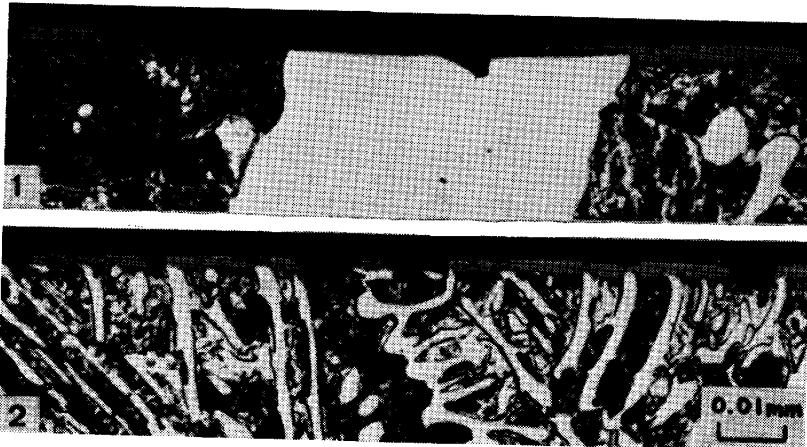


Photo. 4. Black oxide layers on (1) large carbide and (2) small carbide in adamite roll material.

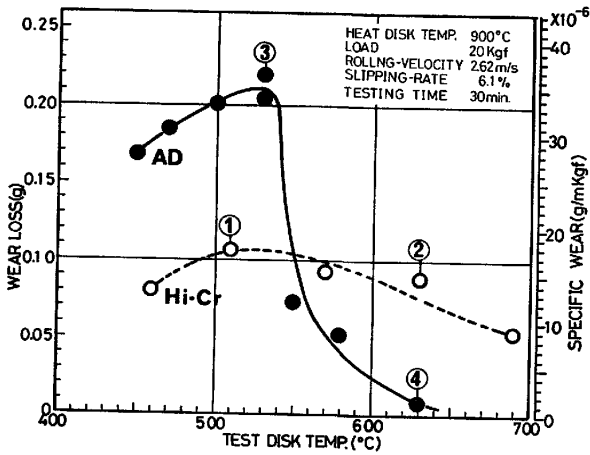


Fig. 1. Wear properties of high-chrome and adamite roll materials.

試片表面に働く最大接触応力  $P_{max}^{2)}$  は約 14 kgf/mm<sup>2</sup> となり、この値は 3.5 mm 厚以上の熱延鋼帯を圧延するときの仕上げ前段ワークロールに働く接触弧面内平均圧力を想定してきめたものである。

また、供試片の周速は 2.62 m/s と一定にし、加熱片の周速を変えることにより、先進側のすべり速さまたはすべり率をかえた。実験時間は負荷後 30 min とし、実験終了後摩耗減量、表面粗さおよび摩擦係数を求めた。摩擦係数は測定した軸トルクより計算した。

さらに、摩耗試験終了後の摩耗面を走査型電子顕微鏡で観察し、ロール材質との関係を調査した。

2.3 実験結果と検討

2.3.1 摩耗量の温度依存性

ハイクロムおよびアダマイtrol材の比摩耗量と表面温度との関係を Fig. 1 に示す。供試ロール材の表面温度が上昇するにつれて、両ロール材とも比摩耗量が増加し、500~540°C の間で最大値に達するが、さらに温度が上昇すると両ロール材共比摩耗量は減少する。しか

し、高温域での比摩耗量減少の程度は材質により異なり、アダマイtrol材の方がハイクロムロール材よりもはるかに大きい。

両ロール材の比摩耗量が、ある温度以上になると減少するのは、摩耗面に耐摩耗性のある酸化皮膜が生成するため<sup>3)4)</sup>、ハイクロムロール材とアダマイtrol材の比摩耗量の差は、両材料における酸化皮膜の生成程度の差によると考えられる。摩耗試験終了後の試験片表面を肉眼観察すると、ハイクロムロール材の摩耗面はかつ色を呈しているのに対し、アダマイtrol材の摩耗面は黒色を呈し、明らかに黒皮が生成しているのが認められた。すなわち、ハイクロムロール材はアダマイtrol材に比べて黒皮が生成しにくいことがわかる。

この原因は、両ロール材の組織差に起因すると考えられたので、摩耗面のマイクロ観察を行った。Photo. 4 にアダマイtrol材に生成した黒皮を示す。添野ら<sup>5)</sup>が指摘しているように、黒皮は基地に生成しやすく、かつ炭化物が微細なほど生成しやすいことが認められる。

この観察結果から、黒皮はロール材自身の酸化により生成し、ハイクロムロール材がアダマイtrol材よりも黒皮が生成しにくいのは、ハイクロムロール材の方が、Photo. 2 に示すように炭化物量が多いことによるものと推察される。なお、Cr 量の増加は耐高温酸化性を改善する<sup>6)</sup>がこのことが、黒皮の生成しにくさに関与しているか否かは明らかでない。

次に、両ロール材の高温硬さ測定結果を Fig. 2 に示す。両ロール材の硬さの低下の傾向はほとんど同じで、硬さの差は高温域でも保たれていることがわかる。

酸化皮膜の生成しない 500°C 以下の低温域で、ハイクロムロール材の比摩耗量がアダマイtrol材の約半分であるのは、低温域での摩耗形態がメカニカルアブレシブ摩耗である<sup>6)7)</sup>から摩耗量が材料の硬さに反比例す

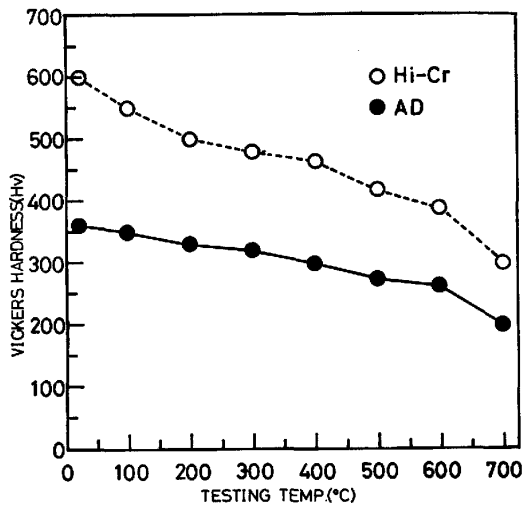


Fig. 2. Hot hardness of high-chrome and adamite roll materials.

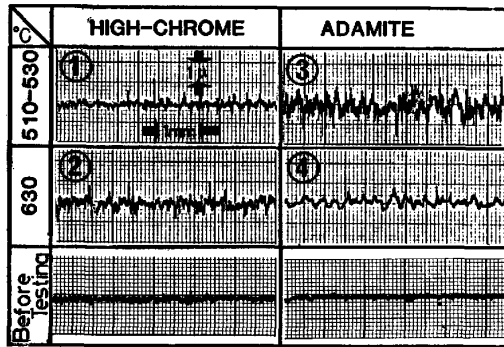


Fig. 3. Surface roughness of high-chrome and adamite roll materials.

る<sup>8)</sup>ことに起因していると考えられる。

以上の調査結果から、ハイクロムロール材はアダマイトロール材に比較して炭化物量が多いため酸化皮膜（黒皮）は生成しにくい、反面高温硬さが高くして摩耗量の温度依存性も小さく、黒皮剝離が余儀なく起こるような高負荷圧延条件下では優れたロール成績を示すものと期待される。

2.3.2 摩耗面の粗さと摩擦係数

ロール材の摩耗面の粗さは、被圧延材の製品表面品質に大きな影響をおよぼすと考えられるので摩耗面の粗さを測定した。その結果を Fig. 3 に示す。図中 ①～④の番号は、Fig. 1 中の番号 ①～④に対応する。

ハイクロムロール材の摩耗面の粗さは、温度にほとんど関係なく小さいことが認められる。これに対してアダマイトロール材の場合、黒皮が生成したときの粗さは小さいが生成しないときの粗さは大きい。これは、ハイクロムロール材の摩耗粉がアダマイトロール材の摩耗粉に比べて小さいことが原因と考えられることから、両ロー

ル材の摩耗面を走査型電子顕微鏡で観察した。その結果を Photo. 5 に示す。写真中の番号 ①～④は、前述の Fig. 1 および Fig. 3 の ①～④にそれぞれ対応する。

ハイクロムロール材の基地中には微細な析出炭化物が見られ、これらが微細な摩耗粉を形成しやすいため表面粗さが小さいと推定される。また、540°C以上の高温域での摩耗面を比較すると、ハイクロムロール材の表面には黒皮の生成が見られないのに対し、アダマイトロール材の表面には1~2 μm程度の黒皮が生成しているのが認められる。

次に、両ロール材の摩擦係数と温度との関係を Fig. 4 に示す。ここで、摩擦係数は、実測した軸トルクを荷重と供試片半径で除して求めた。ハイクロムロール材の摩擦係数はアダマイトロール材に比べてその温度依存度が小さく、これには表面粗さの大小が関係しているように思われる。

2.3.3 比摩耗量の荷重およびすべり速さ依存性

供試両ロール材の比摩耗量と荷重との関係を Fig. 5

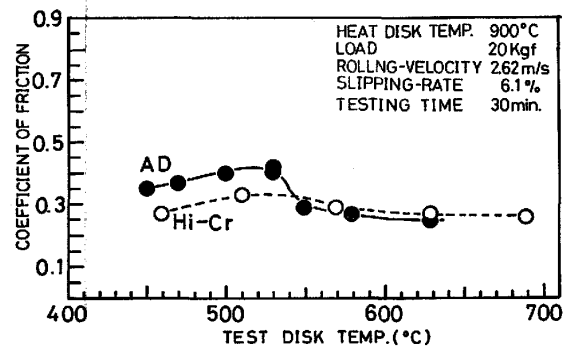


Fig. 4. Coefficient of friction versus test disk temperature.

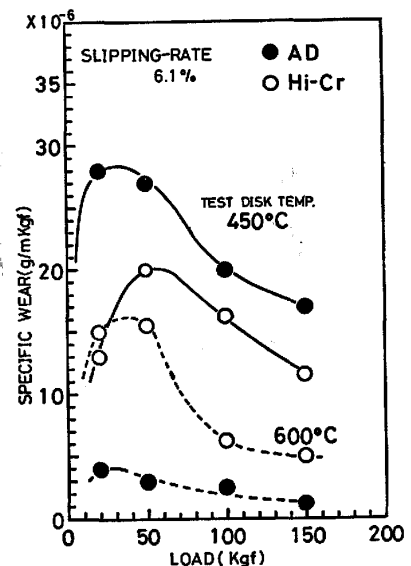


Fig. 5. Wear properties versus load.

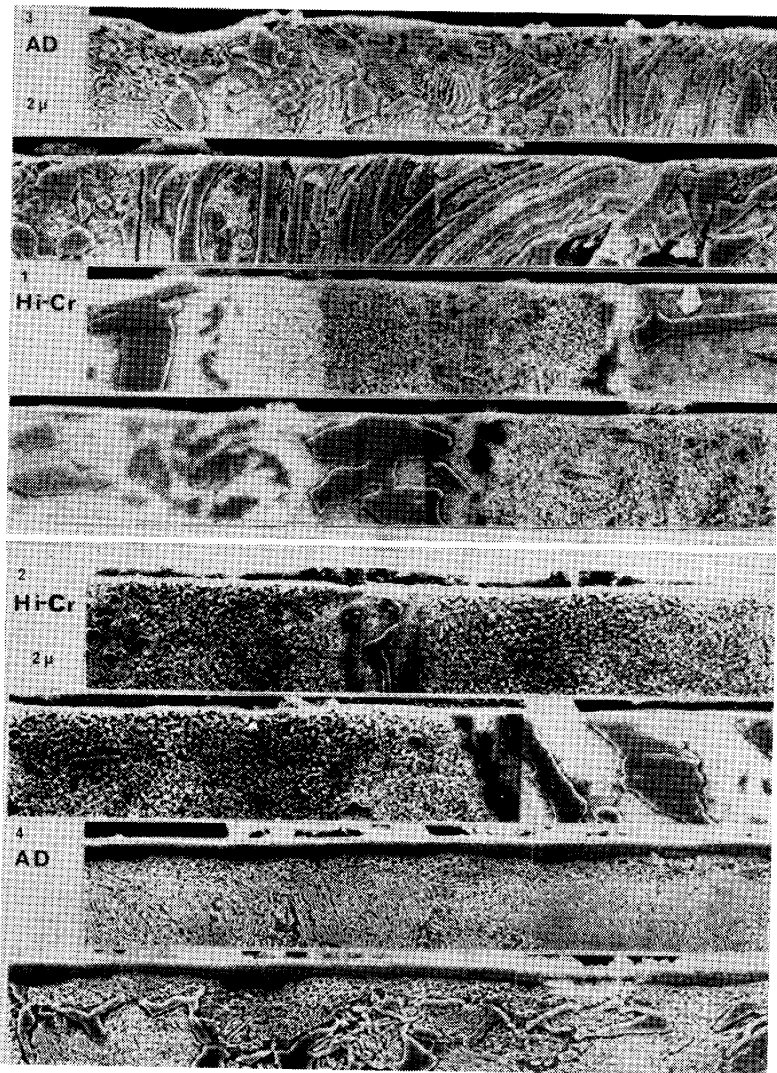


Photo. 5. SEM Photograph of the cross sections of roll materials after wear testing.

に示す。この場合、試験温度としては、アダマイтроール材に黒皮が生成しない 450°C と、生成する 600°C とを選んだ。

荷重の増加につれて、両ロール材の比摩耗量は最大値に達したのち減少するが、最大値に達する荷重は、ハイクロムロール材の方がアダマイтроール材よりも大きく、かつ両ロール材とも温度の低い方が大きい。これらの挙動はすべて摩耗面に生成する酸化皮膜の耐摩耗性で説明がつく。すなわち、荷重の増加につれて摩擦熱が大きくなり、それが摩耗面の温度を上昇させてハイクロムロール材にはかつ色の酸化皮膜を、アダマイтроール材には黒皮を生成させたためである。これらの摩耗面をX線回折により分析した結果、ハイクロムロール材のかつ色摩耗面は  $Fe_2O_3 + Fe_3O_4$  が、アダマイтроール材の黒皮は  $Fe_3O_4$  が主であった。

Fig. 6 には、両ロール材の比摩耗量とすべり速さとの関係を示す。すべり速さがある値以上になると、酸化

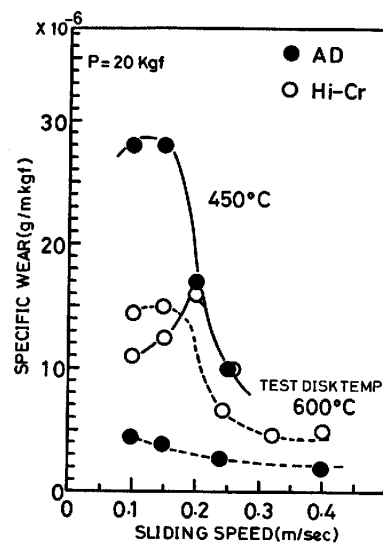


Fig. 6. Wear properties versus sliding speed.

皮膜または黒皮が生成して比摩耗量が減少するのは、荷重増加による両ロール材の摩耗挙動と同じ現象であると

推定される。摩擦熱がロール表面温度の上昇に大きく寄与することは矢中らの報告<sup>9)</sup>でも明らかである。

2.4 実験結果のまとめ

ロール摩耗シミュレーターを使用して、ハイクロムロール材とアダマイトロール材との高温摩耗特性を調査した結果、次のことがわかった。

ハイクロムロール材はアダマイトロール材にくらべて黒皮が生成しにくく、摩耗量の温度依存性も小さい。また摩耗面の表面粗さや摩擦係数の温度依存性も小さい。

これは、ハイクロムロール材中に存在する共晶炭化物量と、基地組織に起因している。

従つて、ハイクロムロール材を実機に導入した場合、アダマイトロールでは黒皮剥離が余儀なく起こるような高負荷圧延条件下においても、製品表面品質から見ても、ロール原単位から見ても、優れたロール成績を示すものと期待される。

3. ハイクロムロールの使用成績

水島熱延工場の仕上げ圧延機は7スタンドからなっており、仕上げ前段がF1~F4の4スタンド、仕上げ後段がF5~F7の3スタンドで構成されている。仕上げ前段用ロールは、まずF2スタンドで胴径820mm<sup>φ</sup>から800mm<sup>φ</sup>になるまで使用され、次にF1スタンドにまわされて800mm<sup>φ</sup>から780mm<sup>φ</sup>まで使用される。その後、F3スタンドで780mm<sup>φ</sup>から745mm<sup>φ</sup>まで使用された後、最後にF4スタンドにまわされ、700mm<sup>φ</sup>まで使用されて廃却となる。

ハイクロムロールを仕上げ前段用ロールとして導入して以来、最近の使用成績をFig. 7に示す。この図の縦軸は、圧延1チャンス当たり、ロール1本当たりの摩耗量を、直径減少量(mm<sup>φ</sup>/回本)で示したものである。この値は最大摩耗径から初期クラウン量を引いた値であ

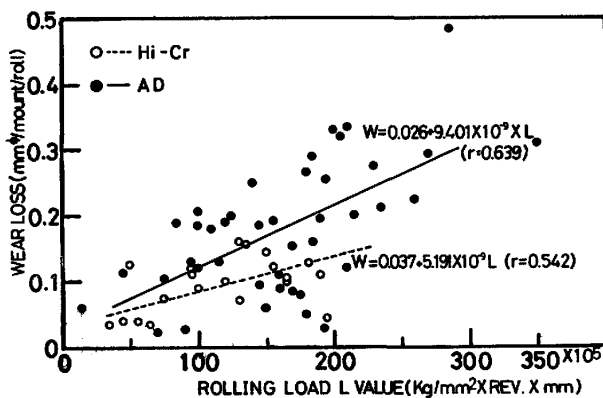


Fig. 7. Wear loss of high-chrome and adamite rolls during actual rolling.

るが、最大摩耗径の測定にあつては、できるかぎり正確を期すために、使用後のロールを常温まで冷却したのち、プロフィールチャートを取り、それを用いて行つた。

また、横軸はロール負荷の程度を示すパラメータで、圧延1チャンスの最大面圧(P kgf/mm<sup>2</sup>)、総ロール回転数(R rpm)及びロールの接触弧長(X mm)の積Lで定義しており、L値が大きいほど、ロールはより過酷な圧延条件で使用されたことを意味する。Fig. 7に示すとおり、ハイクロムロールはアダマイトロールに比較して耐摩耗性が優れていることがわかる。

次に、F1~F4の各スタンド別、ハイクロムロールとアダマイトロールとの摩耗量の差の、アダマイトロールの摩耗量に対する割合をFig. 8に示すが、後段になるほどハイクロムロールの使用効果が大きいことが認められる。これは、後段になるほどロールの受ける負荷はきびしくなり、かつ黒皮が生成しにくくなることから、両ロール材の材質差があらわれたものと推定される。

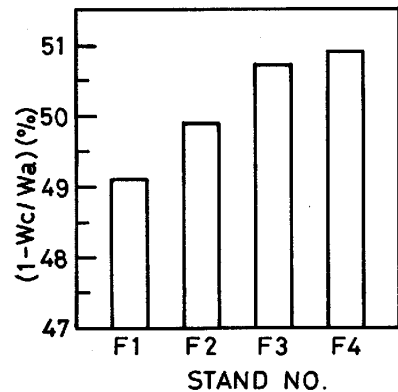


Fig. 8. Decrease in wear loss of high-chrome work roll for hot strip finisher mill in comparison with adamite roll where  $W_c$  and  $W_a$  are wear loss of high-chrome roll and adamite roll respectively.

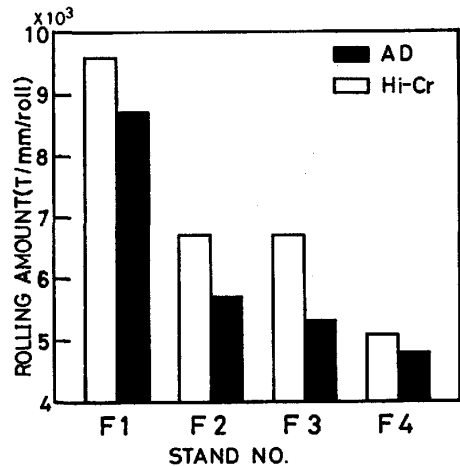


Fig. 9. Actual rolling results of high-chrome and adamite rolls.

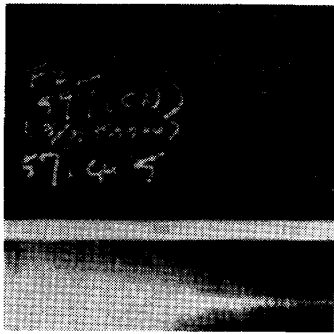


Photo. 6. Surface of high-chrome roll after rolling.

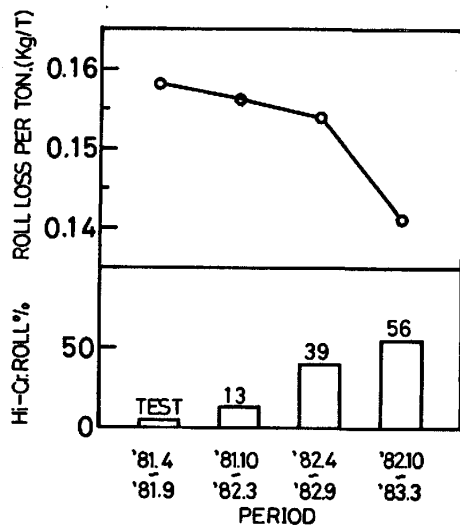


Fig. 10. Roll loss per tonnage and using ratio of high-chrome rolls in hot rolling in the last 2 years.

Fig. 9 は、各スタンドごとのロール成績(T/mm・本)を示すが、各スタンドともハイクロムロールの優位が認められる。また、ハイクロムロールのロール肌を Photo. 6 に示すが、黒皮が生成した良好なロール肌をしており、この点摩耗試験結果とは異なっている。これは、圧延量に対応する摩耗試験時間が短かつたためと推定される。当社の所有する摩耗シミュレーターは前述したように2円板方式のため、高温、高負荷条件になるほど長時間の試験は無理であり、今後は試験方法のくふうでカバーしていきたいと考えている。

ハイクロムロールを仕上げ前段用ロールとして導入し

て以来、現在までのところ、製品表面品質への悪影響もなく、ロール原単位も下がって良好な成績をおさめている。

Fig. 10 は、F1~F4 スタンドでの平常ロール原単位の推移を示すが、ハイクロムロールの使用率増加にあいまってロール原単位が下がっているのがわかる。とくに、57 年下期 (57 年 10 月~58 年 3 月) に著しく下がったのはロール自身の材質改善等によつてロールの寿命が長くなつたためである。今後はさらにロールチャンスフリー圧延に向けて、ロール使用技術の向上およびロール材質改善をはかつていきたい。

#### 4. 結 言

ハイクロムロール材はアダマイトロール材にくらべ、黒皮が生成しにくく、かつ摩耗量の温度依存性が小さいことが特徴である。また、摩耗面の表面粗さも小さく、圧延製品の表面品質に悪影響をおよぼすとは考えにくい。

水島熱延工場でこのロールを仕上げ前段用ロールとして導入したところ、予想どおり製品表面品質を阻害することなくロール原単位を下げることができた。これは、当ロールの特性を十分把握したうえで導入拡大をはかつていつたためである。今後は、ハイクロムロールの材質改善を行いながら、さらに導入拡大をはかつていくつもりである。

#### 文 献

- 1) 松原安宏, 大城桂作, 松田公扶: 鋳物, 48 (1976), p. 706
- 2) 中川師夫: 日立評論, 50 (1968), p. 564
- 3) 牟田 徹, 大貫 輝, 増田一郎, 仁保秀司: 鉄と鋼, 61 (1975), S 281
- 4) 関本靖裕: 塑性と加工, 23 (1982), p. 952
- 5) 添野 浩, 玉村建雄, 赤堀公彦, 末永 允, 田中守通: 日立評論, 50 (1968), p. 553
- 6) 新居和嘉: 防食技術, 26 (1977), p. 389
- 7) 大貫 輝, 蓮香 要, 加藤 治, 中島浩衛: 鉄と鋼, 65 (1979), S 789
- 8) 矢畑 昇: 材料試験技術, 25 (1980), p. 172
- 9) 矢中楳二, 外山 弘, 綾垣昌俊, 松田輝雄, 斎藤弘道, 木村和夫, 岡野 勲: 製鉄研究 (1982) 308, p. 104