

Friction and Wear of Roll Materials for Hot Working Roll at High Temperatures



野口 紘
Hiroshi Noguchi
鉄鋼研究所 知多研究
部 主任研究員(課長
補)



渡辺 靖夫
Yasuo Watanabe
鉄鋼研究所 知多研究
部 主任研究員(課長)
工博

1 緒 言

薄板、厚板、形鋼および条鋼などの熱間圧延においては、省エネルギー圧延、製品の高品質化などを目指しており、それにとりまなつた圧延条件の過酷化から、ロールに対する品質要求もますますきびしくなつてつある。一般に、熱間圧延用ロールへの要求品質としては、耐事故性、耐摩耗性、耐肌荒れ性、耐熱亀裂性および耐焼付性などがあり、ロールの使用環境条件により、具備すべき品質が決められる。例えば、ホットストリップミル用仕上り前段ワークロールでは耐肌荒れ性が、形鋼圧延用垂直および水平ロールでは耐焼付性がとくに重要視されてきている。

なかでも、耐事故性と耐摩耗性は、ロールにとって欠くことのできない基本的要求品質であり、これら基本的品質と用途に応じたロール固有の品質とを合わせ持ったロールを造ることが重要である。

そのため、現在では、外層は耐摩耗性などの特性を満たし、内層は強靱性に富んだ複合遠心鑄造ロールが製造され、使用されている。

当社、知多製造所では、熱間圧延用複合遠心鑄造ロールを製造しており、使用条件に応じたロール材の品質改善、新ロールの材質設計など、いくつかの研究を行ってきた¹⁻⁶⁾。

圧延側の厳しい要求に応じた、耐摩耗性の優れた熱間圧延用ロールを製造するためには、ロール材の基本品質である耐摩耗性を十分把握しておくことが必要である。熱間圧延用ロール材としては、現在、主として高クロム鑄鉄(高Cr鑄鉄)、高合金ニッケルグレン鑄鉄(高NiG鑄鉄)およびアダマイト鑄鋼が使用されているが、これら各種ロール材の耐摩耗性は、化学成分、熱処理条件などを変えることにより変化する。さらに、ロールの使用環境条件、とくにロール表面温度、圧延圧力、すべり速さ、潤滑条件などによつても、これらロール材の耐摩耗性は大きく影響を受ける。

本報告は、熱間圧延用ロール材について行った高温摩耗試験結果

要旨

熱間圧延用ロール材、すなわち、高クロム鑄鉄、高合金ニッケルグレン鑄鉄およびアダマイト鑄鋼の、高温における摩擦と摩耗について、二円板型高温摩耗試験機を用いて調査した。これらのロールを酸化摩耗領域で使用すれば、摩擦係数低下による省エネルギー圧延および耐摩耗性向上によるロール原単位低減が期待できる。また、これらロール材の耐摩耗性を改善するためには、高硬度化が必要であるが、そのためには、炭化物量を最適とすると共に、基地の残留オーステナイトを低減し、ベイナイト化かマルテンサイト化することが重要である。鑄鉄系ロール材の最適炭化物量は、高クロム鑄鉄が20%以上、高合金ニッケルグレン鑄鉄では32%前後である。

Synopsis:

High-temperature friction and wear properties of hot working roll materials such as high-chromium cast iron, high-alloyed nickel grain cast iron and adamite cast steel have been investigated by using a twin-disc-type high temperature wear testing machine. When these materials are adopted in hot working rolls under some oxidative wear conditions, saving energy of rolling operation can be expected because of the decreasing friction coefficient, and roll costs also could be reduced because of better wear resistance. These roll materials must be as hard as possible to have better wear resistance. For that purpose, it is important that the matrix structure of these roll materials consist of an optimum volume fraction of carbides, decreasing retained austenite in the matrix by changing the austenite into martensite or bainite. It has been proved that the optimum volume fraction of carbides in the high-chromium cast-iron structure is more than 20% and that in the high-alloyed nickel grain cast iron structure is about 32%.

をもとに、これらロール材の摩擦と摩耗についてまとめたものである。

2 実験装置および実験方法

2.1 二円板接触型高温摩耗試験機

高温摩耗試験に使用した試験機は、上下2つの円板を油圧により強制接触させながら、異なった回転速度を与えて、ころがりすべり摩耗を行う試験機である。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。加熱片の大きさは190 mmφ×15 mmで、S45C材でつくっている。また、供試片の寸法は50 mmφ×10 mmが標準であるが、80 mmφ×10 mmまでの

* 昭和62年5月18日原稿受付

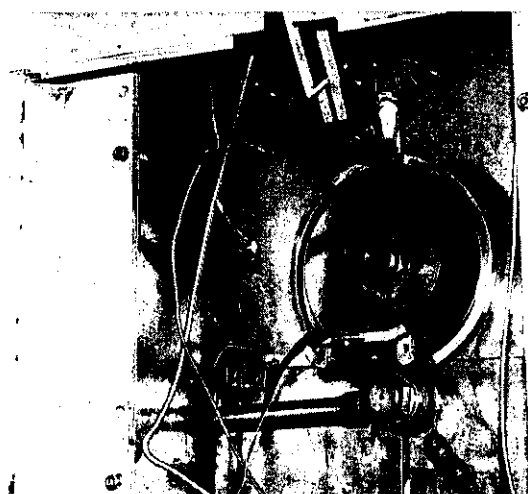


Photo 1 Hot wear simulation device

供試片が必要に応じて任意に設定できるようになっている。

圧延圧力をシミュレートする荷重は油圧により最高 500 kgf までかけられ、加熱片は Photo 1 に示すように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。供試片軸はモーターに直結しており、700～6000 rpm の範囲で無段階に変速できるようになっている。また、加熱片軸は、変速ギヤを介して供試片軸と連結されており、ギヤ比を選択することにより 4 段に減速できる。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、選択可能である。例えば、190 mmφ の加熱片と 50 mmφ の供試片との組み合わせでは、3.9%、6.1%、9.6% および 14.2% のすべり率が選択できる。

测温はファイバースコープ型の二色温度計で非接触方式により行っており、加熱片側の温度計は 700～1100°C まで、供試片側の温度計は 300～800°C までの测温が可能である。

なお、潤滑装置も備えており、圧延潤滑実験もできるようになっている。

実験中に採取できるデータは、加熱片と供試片の温度、軸トルクおよび荷重である。

2.2 実験方法

実験に使用した供試片は、とくにことわらないかぎり、20 kg 高

周波誘導溶解炉を用いて溶製した試験材から採取した。試験材は、70 mmφ の丸棒とし、砂型に鋳込んでつくった。この丸棒を所定の条件で熱処理した後、機械加工により 50 mmφ × 10 mm² の供試片に仕上げた。なお、70 mmφ の試験材から、50 mmφ の供試片を採取したのは表層部の凝固速度の速い部分をさけ、できる限り大きなロールの凝固組織に近づけようと考えたからである。

実験は、これら供試片と、S45C の加熱片とを用いて、主としてすべり速さを変えて行った。しかし、供試片の表面温度（平均値）を変える実験においては、加熱片の温度は一定とし、供試片側の冷却水流量を変えた。

耐摩耗性を評価する比摩耗量は、得られた摩耗減量（体積）を単位すべり長さ、単位荷重当りに換算した値である。また、摩擦係数は、定常摩耗域における実測トルクから計算で求めた。

3 熱延用ロール材の組織と材料特性

複合遠心鋳造ロールの外層材として、先にも述べたように、主として高 Cr 鋳鉄、高 NiG 鋳鉄およびアダマイト鋳鋼が使用されているが、これら 3 ロール材の標準的な組織を Photo 2 に示す。高 Cr 鋳鉄の場合、白く見える炭化物は M_7C_3 型で、基地は初晶オーステナイトが熱処理により変態した組織となっている。高 NiG 鋳鉄の場合、炭化物は M_3C 型で、基地は黒鉛を含む針状組織となっている。また、アダマイト鋳鋼の場合は、ネット状に連なった炭化物は M_3C 型で、基地はフェライトを含むパーライト組織となっている。

これらの組織の違いは、化学成分および熱処理条件の違いによっておこる。Table 1 には、これら 3 ロール材の代表的化学成分を示す。高 Cr 鋳鉄は Cr 含有量が高いこと、アダマイト鋳鋼は当然のことながら C 含有量が低いこと、また、高 NiG 鋳鉄は Ni 含有量が高いことが特徴である。

しかし、最近では、圧延側のロールへの品質要求に応えるため、いろいろな新成分系のロールが製造されつつあり、化学成分も Table 1 をはずれるものも現れてきている⁷⁾。

次に、同ロール材の機械的および物理的性質を Table 2 に示す。高 NiG 鋳鉄の硬さが最も高く、高 Cr 鋳鉄、アダマイト鋳鋼の順に低くなる。また、高 Cr 鋳鉄および高 NiG 鋳鉄の熱伝導率は、アダマイト鋳鋼よりも低く、当ロールを使用する場合には、ロール冷却を十分に行う必要があることを示している。なお、アダマイト鋳鋼の場合、ショアー硬さが 65 を超えるロールも使用されており、高硬度アダマイトロールとよばれている⁸⁾。

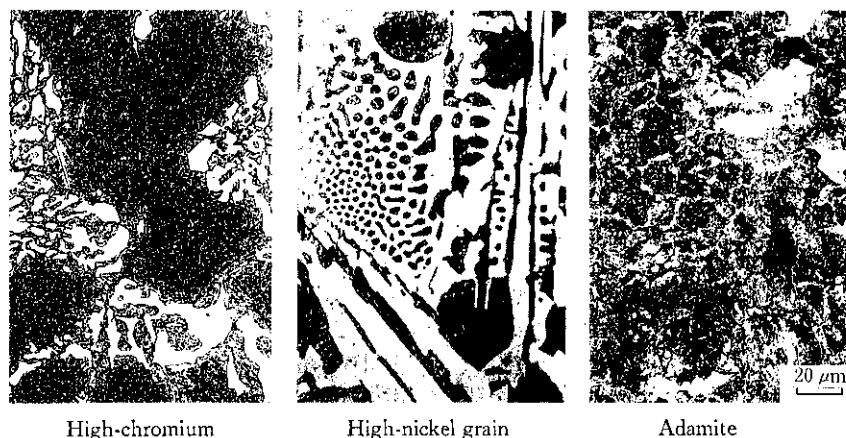


Photo 2 Typical microstructures of hot working roll materials (after heat-treatment)

Table 1 Typical chemical composition of roll materials for hot working roll

(%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
High-chromium	2.3~3.0	0.4~1.0	0.4~1.0	0.8~2.0	12.5~20.0	0.4~1.5
Adamite	1.8~2.1	0.4~0.8	0.4~1.0	0.5~1.5	0.5~1.5	0.3~0.7
High-nickel grain	2.9~3.5	0.6~1.5	0.5~1.0	4.0~5.0	0.5~2.0	0.3~0.7

Table 2 Mechanical and physical properties of roll materials for hot working roll

Roll materials	Tensile strength (kgf/mm ²)	Young's modulus (kgf/mm ²)	Thermal expansion coefficient (°C ⁻¹)	Thermal conductivity (cal/cm·s·°C)	Hardness (HS)
High-chromium	50~70	2.1~2.2×10 ⁴	1.30~1.32×10 ⁻⁵	0.045~0.060	55~90
Adamite	60~85	2.0~2.1	1.10~1.20	0.070~0.085	45~65
High-nickel grain	40~55	1.7~1.8	0.90~1.30	0.045~0.060	70~90

4 使用条件から見た実用ロール材の摩擦と摩耗

4.1 摩擦係数および摩耗量のすべり速さ依存性

実用ロールから供試片を採取して、同一条件で高温摩耗試験を行い、高Cr鋳鉄 (Hi-Cr)、高NiG鋳鉄 (Ni-G) およびアダマイト鋳鋼 (AD) について、摩擦係数と摩耗量に及ぼすすべり速さ (加熱片と供試片の相対速度差) の影響を見たのが Fig. 1 である。

まず摩擦係数のすべり速さ依存性について見ると、3ロール材とも、摩擦係数は低すべり速さ側で極大、高すべり速さ側で極小となる3次曲線を示している。そして、摩擦係数の極大と極小の差は、アダマイト鋳鋼が最も大きく、高Cr鋳鉄および高NiG鋳鉄のそれはあまり大きくない。

一方、摩耗量について見ると、3ロール材とも摩擦係数と同様に3次曲線を示しており、摩耗量の極大と極小の差は摩擦係数のそれよりも大きい。また、3ロール材とも、摩擦係数と摩耗量が極小となるすべり速さはほぼ一致しているが、極大となるすべり速さは、

高NiG鋳鉄の場合、他の2ロール材に比べより高速側にある。

鉄鋼材料に Fig. 1 に示すような摩耗の速度特性があることは、常温におけるすべり摩耗の研究ではすでに知られており、摩擦発熱によって接触面の温度が上昇し、摩耗機構が変化することにより説明されている⁹⁾。高温摩耗の速度特性も、常温の場合と同様の機構で説明できると考えられるので、Fig. 1 に示す摩耗曲線が、極大および極小となるすべり速さと、実験範囲での最高すべり速さにおいて摩擦面を観察した。その結果を Photo 3 に示す。写真中の番号①~③は、Fig. 1 中の①~③にそれぞれ対応する。

摩耗が極大となる領域においては、3ロール材とも基地の損耗が見られると共に、炭化物の欠け落ちも認められる。これより、低すべり速さ側での摩耗量の増加は、すべり速さが増すにつれて摩擦による発熱量が増し、それが接触面の平均温度を上げてロール材自身の塑性流動圧力を低下させ、凝着した接触部が除去されやすくなるためとした摩擦・摩耗の凝着説¹⁰⁾で説明できる。なお、摩擦係数の増加は、凝着部をせん断するのに要する力が増加することで理解される。次に摩耗が極小となる領域においては、基地部に鉄酸化物の生成が認められ、炭化物上には認められない。また、その量はアダマイト鋳鋼が最も多く、高NiG鋳鉄は最も少ない。このような条件下で鉄酸化物の生成量が増していくと、それはロール材全表面をおおうようになり、いわゆる黒皮とよばれているマグネタイト (Fe₃O₄) 主体の酸化皮膜となる。ロール材表面にこの酸化皮膜が生成されると、摩耗量が減少すると同時に摩擦係数も減少する¹¹⁾。

これは、トライボ酸化¹²⁾による酸化皮膜の生成が、金属間の接触や凝着を減らすためと理解できる。

すべり速さが酸化摩耗領域を超えるような速さになると、接触面の平均温度は急激に上昇して、Photo 3 に示すように、酸化皮膜下のロール材自身の塑性流動圧力が非常に低下して損耗がおこりやすくなるため、摩擦係数および摩耗量は再び増加するようになる。

4.2 摩擦係数および摩耗量の温度依存性

Fig. 2 は、実用ロール材の摩擦係数および摩耗量とロール材表面温度との関係を示したものである。まず、摩擦係数について見ると、試験した温度範囲においては、温度の上昇につれて各ロール材ともその摩擦係数は極大値を示したのち低下する傾向を示している。しかし、その程度は、ロール材によって異なり、アダマイト鋳鋼の低下度が最も大きい。ロール材表面温度が600°Cを超えると、3ロール材の摩擦係数はほとんど変わらなくなる。

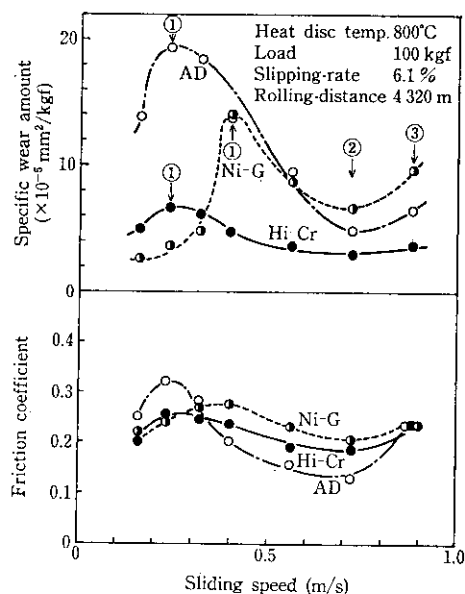


Fig. 1 Effect of sliding speed on high temperature friction and wear properties of roll materials for hot working roll

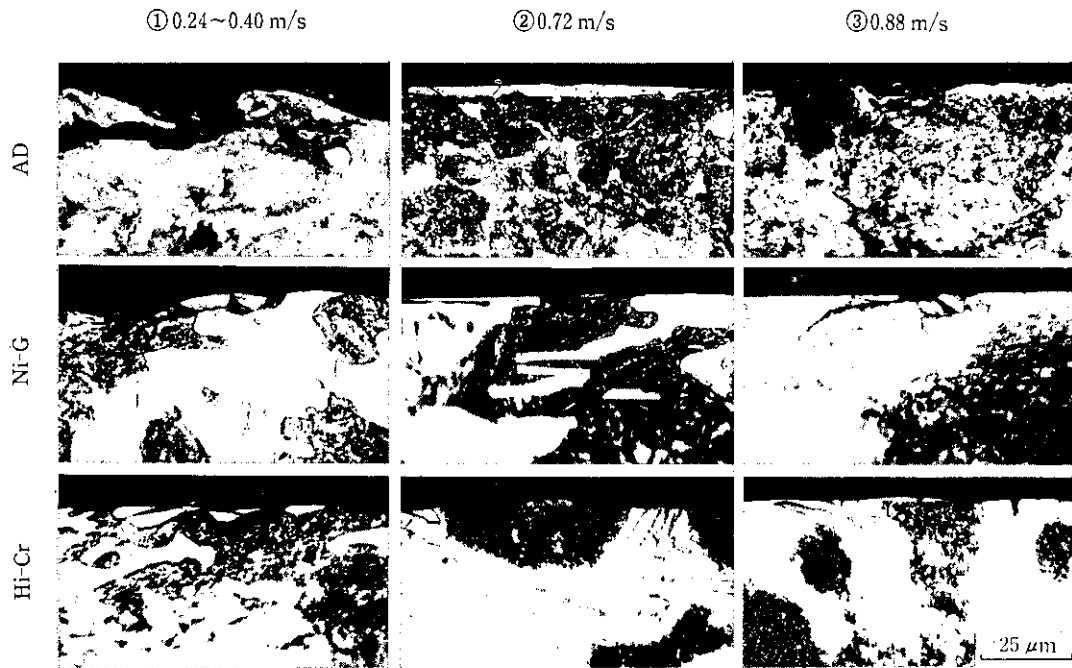


Photo 3 Microstructure of the cross sections of roll materials after wear testing (Symbols ①~③ match symbols ①~③ in Fig. 1 respectively, heat disk temp. 800°C, load 100 kgf, slipping-rate 6.1%, rolling-distance 4 320 m)

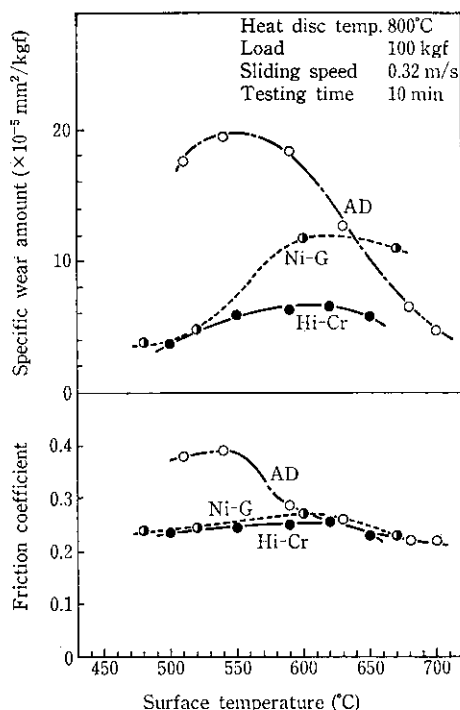


Fig. 2 Effect of surface temperature on high temperature friction and wear properties of roll materials for hot working roll

このように、高温域での温度上昇につれて、摩擦係数が小さくなるのは前項で述べたように酸化皮膜の生成により、金属間接触や凝着が減るためである。また、同図に示す摩耗量の温度依存性を見ると、酸化摩耗への移行温度、すなわち摩耗量が極大値を示す温度はアダマイト鋳鋼が最も低くて550°C近傍、次に高Cr鋳鉄が600°C近傍、高NiG鋳鉄が最も高く620°C近傍となっている。これらの温度は摩擦係数が極大値を示す温度とも一致している。

4.3 ロール材質による摩擦・摩耗特性のちがい

前項までに述べてきたように、供試3ロール材の高温における摩擦と摩耗は、そのロール材の酸化速度に大きく影響される。炭化物量の少ないアダマイト鋳鋼の場合、酸化速度が早いために酸化皮膜の生長もはやく、従って、低すべり速さ側で酸化摩耗がおこり、その影響も大きい。しかし、炭化物量の最も多い高NiG鋳鉄の酸化摩耗への移行温度は最も高い。

ホットストリップミルを例にとると、現在、高NiG鋳鉄ロールは仕上後段用ロールとして使用されているが、いわゆる黒皮の生成はほとんど見られない。しかし、Fig. 1~2に示したように摩擦条件によっては酸化皮膜が生成されるので、実機の場合は、接触部の温度が酸化温度に達していないものと考えられる。

アダマイト鋳鋼および高Cr鋳鉄ロールは、ホットストリップミルの仕上前段用ロールとして使用されており、現在ではほとんどが高Cr鋳鉄ロールに変わっている。現在、仕上前段ロールでは、黒皮の生成・剝離を含むロール表面の肌荒れが問題となっている¹³⁾が、この問題は、過去、アダマイトロールが使用されていたときにもおこっていた¹⁴⁾。これは、前段ロールの使用条件が両ロール材の酸化摩耗域における摩擦条件とほとんど一致していることによると考えられる。ただ、酸化皮膜生成による摩擦・摩耗特性への影響は、高Cr鋳鉄の方がアダマイト鋳鋼よりも小さく、この点、高Cr鋳鉄の方がアダマイト鋳鋼よりも肌荒れしにくいロールとなることを示している。

また、低すべり速さ側において、高Cr鋳鉄と高NiG鋳鉄とを比較した場合、摩擦係数はほとんど変わらないのに摩耗量に大きな差があるのは、摩擦・摩耗の凝着説によると、凝着部せん断強さが低いことに起因する¹⁰⁾。このことから、高NiG鋳鉄の凝着部せん断強さは、高Cr鋳鉄よりも低いことがわかるが、粗大炭化物量の差、黒鉛存在の有無など組織の違いの影響が出ているものと考えている。

5 熱延用ロール材の組織と摩擦・摩耗

5.1 高クロム鑄鉄ロール材の摩擦・摩耗特性

Fig. 3は、同一摩擦条件における、高Cr鑄鉄の炭化物量と摩擦・摩耗特性との関係を示したものである。炭化物量は、CおよびCrの添加量をそれぞれ2.0~2.9%, 12.0~18.0%の範囲で変化させて調整した。炭化物量の増加により摩擦係数および摩耗量は低下するが、その程度は10~20%の時に大きく、それ以上炭化物量を増してもあまり変わらない。この図から、耐摩耗性に優れ、かつ省エネルギー圧延にも適している高Cr鑄鉄ロールを製造するためには、同ロール材の炭化物量を少なくとも20%以上とすべきことが示唆される。

Photo 4は、炭化物量にはあまり大きな差はないが、化学成分お

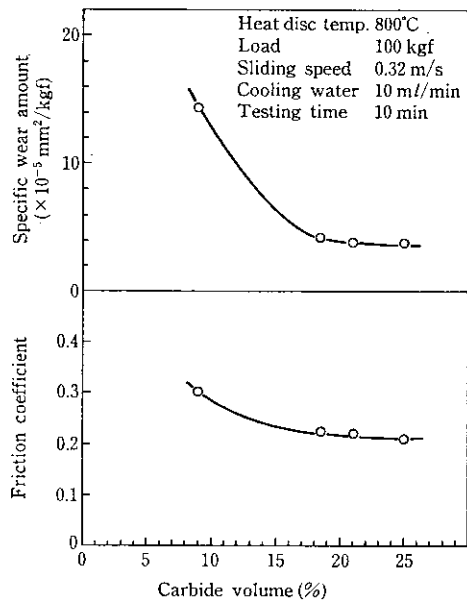


Fig. 3 Effect of carbide volume on high temperature friction and wear properties of high chromium cast irons

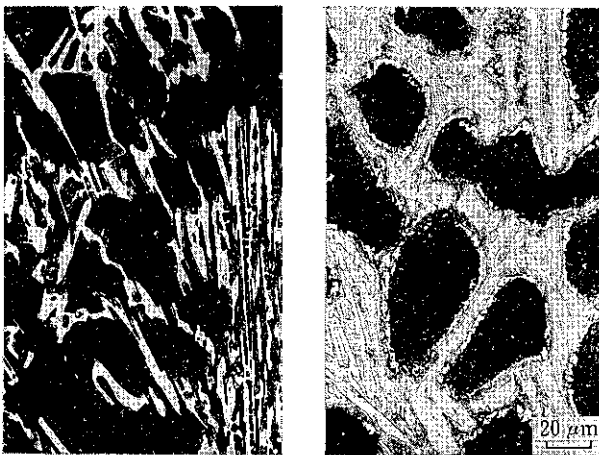


Photo 4 Difference in microstructure of high chromium cast irons (Material A, containing small amount of retained austenite; material B, large amount of retained austenite)

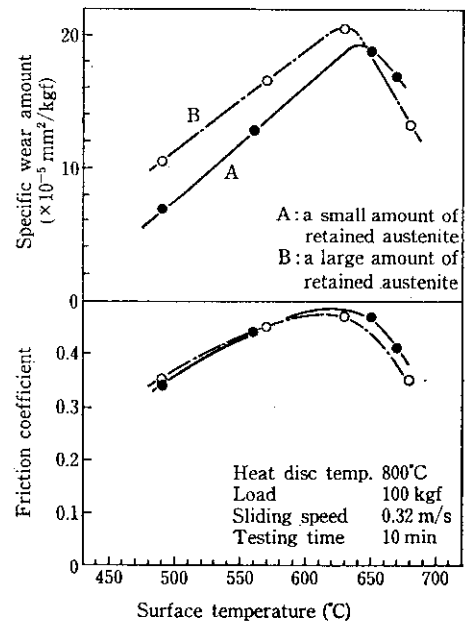


Fig. 4 Effect of retained austenite on high temperature friction and wear properties of high chromium cast irons

よび熱処理条件により、組織に大きな差が見られる例を示したものである。A材の方は16Cr-2.7C系で950°C焼ならし550°C焼戻した試料であるが、16Cr鑄鉄の典型的な組織となっており、残留オーステナイトはほとんど見られない。一方、B材は、15Cr-2.4C系で800°C焼ならし550°C焼戻した試料であるが、炭化物近傍の基地中に白く見える残留オーステナイトが多量に存在しているのがわかる。

このような高Cr鑄鉄ロール材の組織差が、摩擦・摩耗特性に如何なる影響を及ぼすかを見たのがFig. 4である。この図から、残留オーステナイト量の多いB材の方が、少ないA材よりも、630°C以下の温度領域で摩耗量が多いことが認められる。しかし、630°Cを超えて酸化摩耗領域に入ると、摩耗量の差はほとんど見られなくなる。一方、両高Cr鑄鉄ロール材の摩擦係数にはほとんど差は見られない。

残留オーステナイトは、基地硬さを低下させることにより耐摩耗性を劣化させる¹⁵⁾から、ロール材にとってはできるかぎり低減する必要がある。しかし、当ロール材の場合、オーステナイトが比較的安定であるため、残留オーステナイトが生成されやすい。それ故、この安定なオーステナイトをマルテンサイトまたはベイナイト化しやすくするためには、オーステナイト中の余分なCおよびCrを炭化物として析出させる不安定化熱処理をしなければならない¹⁶⁾。

したがって、高Cr鑄鉄ロール材の耐摩耗性を改善するためには、炭化物量を20%以上とし、基地組織のマルテンサイト化を図ることが重要である。

5.2 高合金ニッケルグレン鑄鉄ロール材の組織と摩耗特性

当ロール材の耐摩耗性を改善するために、化学成分を変えた試験材をつくり、同一熱処理後、供試片を採取し、同一条件で高温摩耗試験を行った。

Fig. 5は、摩耗量と硬さとの関係を示したものである。図より、硬さを上げると摩耗量は減少することがわかる。

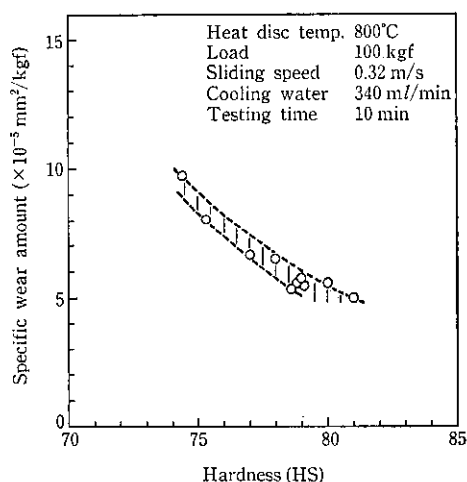


Fig. 5 Effect of hardness on high temperature wear properties of high alloyed nickel grain cast irons

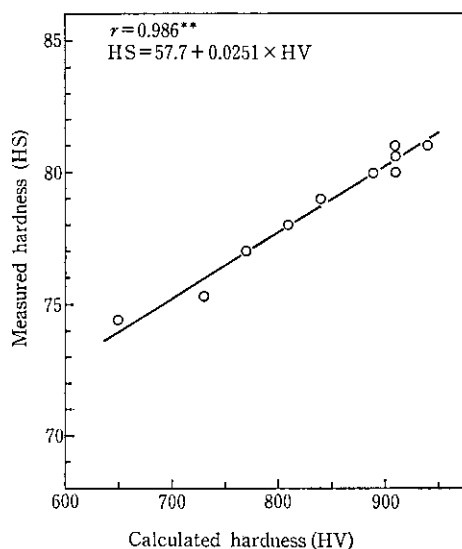


Fig. 6 Correlation between measured hardness and calculated hardness of high alloyed nickel grain cast irons

そこで、硬さと耐摩耗性について若干検討してみる。一般に熱延用ロール材は、炭化物と基地からなる2相混合組織と考えることができる。当ロール材の場合、黒鉛を含むので、3相組織と考えることができる。いま、混合組織の場合、その平均硬さは、組織を構成する各相のマイクロ硬さとその量により決まると仮定する。

いま、当ロール材のショアー硬さを H_s 、炭化物自身のマイクロビッカース硬さを H_{cv} 、炭化物量を $\alpha\%$ 、黒鉛量を $\beta\%$ 、基地のマイクロビッカース硬さを H_{mv} とすると、

$$H_s = \frac{\gamma}{100} [\alpha H_{cv} + (100 - \alpha - \beta) H_{mv}] + \delta \quad \text{.....(1)}$$

で表される。ここで γ および δ は係数である。なお、黒鉛自身の硬さは無視する。炭化物量、炭化物および基地のマイクロビッカース硬さを測定し、(1)式により計算した値と実測したショアー硬さとの関係をFig. 6に示す。この図より、計算した硬さと実測した硬さの間にはほぼ直線関係がなりたっており、当ロール材の硬さは(1)式で推定できることがわかる。また(1)式は

$$H_s = \frac{\gamma}{100} [\alpha (H_{cv} - H_{mv}) + (100 - \beta) H_{mv}] + \delta \quad \text{.....(2)}$$

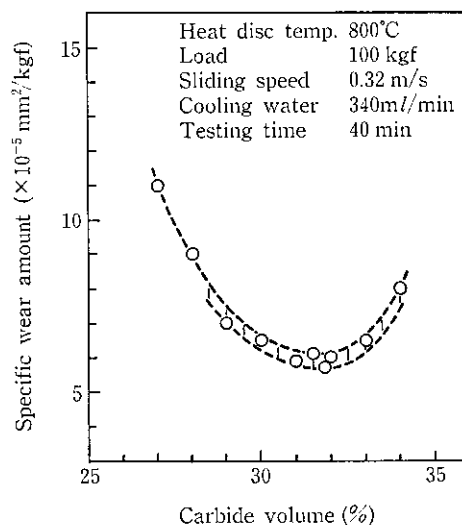


Fig. 7 Effect of carbide volume on high temperature wear properties of high alloyed nickel grain cast irons under a long time wear test condition

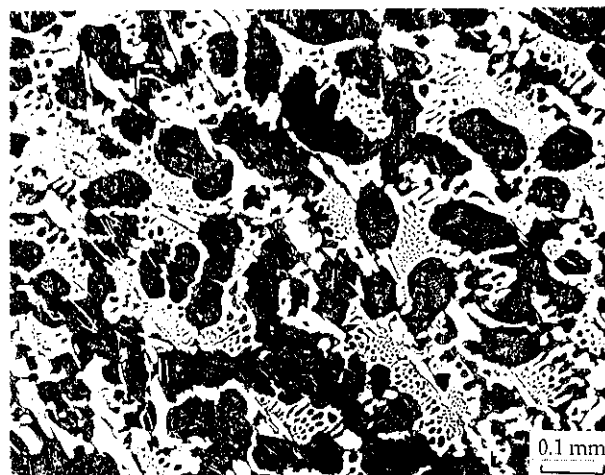


Photo 5 Microstructure of a high-alloyed nickel grain roll material with good wear resistance

と変形できるから、これより当ロール材の硬さをあげるためには、

- (1) 炭化物量を増す
- (2) 炭化物自身の硬さを基地の硬さよりもできるだけ高くする
- (3) 基地の硬さをあげる
- (4) 黒鉛量を減らす

という4つの手段が考えられる。まず、炭化物量については、この量を増しすぎると、Fig. 7に示すように、炭化物の欠け落ち等が原因で逆に耐摩耗性を劣化させる。また、(2)については、硬さの差が大きくなりすぎると、局部摩耗が著しくなり、ひいては炭化物の脱落につながるおそれがあり、(4)については、減らしすぎると、耐焼付性など他の特性に悪影響を与えるおそれがある。したがって、(3)の基地硬さを上げることが、耐摩耗性改善のための大きな手段であると考えられる。Fig. 5において最も耐摩耗性の優れた試験片の組織をPhoto 5に示すが、基地中の残留オーステナイトの低減をはかれば、さらに耐摩耗性向上が期待できる。以上、高NiG 鋳鉄ロール材の、耐摩耗性改善策について述べたが、基地の粒径を小さくする方がより効果的との報告もある¹⁷⁾。

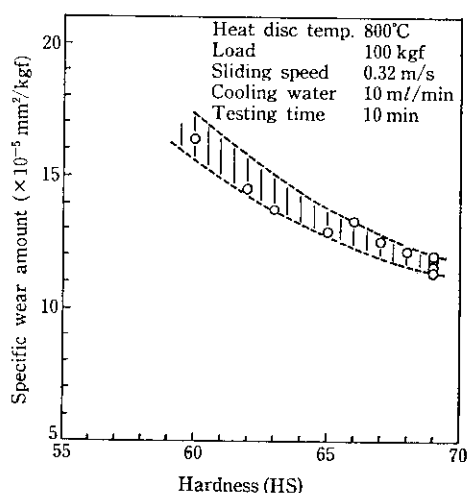


Fig. 8 Effect of hardness on high temperature wear properties of hardened adamite cast steels



Photo 6 Microstructure of hardened adamite cast steel

5.3 アダマイト鋳鋼ロール材の組織と摩耗特性

アダマイト鋳鋼は、ホットストリップミルの仕上前段用ロール材として広く使用されていたが、最近では、ホットストリップミルの粗ロール、条鋼用ロールなど限られたロールに使用されているだけである。しかし、Table 2に示す硬さの範囲を超えた高硬度アダマイトロール材が開発され、耐摩耗性が改善されると、鋳鉄系ロールに比べて強靱であることから、特殊ロールの材料として使用されつつある。

例えば、縞鋼板圧延用の高硬度アダマイトロールは、当社水島製鉄所で優れた使用成績をあげている。Fig. 8は、化学成分および熱処理条件により、炭化物量および基地の硬さを変えた高硬度アダマイト鋳鋼の硬さと摩耗量との関係を見たものであるが、高硬度化により耐摩耗性が改善されているのがわかる。また、高硬度アダマイト鋳鋼の組織を見ると、Photo 6に示すように、針状および球状炭化物を含むベイナイト組織となっている。

6 結 論

熱延用ロール材として使用されている高Cr鋳鉄、高NiG鋳鉄およびアダマイト鋳鋼について、実験室データをもとに、その高温における摩擦・摩耗特性について述べた。得られた結果は、次のとおりである。

- (1) 酸化摩耗への移行のしやすさは、ロール材の酸化しやすさで決まり、最も酸化しやすいのはアダマイト鋳鋼で、最も酸化しにくいのは高NiG鋳鉄である。
- (2) これらロール材の耐摩耗性を改善するためには、高硬度化が必要であるが、そのためには、炭化物量を最適量とすると共に、基地の残留オーステナイトを低減し、ベイナイトおよび/またはマルテンサイト化することが重要である。
- (3) 鋳鉄系ロール材の最適炭化物量は、高Cr鋳鉄が20%以上、高NiG鋳鉄では32%前後である。

これらロール材で造られたロールは、酸化摩耗領域で使用すれば、摩擦係数が下がることによる省エネルギー圧延と、耐摩耗性向上によるロール原単位低減が期待できる。

参 考 文 献

- 1) 野口 紘, 松野淳一, 田中智夫, 藤原洋一, 川元孝一, 滝沢昇一: 鉄と鋼, 68 (1982) 12, S1201
- 2) 野口 紘, 渡辺靖夫: 鉄と鋼, 69 (1983) 13, S1294
- 3) 野口 紘, 田中智夫, 川元孝一, 梅本純生: 鉄と鋼, 70 (1984) 10, 1452
- 4) 野口 紘, 渡辺靖夫: 鉄と鋼, 70 (1984) 13, S1211
- 5) 野口 紘, 渡辺靖夫, 榎並禎一: 鉄と鋼, 71 (1985) 13, S1560
- 6) 野口 紘, 渡辺靖夫, 榎並禎一: 鉄と鋼, 72 (1986) 4, S305
- 7) たとえば, 久保田鉄工(株): 特開昭 58-193343
- 8) たとえば, 川崎製鉄(株): 特開昭 61-149458
- 9) 岡林邦夫, 川本 信: 潤滑, 18 (1973) 4, 282
- 10) 田中章浩: 潤滑, 30 (1985) 6, 409
- 11) 大貫 輝: 潤滑, 30 (1985) 5, 329
- 12) T. F. J. クイン: 潤滑, 30 (1985) 5, 312
- 13) 日本鉄鋼協会, 鉄鋼基礎共同研究会, 鉄鋼材料の摩耗部会編: 「鉄鋼材料の摩耗」, (1984年2月)
- 14) 矢中隼二, 外山 弘, 綾垣昌俊, 松田輝雄, 青藤弘道, 木村和夫, 岡野 勲: 製鉄研究, 308 (1982), 104
- 15) 竹内栄一: 金属材料, 15 (1975) 3, 20
- 16) 桑野正司, 大城桂作, 松田公扶: 鋳物, 54 (1982) 9, 586
- 17) 福沢 宏, 西村好弘, 佐野義一, 芳賀道穂: 鉄と鋼, 71 (1985) 12, S1112