

高性能ハイスロールの開発と圧延分野への適用例

Development of High-speed Tool Steel Roll and Its Application to Rolling Mill

滝川 浩⁽¹⁾ 田中 拓⁽¹⁾ 大友 清司⁽¹⁾ 橋本 光生⁽²⁾
Hiroshi Takigawa Taku TANAKA Seiji OHTOMO Mitsuo Hashimoto

抄 録

近年の鉄鋼圧延における技術進歩は、製品品質の向上、生産性の向上及び製造コストの低減の観点より行われている。これに伴い、高性能、長寿命並びに高い信頼性を有した圧延ロールのニーズが増大し、ハイスロールと呼ばれるロールを開発した。本ロールはホットストリップミル仕上圧延機用として最初に開発され、高い性能を発揮した。その結果、圧延製品の品質が向上するとともにロール起因による圧延操業の規制が大幅に緩和された。この成功を受け、他の圧延分野にも本ロールの適用が拡大されている。ハイスロールの開発と適用例、更に得られた成果を紹介した。

Abstract

Technical development in the field of steel rolling in recent years has been carried out from the viewpoints of improving the quality of steel products, improving the productivity, and reducing the manufacturing costs. With this technical development, a need for the highly reliable rolling mill roll with a high performance and a long life has extensively grown. Thereupon, the authors have developed a rolling mill roll called the high-speed tool steel roll. This roll was originally designed for the finishing stands of hot strip mill, and it demonstrated a high performance when using. As the result, the quality of rolled steel products has been improved and such restrictions on rolling operation resulted from the mill rolls have been sharply eased. On the basis of these successful results, the said roll has been also extensively applied in other fields of material rolling. This paper introduces the development of this high-speed tool steel roll and some examples of its application, together with results obtained.

1. 緒 言

鉄鋼圧延における技術改善は、製品品質向上、生産性向上、製造コスト低減を目的としたものがほとんどであり、ある意味では永遠のテーマでもある。近年におけるそれらの達成目標は一時期の急激な円高傾向によって特に厳しいレベルまで引き上げられ、徹底した操業の省力化や燃料原単位、圧延ロール原単位等の向上が指向された。特に、圧延ロールにおいては、在庫圧縮を背景に少ないロール常備数で圧延製品の品質向上を達成するため、従来よりも格段に性能を向上した高機能ロール、長寿命ロールのニーズが高い環境下にある。

このような圧延ロールの機能向上ニーズに対応するものとして、高速度鋼系材料(以下ハイスと呼ぶ)を適用したハイスロールが開発された。ハイスロールは、熱間圧延鋼板(ホットストリップもしくは熱間圧延)仕上圧延用ワークロールとして、連続鋳掛け(Continuous Pouring process for Cladding : CPC)法で製造されたものが急速に普及し、現在の鋼板圧延には不可欠な存在にまで成長した。その後、その成功に触発されて、熱間圧延鋼板粗圧延や形鋼ユニバーサル圧延、棒鋼・線材中間圧延スタンドにも適用が拡がり始め、

製造プロセスも適用ロールのニーズに合わせてCPC法、遠心鋳造法、熱間静水圧加圧(Hot Isostatic Press : HIP)法が使い分けられるようになった。

本報告は、従来の鉄鋼圧延に大きな変革をもたらしているハイスロールについて、その特徴、使用状況を熱間圧延鋼板、形鋼、棒鋼・線材の三圧延分野について詳述する。

2. ハイスロールの適用ミルと製造プロセス

ハイスロールは、その名が示す通り高速度鋼系の化学成分によって構成される表面層をもつ圧延ロールである。圧延ロールに用いられるハイス材の成分は表1に示すとおりで、従来のロール材と比較して多種の合金を含有し、複数の炭化物を分散させている特徴を持っている。なお、硬度は図1に示すように、同等の炭素を含有するロール材に比較して高く、高い耐磨耗性、耐肌荒性が期待できる。

図2に主な鉄鋼圧延分野におけるハイスロールの適用状況を示す。一般的に圧延ミルにおいては、最終に近いスタンドほど製品の表面性状や寸法精度に与えるロールの品質の影響が大きく、高い耐

⁽¹⁾ プラント事業部 機械製造・素形材部 掛長

⁽²⁾ プラント事業部 機械製造・素形材部 部長代理

摩耗性、耐肌荒性が求められる。従って、ハイスロールの有する高い耐摩耗性、耐肌荒性は各圧延ラインの中間～仕上列スタンドで最も効果が期待される。図3は主な鉄鋼圧延ミルのロール材質の推移を示しているが、熱間圧延仕上段ロールのようにほぼ100%ハイスロールに置き替わった例もある。実際、ハイスよりも更に高硬度な超硬合金(タングステンカーバイド合金)が適用されている線材仕上列を除いては、中間～仕上列での適用が着実に拡大している。

このようにハイスロールは熱間圧延鋼板、形鋼、棒鋼・線材と幅

表1 ハイスロールの化学成分と冶金学的性質

化学成分 (wt%)							金属組織			硬度 (Hsc)
C	Ni	Cr	Mo	V	W	Co	黒鉛	炭化物	基地	
1.5		2	0	2	0	0		MC		75
	≤2						無	+ 焼戻		
2.5		10	10	10	10	10		M ₆ C	マルテンサイト	90
								またはM ₇ C ₃		

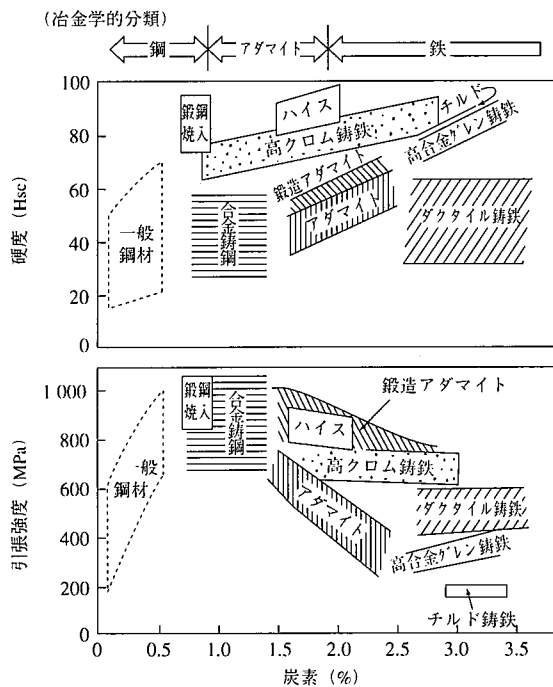


図1 ロール材の引張強度と硬度

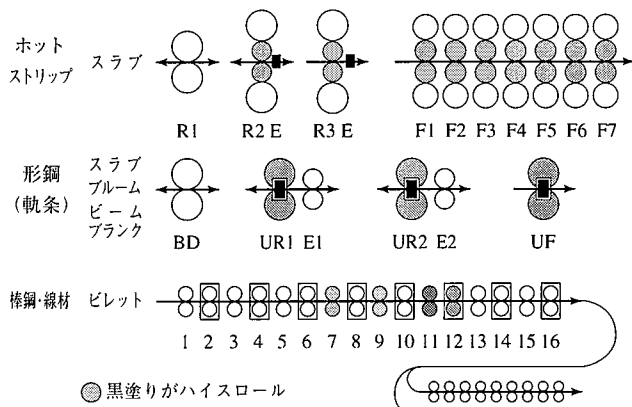


図2 各種圧延ラインとハイスロールの適用スタンド例

製品	圧延ライン	ロール材質
ホットストリップ	粗圧延ロール	アダマイト / 高クロム鋳鋼 / ハイス
	エッジャーロール	ダクタイル / ハイス
	仕上中段ロール	肉盛
	仕上後段ロール	高クロム鋳鉄 / ハイス
形鋼ユニバーサル	水平ロール (スリーブ)	複合アダマイト / 高クロム鋳鋼 / ハイス / 黒鉛アダマイト / 高合金グレン
	縦ロール (スリーブ、一体)	複合アダマイト / ハイス / ダクタイル / 高合金グレン
棒鋼・線材	粗列	鍛造アダマイト
	中間列	ダクタイル鋳鉄 / ハイス
	仕上列	合金グレン鋳鉄 / 超硬 / 合金チルド鋳鉄

図3 圧延ロール材質の推移

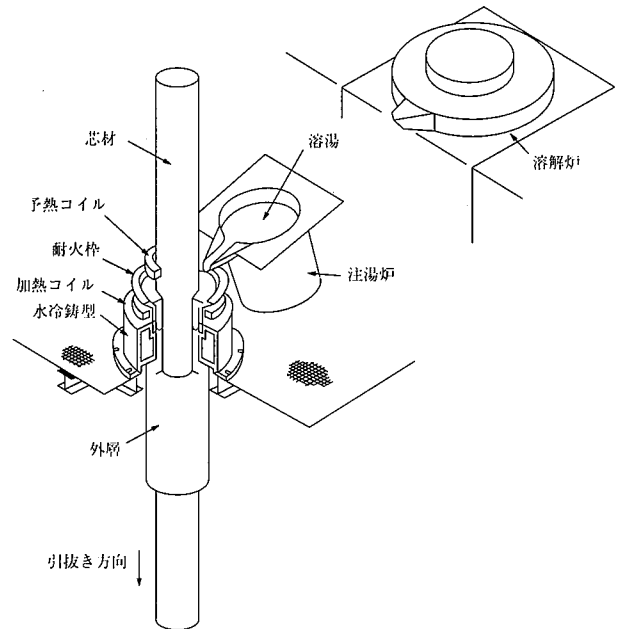


図4 CPC法の概略図

広い分野に適用されているが、その製造プロセスは適用ミルの要求特性によって使い分けられている。現在、ハイスロールの製造プロセスとしては、図4に示すCPC法、図5に示す遠心鋳造法の他にHIP法があげられるが、その主流プロセスはハイスロールが熱間圧延の仕上圧延に大量に使われるきっかけとなったCPC法である。

一方、異なるプロセスによって製造されたハイスロールは品質上の特徴も多様なものとなるため、適用ロールに応じてプロセスが選ばれる。図6に各製造プロセスの対応サイズと品質上の特徴を示す。例えば、均質性が維持できる合金添加の自由度という面から見れば、原料として粉末を用いるHIP法が最も自由度が広く、溶湯を鋳掛けて急冷凝固させるCPC法がそれに続き、溶湯が遠心力を受けて流動しながら凝固するために偏析の課題を有する遠心鋳造法は化学成分の制約がある。ち密性にしても、急冷凝固粉末を原料とするHIPハイスロールが最も密であり、凝固速度の遅い遠心鋳造法が粗

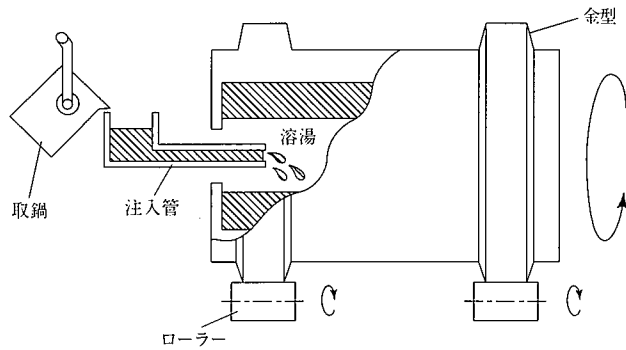


図5 水平式遠心铸造機の概要

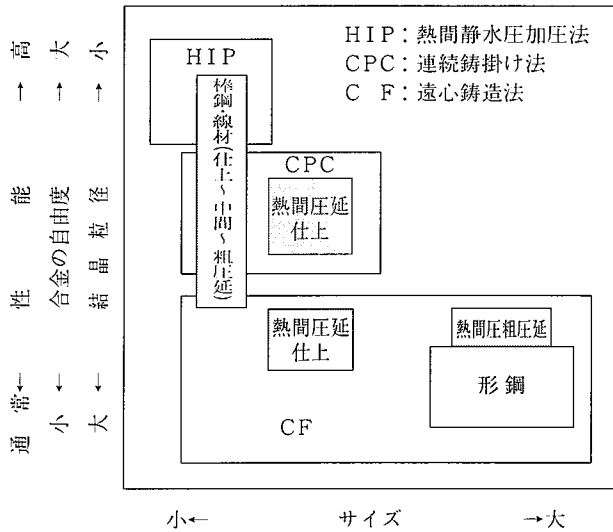


図6 ハイスロールの適用と製造法

になる傾向にある。実際、写真1にCPC法、遠心铸造法及びHIP法によるハイスロールの組織を比較するが、合金添加の差異による炭化物の形態と密性に相違が認められる。

他方、形状の適応性については、HIPロールは高温加圧する容器の制約から、現状は小径のロールに限られるが、遠心铸造法は金型の選択により小径ロールから大径ロールまで対応可能である。結果として、最も肌要求の厳しい棒鋼・線材圧延では、中間列後段でHIPハイスが使われている、また粗列後段～中間列前段でCPCハイスが使われている。また、比較的胴径の大きい形鋼のユニバーサル水平スリーブや熱間圧延鋼板粗ロール(四重)には遠心铸造ハイスが使われ始めている。

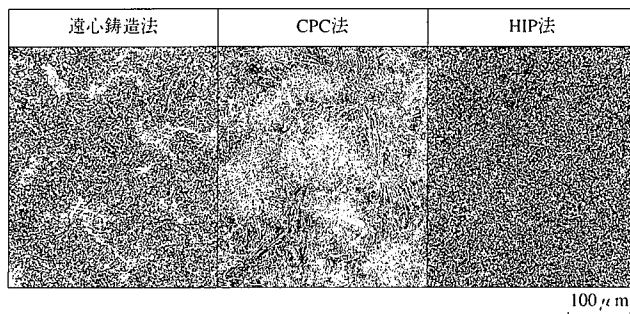


写真1 ハイスロールの代表的金属顕微鏡組織

こうして鉄鋼圧延の各分野において適用が拡大されているハイスロールについて、分野ごとにその要求特性と適用状況を以下に述べる。

3. 各種圧延ミルにおけるハイスロールの適用状況

3.1 ホットストリップ圧延用ロール

ホットストリップミルにおける技術革新は目覚しく、六重圧延機やペアクロスミル等の高機能ミルの登場により、高負荷になるとともにスケジュールフリー圧延が指向され、ロールに対する要求も非常に厳しくなっている。そのような中、耐磨耗性に優れた外層と強靱な芯材を併せ持つCPC製ハイスロールの登場はまさにニーズに合致したといえる。図7に熱間圧延仕上ワークロールにハイスロールを適用する狙いと期待される成果を示す。結果として仕上スタンドで急速に適用拡大が進んだ。新日本製鐵社内では前段スタンドのほぼ100%がハイスロールに置き替わり、後段スタンドにおいても最終スタンドを除いて広く適用されている。

この仕上ロールのハイス化に影響され、粗圧延ロール、エッジャーロールへも、従来からある遠心铸造法によるハイスロールがスリーブ組立式ロールとして適用が開始された。

3.1.1 仕上ワークロール

仕上前段ワークロールにおける最大の課題は耐肌荒性である。この種のロールでは、使用中に高温の圧延材との接触によりロール表面に酸化スケール(黒皮)が生成されるが、これが過剰に成長すると部分的に剥離して激しい凹凸となるバンディング状肌荒れとなり、鋼材にスケール疵を発生させる原因となっていた。これについては、従来の高クロム鑄鉄に比べてハイスでは黒皮厚みが薄く、これが剥離してもロールの損傷が小さく抑えられる傾向が顕著に認められている。なお、耐肌荒性を向上するには、急激な酸化成長を抑制する保護膜的な黒皮が薄く生成した状態を保つことが理想的である。この点で、薄い黒皮が生成した後は成長速度が抑えられるハイスロールは仕上前段に適しており、現在更にこの傾向が強い成分系の研究が進められている。

仕上後段ワークロールは摩耗が特に著しいため極めて高い耐磨耗性が要求される。一方、絞り等の圧延事故も生じやすいため高い耐事故性も要求される。そのため、従来は黒鉛による潤滑効果と鈍い亀裂進展速度が期待できる高合金グレン鑄鉄が広く用いられてきた。仕上後段にハイスロールを適用したときの耐磨耗性の向上は大きく、ロール表面をオンラインプロフィールメータで見ると図8に示すとおり摩耗の違いは著しい。成績で評価すると図9に示すようになり、5倍以上の成績を達成している。更にハイスロール適用の

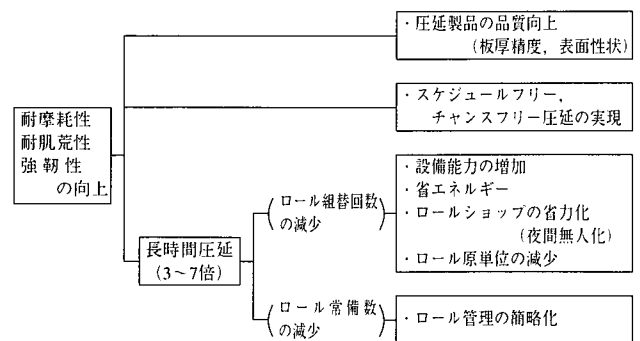


図7 ハイスロール導入により期待される成果

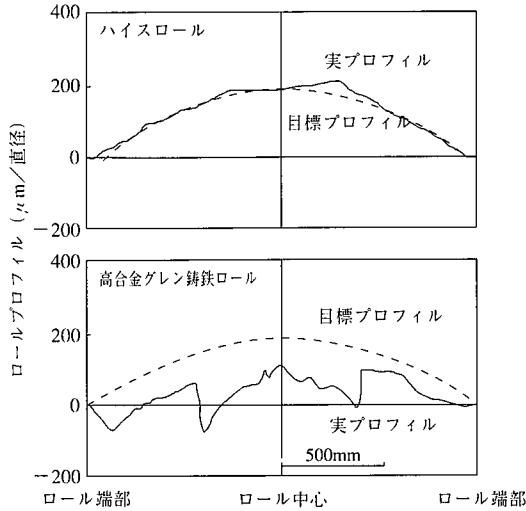


図8 オンラインプロフィールメーターによる圧延中のロールプロフィール

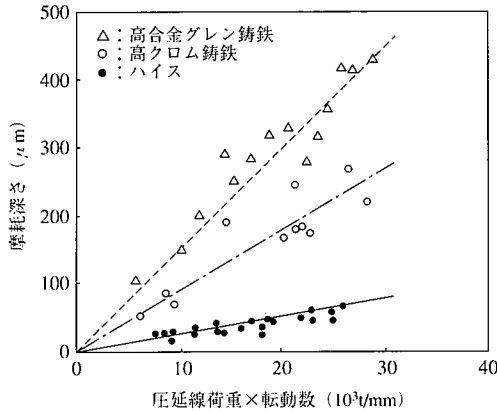


図9 ホットストリップ仕上圧延におけるロール摩耗

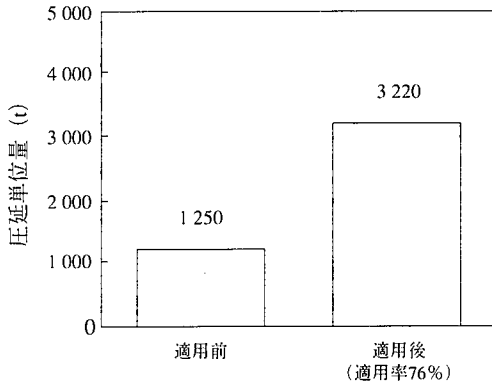


図10 ホットストリップ仕上圧延におけるハイスロールの適用による圧延単位量の変化例

効果は、圧延単位量の増大にも見ることができる。図10はハイスロール導入前後の圧延単位量の変化を示しているが、2.5倍に増えており、これに伴いロール研削回数が減少し、コストが削減された。

現在、仕上後段スタンドでの適用率を向上させるためロールの改善を図っている。これは、絞り等の圧延事故に遭遇してロール表面にクラックが発生すると、クラック除去削量がロールコストを大き

く引き上げる要因となるからである。これについては、圧延事故の発生頻度を低下させるようハイスロール使用時の通板安定性を向上させるとともに、破壊靱性を向上させて事故に強いロール材質を開発したが、更に研究が進められている。

3.1.2 粗ワークロール

粗圧延では、通常二重圧延機と四重圧延機が組み合わされて使用されるが、四重圧延機一段で圧延する工場もある。このうち、四重圧延用ワークロールでは、かつて使用されていたアダマイトロールが高クロム铸铁ロールに置き替わり、耐摩耗性が大きく向上した。最近では、仕上ワークロールがハイスロールの導入により圧延単位量が大幅に増大したため、更に粗ワークロールの圧延単位量の増大に対するニーズが高まり、高クロム铸铁ロールに替わってハイスロールを適用する動きが強まっている。

このニーズに応えるハイスロールが遠心铸造法によりスリーブタイプで製造され、評価され始めた。一般的にハイスのような多元素系高合金白铸铁材は、遠心分離により炭化物の偏析が生じやすい等の問題がある。そこで、耐熱亀裂性も考慮して、炭化物量を抑制した、仕上ワークロールに比べ比較的低合金、低硬度のハイス材でロールが製造され、評価が開始された。図11に粗ワークロールの使用成績例を示す。高クロム铸铁ロールに比べて1.5～2倍の性能向上を達成し、圧延単位量も大きく増大した。これには硬度の向上が成績に大きく寄与している。現在、評価を重ねるとともに適用ミルを拡大し、粗圧延用ハイスロールの成績に關与する因子の解明とそれを向上する材質・金属組織上の相関の研究を行っている。

3.1.3 エッジロール

エッジロールには、従来ダクタイル铸铁ロールあるいは溶接肉盛ロールが適用されてきたが、鋼材のサイジング機能が追加され、耐摩耗性と耐焼付性の改善ニーズが高まっている。また、エッジロールは交換に時間を要することから、交換頻度の低減は生産障害を最小限化する点で効果が大きい。

このニーズに合致したハイスロールを、遠心铸造製スリーブ組立式で製造し、使用評価を行った。その結果を表2に示す。これより、使用成績では従来材の約4倍、圧延単位量も1.5～2倍を達成し、更に延長して評価中である。

3.2 形鋼圧延用ハイスロール

形鋼圧延の中間～仕上列では、H形鋼、軌条(レール)がユニバー

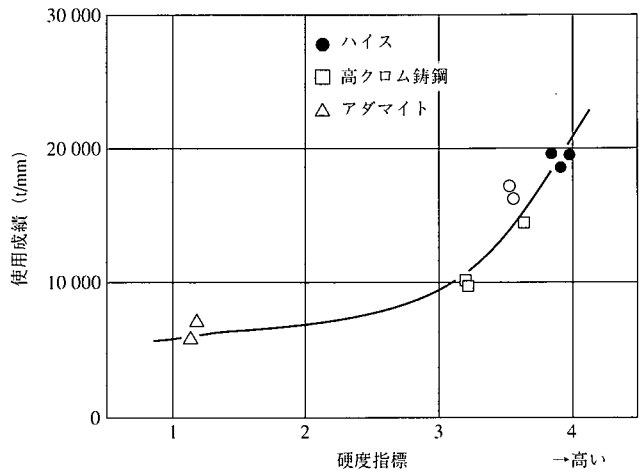


図11 ホットストリップ粗圧延におけるロール使用成績と硬度の関係

表2 ホットストリップエッジャー圧延におけるロール使用成績

スタンド	評価項目	使用成績		性能向上
		従来ロール(肉盛) Hsc 60	ハイスロール Hsc 78	
E ₂	t/回	150 000	300 000	2倍 (4倍)
	(t/mm)	(40 000)	(150 000)	
E _{3,4}	t/回	300 000	450 000	1.5倍 (4倍)
	(t/mm)	(36 000)	(160 000)	

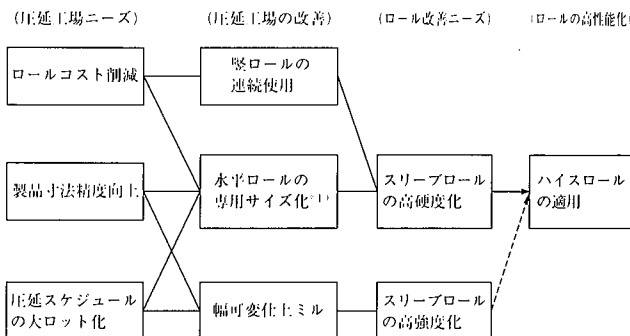
サル圧延により圧延されている。水平ロールと縦ロールの組み合わせによるユニバーサル圧延は、調整の容易性、ロール原単位、製品寸法の高精度確保の点でカリバー圧延に比べて優れている。そこで圧延ロールとしては、主として遠心鑄造法による複合アダマイトのスリーブ組立式ロールが用いられてきた。近年、特に1994年のJIS改正以降は高寸法精度圧延ニーズがますます高まり、高い耐磨耗性を有するロールの必要性が叫ばれるようになってきた。

3.2.1 ユニバーサル水平ロール

前述の図3に示したように、水平ロールの主流はアダマイトを外層材とし黒鉛鋼を内層とした複合スリーブであり、焼付きの激しいスタンド、品種では同等硬さの黒鉛晶出アダマイトが適用されている。しかし従来、形鋼水平スリーブの高性能化ニーズは乏しかった。これは、側壁摩耗に伴い改削によりサイズダウンして使用することを前提としていたためであり、高性能材の適用は、使用中の性能向上と引き替えにサイズダウン時の改削でコスト増加を招き、生涯使用で見ると効果が小さいと考えられてきたためである。

しかしながら、近年形鋼ロールでも、ある程度のテーパを有する粗圧延用スリーブは、サイズダウンを行わずに同一サイズで使用する動きが出た。その結果、図12に示すような狙いで高性能スリーブは急速に適用され始めている。これに対応するスリーブは極めて深い硬化層が必要であり、ハイスの外に高クロム鋼も評価されている。

図13は軌条圧延における中間ミル水平ロールで使用された遠心鑄造製複合スリーブの摩耗例である。水平スリーブの最も摩耗の激しい足側(図中右側)の側壁部で見ると、従来材の黒鉛アダマイトに対してハイスは1/3以下に摩耗が抑えられている。なお、このときの圧延量は摩耗から考えて黒鉛アダマイトでは限界に近い量であったが、ハイスでは再使用も可能な摩耗のレベルになった。今後も更に材質の改善を通じて耐磨耗性の向上が期待される。



*1) 形鋼ロールは通常側壁摩耗の回復が不可能のためサイズダウンしていた

図12 形鋼ミルにおけるハイスロール導入の狙い

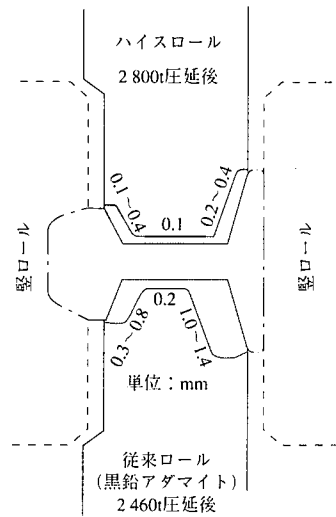


図13 軌条圧延用粗スタンドでのロール摩耗例(摩耗を拡大)

3.2.2 ユニバーサル縦ロール

形鋼ユニバーサル圧延における縦ロールには、H形鋼では内面にベアリングをはめ込んだスリーブ式ロールが用いられ、軌条ではバックアップロールを伴う小径ワークロールが用いられている。H形鋼圧延用縦ロールには、複合アダマイト又はダクタイル鑄鉄が用いられている。この種のロールはスリーブ全体の厚みも薄く、従って外層の厚みも小さく改削も容易なので、本来なら製造側、使用側ともに高性能材料の適用に踏み切りやすい。しかし、縦ロールは圧延事故によりダメージを受けやすく、結果として高性能スリーブの適用拡大は水平スリーブよりも遅れている。これは、圧延中の半製品の形状にウェブ偏りなどの異常があった場合、縦ロールが受ける荷重は想定荷重に対して著しく増大し、内層から割損することもあるためであり、圧延安定性の高いことが適用の前提になっている。

また、軌条圧延用縦ワークロールの場合は合金グレン鑄鉄が用いられている。このロールも圧延事故によりダメージを受けやすいが、その多くは転動疲労の蓄積による表面からの欠損である。こちらは強度の高いハイスの適用により改善が達成された。

図14は軌条圧延における中間スタンドの縦ロールにCPC製ハイスロールを適用した結果を示している。従来材である合金グレン鑄鉄材の5倍の性能が達成された。本ロールも圧延単位の拡大に十分な性能を示しており、従来ロールから置き替わっていくと考えられる。

3.3 棒鋼・線材圧延用ハイスロール

棒鋼・線材圧延用ロールへのニーズは、従来は生産性向上を目的とした高速圧延に関連する課題が多かった。しかしながら、最近では圧延製品の鋼種も特殊鋼の比率が増大し、普通鋼比率を逆転したこともあいまって、高い寸法精度と圧延単位の拡大を目指した耐磨耗性、耐肌荒性の優れたロールのニーズが高くなっている。

3.3.1 棒鋼・線材の中間列ロール

棒鋼圧延では、ビレットを素材として16~20基の二重圧延機と孔型圧延ロールにより製品が圧延、製造され、線材圧延ではその後に更に超硬ロールによる仕上列が配置されている。ロール材質は前述の図3に示したとおりである。

粗列前段スタンドでは圧延製品の送り速度が極めて小さいため、ロールは耐熱衝撃性と耐磨耗性、耐折損性を兼ね備えた鍛造アダマ

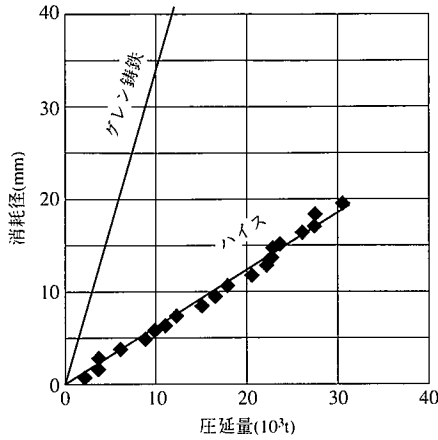


図14 軌条圧延用縦ロールの使用成績

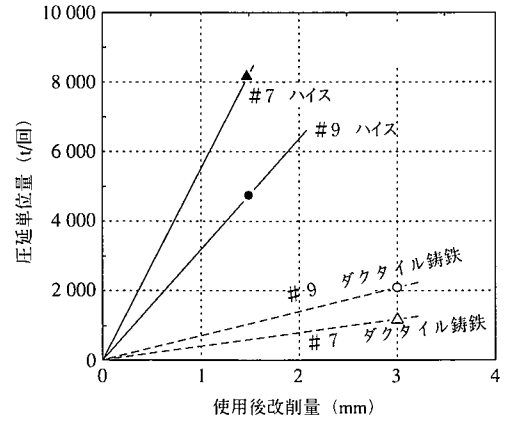


図15 棒鋼工場中間スタンドにおけるロール使用成績

イトロールが主流である。本ロールの改善は、特殊鋼の低温材を圧延した際の過大圧延荷重に対する耐折損性向上を指向しており、これに対しては、耐摩耗性を維持しつつ強度向上を図る材質改善、製造条件の改善が図られている。

粗列後段スタンドから中間列にかけては鍛造アダマイト、高硬度アダマイト及び高硬度ダクタイル铸铁ロールが使用されてきた。この種のロールの課題は主として耐摩耗性である。従って、ハイスロール導入の効果はこれらのスタンド群で最も発揮されると予測される。特に棒鋼・線材圧延は鋼板圧延以上に美しい表面肌要求が高いため、摩耗だけでなく使用後の孔型表面の粗度にも留意する必要がある。そこで、導入するハイスロールは、これらの要求品質に対応できるプロセスで製造されるべきである。

以上の検討からハイスロールの適用は、棒鋼・線材ともに粗列後段から中間列を中心に進められている。図15は棒鋼工場の7番及び9番スタンドにCPC製ハイスロールを適用した際の使用成績を示す。従来のダクタイル铸铁ロールに比べ4倍以上の耐摩耗性が達成されている。ロール表面の粗度についても、CPC製ハイスロールは従来の圧延量の6倍を圧延した後においても、従来ロールのそれに比べ極めて小さい粗度を維持している。ただし、この性能レベルを達成するためには、十分に冷却水をかける必要がある。これはハイスロールの場合、ダクタイル铸铁のように黒鉛による潤滑が期待できないため、カリバー内の周速差によって生じる摩擦熱による悪影響を解消する要請が高いためである。

なお、棒鋼仕上11番スタンド以降では、CPC製ハイスロールより更に高い耐肌荒性が期待できるHIP製ハイスロールも適用されている。HIPハイスは極めて金属組織が微細なために熱亀裂に対して更に注意を払う必要があるが、冷却条件が十分であれば、CPC製ハイスロール以上の性能が期待できる。

4. 今後の開発方針

前章に示したように、ハイスロールは熱間圧延仕上圧延ロールをはじめ、多くのミルで適用が拡大している。その効果を最大限に発揮するためには、品質要求に応じたロールの造り分けと圧延条件の

適正化が効果的であることは言うまでもない。そのためには、性能評価に加えハイスロールの使用を前提としたユーティリティの整備も有効である。特に、使用側で最も効果的に使用する技術を構築していくことが望まれる。

例えば、熱間圧延仕上圧延においては、図8に示すとおりハイスロールは極めて摩耗が小さくサーマルクラウンが顕著に現れる。そこで圧延途中のロールプロフィールを精度良く推定し、イニシャルクラウンの補正、通板部の冷却等を実施し通板を安定化した。その結果、極めて小さい摩耗を生かした板厚精度の向上が達成され、大量圧延が可能となった。また、適用が拡大中の形鋼、棒鋼・線材圧延のように孔型を有するロールでは、改削に用いる工具を専用化し、高硬度ロール材の加工技術を担保する必要がある。

これらについては、製造側と使用側が一体となって解決に取り組む形で開発を進めることが望ましい。

5. 結 言

圧延ロールを取り巻く最近の動向を踏まえ、プラント事業部の開発したハイスロールを中心に、ハイスロールの特徴と効果について報告した。本ロールは、適用された圧延分野において優れた耐摩耗性並びに耐肌荒性を発揮し、ロールの寿命、信頼性を向上させた。その結果、圧延製品の高級化及び生産性の向上が図られた。本ロールはホットストリップ仕上圧延分野での成功を受け、広く適用が拡大しており、今後各分野での多様なニーズに適正品質のハイスロールが供給され、更に拡大していくものと考えられる。

最後に、本報告をまとめるにあたり、各製鉄所、研究所よりデータの提供を受けた。

参考文献

- 1) 橋本光生 ほか：新日鉄技報、(345)、59(1992)
- 2) 橋本光生 ほか：新日鉄技報、(356)、76(1995)
- 3) 橋本光生 ほか：材料とプロセス、4、450(1991)
- 4) 日本国特許2045432号
- 5) 日本特許出願公開 平08-060289