

ISIJ International, Vol. 32 (1992), No. 11
掲載記事概要

General Review

Effects of Work Roll Materials and Progress of Manufacturing Technology on Cold Rolling and Future Developments in Japan (Review)By S. IWADOH *et al.*

冷間圧延における、工具としてのワークロールは、冷延鋼板の品質とコスト、および生産性に、極めて大きな影響を及ぼしてきた。ワークロール製造技術の改善の焦点は、当初の内部介在物の減少の為の製鋼、造塊技術から、熱処理技術と成分設計の改善による硬化深度の拡大へと変化し、さらに合金成分を増加させた高耐摩耗ロールへと移ってきた。ロール自体の健全性と硬化深度の拡大は、圧延機の連続化や油圧圧下など、圧延技術の進歩との相乗硬化で、生産性と生産コストの低減に大きく貢献した。

一方、高耐摩耗性の追求は、ロール価格の増大と、研磨技術上の問題を引き起こし、必ずしも良好な効果を挙げてはいない。今後の課題は、冷間圧延におけるロール寿命の制約要因を原点から整理し、用途に応じたロール性能の追求をすること、高性能ロールの実現に対応できる研磨技術の開発である。

Micro Structural Control

Solidification Behaviour of High-nickel Grain Roll MaterialsBy T. HIMEMIYA *et al.*

一方向凝固法によってニッケルグレンロール材料の凝固挙動を調べた。二つの試料を用いた。すなわち、A は本系合金の標準的な組成であり、B は白鑄鉄凝固をもたらす組成であった。凝固組織を観察し、黒鉛量を測定した。レーデブライト ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) とオーステナイト-黒鉛 ($g + G$) 共晶先催の温度差を測定し、この値と黒鉛量の間には良い相関が存在した。そして、二つの共晶先端の位置と温度差について凝固条件から検討した。得られた条件はつぎの通りである。

(1) 白鑄鉄からまだら鑄鉄への遷移臨界冷却速度は、A においては、 $0.12\text{--}0.15 \text{ K/s}^{-1}$ 、B においては、 $0.050\text{--}0.067 \text{ K/s}^{-1}$ であった。

(2) A においては、成長速度が小さい時、オーステナイト-黒鉛共晶がレーデブライト共晶に先行し、成長速度が大きいと、レーデブライトが先行する。B においては、常にレーデブライトが先行する。

(3) 二つの共晶の出現の順序ならびに温度差は Fe-C 二元共晶モデルより計算された値とよく一致する。

Partition Coefficients of Alloying Elements to Primary Austenite and Eutectic Phases of Chromium Irons for RollsBy K. OGI *et al.*

初晶オーステナイト (γ) に対するクロムと炭素の分配係数を炭素量が $1.1\text{--}3.6 \text{ mass}\%$ 、クロム量が $1.5\text{--}26 \text{ mass}\%$ の Fe-Cr-C 合金を用いて調査した。各合金を液相線温度直下に 1h 保持し、水冷銅鑄型で急冷した。クロムの分配係数は $0.53\text{--}0.8$ 、炭素の分配係数は $0.25\text{--}0.38$ が得られた。 5 及び $15 \text{ mass}\%$ Cr の 4 元合金を用い、第 3 元素の初晶 γ への分配係数も測定した。シリコン、ニッケル及び銅の分配係数は 1 より大きく、試料の炭素量が増すにつれて大きくなったが、モリブデン、マンガン、バナジウム及びクロムの分配係数は 1 より小さく、炭素濃度の上昇とともに減少した。

2, 5, 10, 30 $\text{mass}\%$ Cr の共晶合金を 10 mm/h で一方向凝固途中から急冷し、共晶相への合金元素の分配挙動を調査した。クロム、モリブデン、マンガン、バナジウムは共晶炭化物中へ、シリコン、ニッケルら共晶の γ 相へそれぞれ

優先的に分配された。共晶相全体に対する分配係数を、共晶セル先端での共晶の平均組成とその前方の液相濃度の比として計算し、各々の合金について調べた。

Effect of Molybdenum Addition on Solidification Structure, Mechanical Properties and Wear Resistivity of High Chromium Cast IronsBy M. IKEDA *et al.*

高 Cr 鑄鉄に Mo を添加すると、焼入れ性の向上のみならず、 Mo_2C 炭化物が共晶として最終凝固部に晶出する。この炭化物は微細であり、 Cr_7C_3 より硬く、熱間ロールの耐摩耗性を向上させる。そこで本研究では、 $3\% \text{ C-}20\% \text{ Cr}$ 鑄鉄に Mo を $10 \text{ mass}\%$ 迄添加し、Mo 添加による凝固挙動、ミクロ組織、機械的性質および熱間耐摩耗性に及ぼす影響について検討した。Mo 量が増すと、引張強さ並びに破壊靱性は単調に減少するが、熱間耐摩耗性は改善される。これらの影響は Mo_2C 量によって説明される。即ち、微細な炭化物 Mo_2C は、亀裂の核発生と成長のサイトを提供し破壊をもたらすが、摩耗の進展には障害となる。従って、機械的性質と耐摩耗性のバランスを考え、共晶炭化物量を約 $35 \text{ vol}\%$ 以内に調節することが重要である。

Effects of Alloying Elements and Austenite Destabilization Heat Treatment on Graphitization of High Chromium Cast IronBy S. K. CHANG *et al.*

An experimental study has been made of the effects of alloying elements and austenite destabilization heat treatment on the graphitization in the as-cast and heat treated condition, of a high chromium cast iron containing $3.8\% \text{ C-}11\% \text{ Cr-}2.3\% \text{ Si-}5.5\% \text{ Ni-}1.3\% \text{ Mn-}1.2\% \text{ Mo}$ as hypereutectic alloy and $3.4\% \text{ C-}7.5\% \text{ Cr-}2.5\% \text{ Si-}1\% \text{ Mn-}1.3\% \text{ Mo}$ as hypoeutectic alloy. The granular graphites are crystallized in the matrix hypereutectic high chromium cast iron containing copper, phosphorous and vanadium in as-cast stage, but the aluminum alloyed melt is solidified with the flake type graphite. The concentrations of graphitizers of silicon, nickel and copper appear higher in the graphite-matrix interface than in the matrix but the concentration of chromium appears very low comparing to that in the matrix. This means that it is possible to substitute copper for nickel which is commonly adopted as graphitization element in high chromium rolls containing crystallized graphite. Inoculating the hypoeutectic alloys with metallic aluminum and ferrosilicon powder *via* inoculant dressing process, it is possible to crystallize granular type graphite instead of flake type graphite and increase also the volume of graphite. The number and volume of graphite increase remarkably as the high chromium cast iron containing crystallized graphite are heat treated at 950°C for 90 min. Such increase of graphite is because a temper carbon and the secondary graphite are precipitated by the first stage graphitization. This result must be considered in dressing the graphite volume fraction in manufacturing high chromium rolls containing crystallized graphite.

Effect of Molybdenum and Copper Additions on Microstructure of High Chromium Cast Iron RollsBy S. K. CHANG *et al.*

To clarify the effect of alloying elements on transformation behavior of destabilization heat treated high chromium cast iron, specimens of high chromium hypoeutectic cast iron containing copper and molybdenum were destabilization heat treated at $900, 1000$ and 1100°C for 5×10^2 to 5×10^4 sec and then rapidly cooled down to room temperature. As the destabilization

heat treatment temperature and soaking time rise, the molybdenum content in the primary dendrite region and the amount of retained austenite are increased, but chromium atoms supersaturated in the primary austenite during solidification are precipitated into complex chromium carbides. The presence of copper promotes the attainment of microstructure consisting of discontinuous eutectic carbides. It was observed in the present work that some amount of copper solutes were contained in the secondary carbides precipitated in the copper added cast irons. EDS quantitative analysis showed 5.64% copper; A molybdenum-eutectic structure grown in the periphery of eutectic colony appearing a lamellar shape was observed in the 2.8% molybdenum contained cast irons during destabilization heat treatment at 1000°C for 5×10^2 sec.

Application in Hot Rolling

Application of a High Chromium Steel to Roughing Work Rolls for Hot Strip Mills

By H. HIRAOKA *et al.*

粗圧延ロール材として最適な化学組成を明らかにすることを目的に、高 Cr 鋳鉄から高 Cr 鋳鋼までの化学組成範囲において、材質特性に及ぼす C 及び Cr 濃度の影響を調べ、以下の結果を得た。

(1) 共晶組成の割合が小さくなると、すなわち、C、Cr 濃度が小さくなると、デンドライト組織は粗くなる。(2) 摩耗形成が機械的摩耗の場合、摩耗量は硬さに依存し、高 Cr 鋳鉄よりも炭化物量の少ない高 Cr 鋳鋼においても、耐摩耗性に優れる。(3) 耐熱衝撃性は Cr 濃度が小さくなるにしたがって低下する。

高 Cr 鋳鋼ロールを熱延粗圧延機で試用した結果、高 Cr 鋳鉄ロールに比べてロール表面粗度が大きくなり、圧延スリップの発生が抑制された。ロールの高硬度化によって耐摩耗性も向上した。

Basic Characteristics and Microstructure of High-carbon High Speed Steel Rolls for Hot Rolling Mill

By K. GOTO *et al.*

熱間圧延用ワークロールの寿命は、その材質の影響を強く受けることは良く知られている。最近、更なるロール寿命の向上を目指して高炭素系高速度鋼（ハイス）ロールが開発されつつあり注目をあつめている。

本論文は、これらのハイス系材質のロールとしての基本特性と微視組織との関係を調査したものである。

鋳造法、鍛造法、粉末 HIP 法の各ロール製造法によって準備された数種の化学組成を有する試験片を用いて摩耗、摩擦、熱亀裂、抗折力試験を実施した。その結果、耐摩耗性は炭化物量が増加するほど、耐焼付き性は炭化物寸法が大きいほど（炭化物量が多い時を除く）、耐熱亀裂性、靱性は炭化物形状が球状微細化するほど改善されることなどが明らかになった。以上の結果から、粉末製の 3 wt% C-10 wt% V ハイスが、調査材質中最も望ましいロール材質であることが示された。

さらに、この望ましいロール材質を用いたモデル圧延テストの結果、現用ロール材質である高 Cr 鋳鉄の 5 倍の耐摩耗性を示すことが判明した。

Development of Monobloc Type High-carbon High-alloyed Rolls for Hot Rolling Mills

By T. KUDO *et al.*

10 t 以上の一体化高炭素高合金系熱間圧延用ロールを開発した。本ロールの材質的特徴、製造プロセス、および性能について記述した。

(1) 耐熱性のあるマトリックスに粒径 $\phi 30 \mu\text{m}$ 以下の硬質 MC 型炭化物を 7% 以上分散させることにより、従来ロール対比で 5 倍以上の耐摩耗性を確保した。

(2) 成分系の選定および製造プロセスのコントロールに

より、耐熱性および強靱性を劣化させる粗大炭化物の晶出量を極力低減した。

(3) 従来の耐摩耗鋳鉄系ロールを代替する高耐久性ロールとして期待できる性能を有している。

Characteristics of High-carbon High Speed Steed Rolls for Hot Strip Mill

By Y. SANO *et al.*

近年、熱間仕上り圧延の分野において、圧延材製品に対する高品質化及び圧延効率等生産性に対する要求が強くなっている。このような状況の中で、製品と直接接触し製品の形状、表面状態等製品の品質と同時にロール組み換え等圧延効率等に大きな影響を与える熱間圧延用圧延ロールの大幅な品質改善が望まれている。

本報では、これらのニーズに応えるべく開発した高炭素ハイス鋳造ロールの製造上の特徴と材質上の諸特性について述べる。この新タイプロールは圧延ロールの基本的特性である耐摩耗性で、従来ロールより 3~5 倍良好な特性を有し、製品の品質改善のみならず、圧延効率の大幅な向上をもたらす効果を上げている。

Development of High-performance Roll by Continuous Pouring Process for Cladding

By M. HASHIMOTO *et al.*

鉄鋼圧延において技術進歩が行われる中、今後も圧延製品の品質向上と最適経済性の追求を最重点の課題として発展するものと予想される。そこで圧延ロールへの品質要求が従来にも増して高度化している。このニーズに応え Continuous Pouring process for Cladding (CPC プロセス) 法により、複合タイプの高性能ロールを開発した。本法は外層材の高合金化、金属組織の微細化および芯材の強靱化が容易である。そこで外層材として工具鋼系（一般にはハイスと呼ばれている）材質を採用した新ロールはホットストリップ仕上り圧延機用ワークロールとして使用され、耐摩耗性、耐肌荒れ性ならびに強靱性のいずれの性能も極めて向上した。この結果、鉄鋼圧延におけるロール起因の制約条件が大幅に緩和され、圧延製品品質の高級化および生産性の向上が図られた。本論は CPC プロセスならびに新ロールの特徴とともに本ロールの使用上の留意点を述べた上で、実際の使用を通じて得られた現状におけるロール性能評価と成果を紹介する。

Influence of Rolling Conditions and Chemical Compositions of Rolled Material on Strip Surface Flaw Caused by Surface Deterioration of Hot Work Rolls

By Y. OIKE *et al.*

熱延仕上げミル前段スタンドのワークロールの肌荒れは熱延製品の表面品質不良（噛み込みスケール疵）の原因となる。スキンパスミルライン検査での噛み込みスケール疵の発生状況と仕上げミル前段スタンドでの圧延条件および圧延材質との関係を調査した結果について報告する。噛み込みスケール疵の発生はロールギャップでの圧延圧力と温度上昇したロール材表面の強度との比および一部の圧延化学成分と良い相関があることを確認した。特に、アルミキルド鋼への Si の微量添加は噛み込みスケール疵を著しく減少させることがわかった。この原因を究明するため、実験室でのスケール生成特性の調査および数値計算によるロールと圧延材界面の相対すべり速度についての検討を行った。

Mechanisms of Surface Deterioration of Roll for Hot Strip Rolling

By O. KATO *et al.*

熱延ロールの表面損傷機構の研究は新ロール材質の開発にとって極めて重要である。そこで、これまでに得られた結果に基づいて 2, 3 の実験を行ない、考察を加えた。実験は高温ころがりすべり摩耗試験とあらかじめ熱疲労を与えた試験片のころがり疲労試験である。試験片表面と断面を走査電顕と光顕により詳細に調べた。

摩耗に関しては、高温におけるマトリックスのアブレーションが主要機構の 1 つとして有力である。また、肌あれ

に関しては、あらかじめ垂直亀裂が入った材料のころがり疲労が主要機構の1つとして有力である。

しかしながら、これらの表面損傷機構モデルは今後、圧延トライボロジーに関する重要問題としてリファインされるべきである。

Evaluation of the Finishing Roll Surface Deterioration at Hot Strip Mill (Communication) By J. H. RYU *et al.*

Effects of the service conditions on the roll surface deterioration in the front finishing stands of hot strip mill were analysed by observing the roll surface after each roll change and by calculating the roll surface temperature and the heat penetration depth. The roll surface temperature was varied with the rolling conditions and the steel grades rolled. The heat penetration depth was greatest at the F1 stand, and was gradually decreased in the latter stands. The roll surface deterioration was greatest at the F2 stand, which was thought to be due to the severe thermal fatigue of the F2 rolls. A parameter representing the thermal fatigue damage was developed by considering effects of roll surface temperature and heat penetration depth on the degradation of the roll surface. It was found that the parameter had a good correlation with the degree of the observed roll surface breakdown.

Applications in Cold Rolling

Secondary Hardening Characteristics and Those Effects on the Wear and Thermal Shock Resistance of 5% Cr-Mo-V Steel Roll for Cold Strip Mill

By T. KIMURA *et al.*

冷間圧延用5%Cr-2%Mo-1%V鋼ロールの二次硬化を微視組織の変化から解析し、耐摩耗性および耐熱衝撃性に及ぼす影響について検討し、次のような結果を得た。(1)二次硬化は、焼もどし過程での炭化物の析出と冷却過程での残留オーステナイトの α' 変態(FM)により生じる。(2)計算でFMの硬さを推定するとHv935であり、FM量の増加は二次硬化硬さを向上させる。(3)FM量の増加は耐摩耗性および耐熱衝撃性を低下させる。これら特性の低下は、FM自身によるものではなく、FM量を増加させるための熱処理により、炭化物が粒界へ優先的に析出し、粒界を脆化させるためと考えられる。(4)実用的には、FMを20%程度含む高温焼もどしマルテンサイト組織とすることが好ましい。同組織はワークロールの硬さ水準を満足できるHv780~800の硬さとなり、汎用の150°C低温焼もどしロールと比較して優れた耐摩耗性および耐熱衝撃性を付与させることができる。

Lubrication Characteristics of Surface Treated Rolls

By A. AZUSHIMA *et al.*

クロムメッキ、TiN被覆PVD及びVC被覆TRD表面処理ロールの潤滑特性が著者が開発した潤滑性評価試験機を用いて調べられた。圧延速度や圧下率を変化させながら、潤滑性を評価するため摩擦係数が測定され、耐焼付き性を評価するため焼付きの発生が観察された。それらの実験結果が従来のロールの結果と比較され、次の結論が得られた。

(1)VC被覆TRDロールの摩擦係数は他ロールの値の約半分である。(2)その焼付きが発生する限界左下率は従来ロールに比べ非常に大きくなる。

A Ti-enhanced Cold Rolling Work Roll with Self-generating Optimal Roughness Characteristics

By S. SHIMIZU *et al.*

冷間圧延においてストリップとワークロール間の摩さつ係数は、ワークロールの表面粗さに大きく影響される。安定操業のためには、圧延中に表面粗土の低下が少ない、すなわち耐摩耗性に優れたワークロールが求められてきた。これに対し、著者らは、従来の5%Q系鍛鋼ロール材料に微量のTiを添加し、硬質微細なTi炭窒化物をマイクロ組織中に均一分散させることによって、圧延中にこれらのTi炭窒化物が基地組織から脱落する過程で適度の粗さを自生する新しいタイプのワークロールを開発した。まず、Ti含有量の異なるロール材料の摩耗試験を行ない、適正自生粗さの得られるTi添加量を決定した。さらに、ブリキ原板圧延用ミルに本開発ロールを適用した結果、粗さ低下量は従来ロールの約1/5となり、ロール寿命が大幅に向上した。さらに、本開発ロールを使用することによって、従来ロールで発生したロール組替直後の圧延不安定領域が排除され、圧延能率の向上が可能となった。

Development of High Performance New Composite Roll

By M. SHIMIZU *et al.*

最近の冷間圧延用ロールに要求される性能は多様化しており、これに応えるべく回転付与ESR(Electro Slag Remelting)複合法により新しいタイプの複合ロールを開発した。

本複合法は鋳型の中に芯材を鋳型と同芯に配置し、鋳型と芯材を回転させながらESR法で芯材に外層材を溶着させる複合法である。

本複合法による複合鋼塊の境界部は強度的にも組織的にも優れた接合法を有し、外層材は清浄性が高く微細なデンドライト組織が得られることを確認した。また、本複合法は外層材と芯材の組合せに制約がなく、ハイクロム鋳鉄やハイス鋼などの高耐摩耗材を外層材に適用し、且つ高硬度で硬化層の深い複合ロールの製造が可能となった。更にハイス鋼を外層材に適用し500°Cの高温で焼もどすことにより、耐熱衝撃性向上が可能となった。

本複合法による新複合ロールを実機圧延に使用した結果、従来の5%Cr鋼ロールに比べ3~5倍の耐摩耗性向上を達成した。

Characteristics of Sialon Ceramic Rolls in Cold Rolling

By T. OHKOHCHI *et al.*

圧延ロールに用いるセラミック材料として、サイアロンが最適であることを見出し、強度的にも十分圧延用ロールとして耐えうる事がわかった。鋼ロールと比較した圧延特性上のメリットとして、次のような点があげられる。ヤング率が1.5倍あり、最小板厚は2/3になる。耐摩耗性が極めて大きい。金属との凝着がなく、ロールコーティングがしにくい。これらの特性を実験ミルで確認した。また、実機でも正規の圧延に使用され始め、ロール交換頻度、パス回数的大幅な低減や、幅戻し圧延が可能になる等、良好な結果を得ている。

会員には「鉄と鋼」あるいは「ISIJ International」のいずれかを毎号無料で配布いたします。「鉄と鋼」と「ISIJ International」の両誌希望の会員には、特別料金5000円の追加で両誌が配布されます。