

最近の冷間圧延機用ロール

Recent Development of Rolls for Cold Rolling Mills

Thanks to the adoption of new steel making process, high alloy material, differential heat treatment, etc. rolls for cold rolling mill service have witnessed remarkable improvement in quality. As a result, working rolls are improved in resistibility to "orange skin" and hardness penetration, while back-up rolls have realized high hardness, contributing the improvement of roll cost per ton of rolled products and roll life.

星 昌* Akira Hoshi
八重樫敏雄* Toshio Yaegashi
清野 洋一* Yôichi Seino

1 緒 言

冷間圧延機における高速化、大形化及び圧延技術の進歩に伴って、これに使用される圧延用ロールの製造技術や性能も飛躍的に向上している。特に最近では圧延材の板厚が薄くなり、しかも寸法精度はもちろん、製品はだにも厳しい要求がなされる。一方、圧延能率を上げ、圧延コストも下げねばならないので、圧延用ロールの性能が圧延における重要な因子になってきている。このためロールは、その組替期間延長、ロール寿命の延長を図らねばならない。

以下、これら冷間圧延機用ロールの最近の傾向につき述べる。

2 4段冷間圧延機用ワークロール

2.1 ロールの所要性能

本ロールに要求される性質の主なものは、

- (1) 表面及び内部にわたって欠陥がなく、健全であること。
- (2) 表面かたさが高く、硬化深度が大なること。
- (3) 耐はだ荒れ性、耐摩耗性に優れていること。
- (4) 耐事故性(耐熱衝撃性)に優れ、十分な強度を有すること。
- (5) 圧延性に優れていること。

などであり、従来より高C-Cr-Mo鋼が用いられ、強力な噴水焼入れが行なわれ、ショアかたさ H_s90 以上の高い表面かたさを得ている。最近ではCr含有量を上げる傾向が強くなり、3.5%Cr程度までが一般に使用されているが、今後、研削技術やゲル加工技術が進歩するに従い、更にCr量が増加していくことも考えられる。

2.2 表面清浄度及び内部健全性の改善

清浄、且つ健全な鋼塊を作る特殊技術として真空脱ガス法、真空アーク溶解法(以下、VAR法と略す)及びエレクトロスラグ溶解法(以下、ESR法と略す)などが採用され、ロールの種類やその用途に応じて、これらの設備が駆使されている。

真空脱ガス法は生産性や経済性の点で有利な方法である。真空脱ガス法の諸方式のなかでも、従来より採用されていた流滴脱ガス法は、脱水素の点では十分効果が得られるものの非金属介在物の含有量の点では必ずしも満足すべきものでなかった。現在では非金属介在物の大幅低減も同時に可能となりべ脱ガス法を採用している⁽¹⁾。

図1は、ワークロール完成後のロール表面に現われた非金属介在物の単位面積当たりの個数を示すものであるが、大き

さの最大値も流滴脱ガス法の約 $\frac{1}{3}$ になっている。

鋼の清浄度を更に強く要求されるアルミニウムはく圧延用ワークロールやセンジマーミル用ロールなどではVAR若しくはESRなどの再溶解法により清浄度の向上を図らねばならない。

図2は、ワークロール用ESR鋼塊断面のマクロ組織、サルファプリントを示すものであるが、逐次凝固法であるため、ち密な凝固組織が得られ、逆V偏析などの発生はなく、非金属介在物の清浄度も真空脱ガス法に比べて優れている⁽²⁾。

ESR法では凝固条件の変動が少ないこと、鑄はだがきれいであり鍛造性に優れているため、凝固組織のち密な鋼塊外層部を有効に利用できることなど多くの利点があり、高品質のワークロールの製造に適用範囲を拡大しつつある。

2.3 硬化深度の改善

硬化深度を増大させるためには、焼入性の良い材質の選定と熱処理法の改善による方法の二つが挙げられる。材質的にはCr含有量の増大が最も効果的である。熱処理法の改善とし

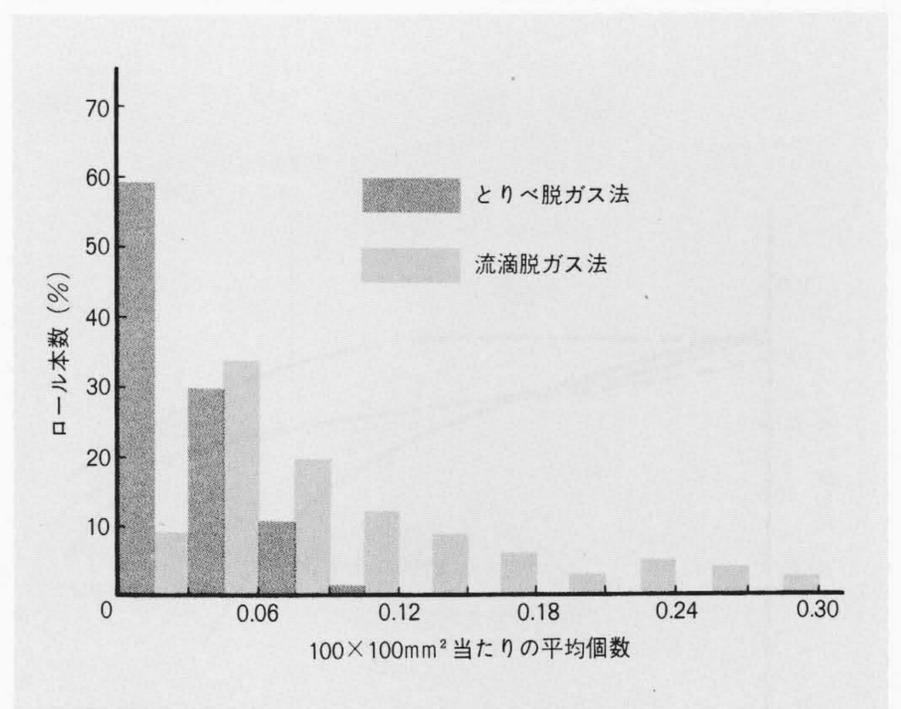
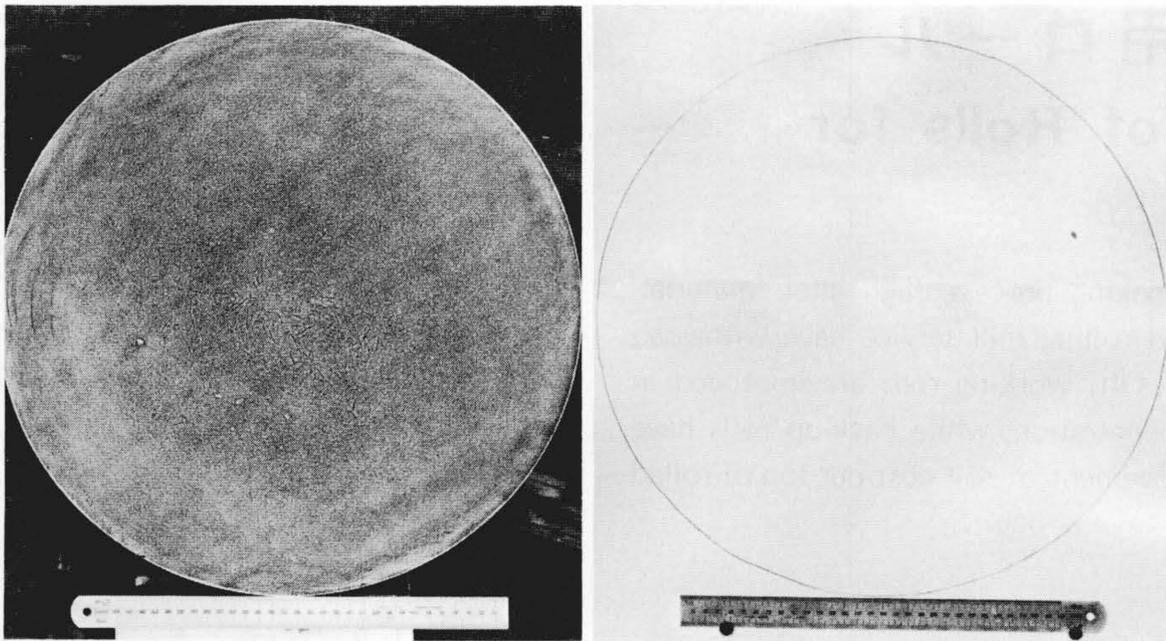


図1 ワークロール表面における非金属介在物 とりべ脱ガス法により著しく非金属介在物清浄度が改善されている。

Fig. 1 Non-metallic Inclusion on the Surface of Work Rolls

* 日立製作所勝田工場



(a)マクロ組織 (b)サルファプリント

図2 ESR鋼塊のマクロ組織とサルファプリント
ESR法によりゴーストのないち密な凝固組織が得られている。

Fig. 2 Macro Structure and Sulfur Print of a ESR Ingot

ては、Differential Heat Treatment (以下、DHT法と略す)の実用化とサブゼロ処理が挙げられる。このDHT法はロール外層のみを所定の焼入温度まで急速に加熱し、噴水で冷却する漸進焼入法であり、硬化深度の増大や圧縮残留応力の低減に効果的である。DHT法によるロール断面のマクロ組織の一例は図3に、また硬化深度曲線は図4に示すとおりである。図4には従来の全体加熱焼入れの場合の硬化深度曲線も示したが、2%Cr鋼にDHT法を採用すれば3%Cr鋼に従来法を採用したのと同様、又はそれ以上の硬化深度が得られることを示している。

表面かたさは従来法に比べ若干低い表面かたさを示しているが、組織自体のかたさには差はなく、これは後述するように表面の圧縮残留応力が低いことに起因するものである。

サブゼロ処理で最も懸念される点は、焼入層における靱性

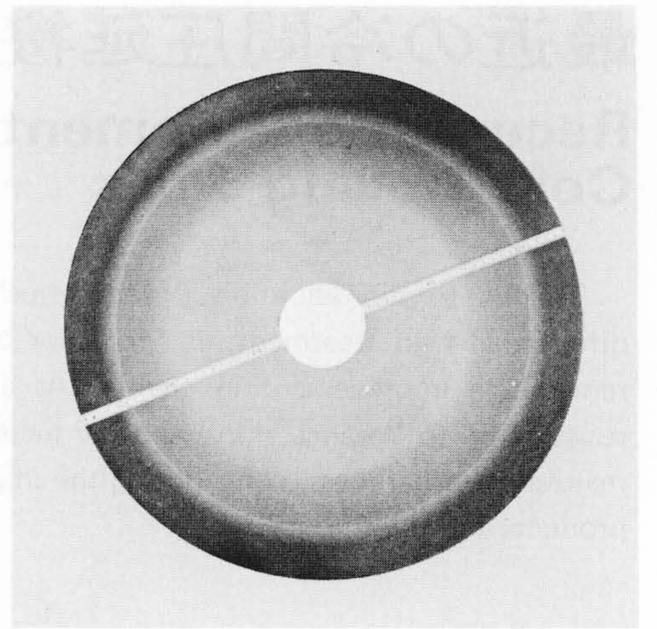


図3 ワークロール断面のマクロ組織
DHT法により深い硬化層が得られ、内層は前処理組織のままになっている。

Fig. 3 Macro Structure of a Deep Hardness Penetration Roll

の低下であるが、焼入温度及び焼きもどし法の適切な選定により、これらの懸念は回避でき、使用実績の点からも実証されている。

2.4 耐はだ荒れ性の改善

鉄鋼の薄板圧延において最近取り上げられている問題の一つにデンドライトはだ荒れがある。これはロールの凝固組織における樹枝と樹枝間の成分濃度差に基づく摩耗差と考えられている。従って、これを皆無にすることは不可能であり、この程度をいかに少なくするかがロールメーカーに課せられた命題である。

一般的な対策としては凝固組織のち密な鋼塊外層の有効利用、十分な拡散処理、基地のかたさを上げることなどが効果的である。図5はCr含有量を変えた場合の柱状晶の成長の様相を示したものである。鋼塊の表層部では表面から中心へ向

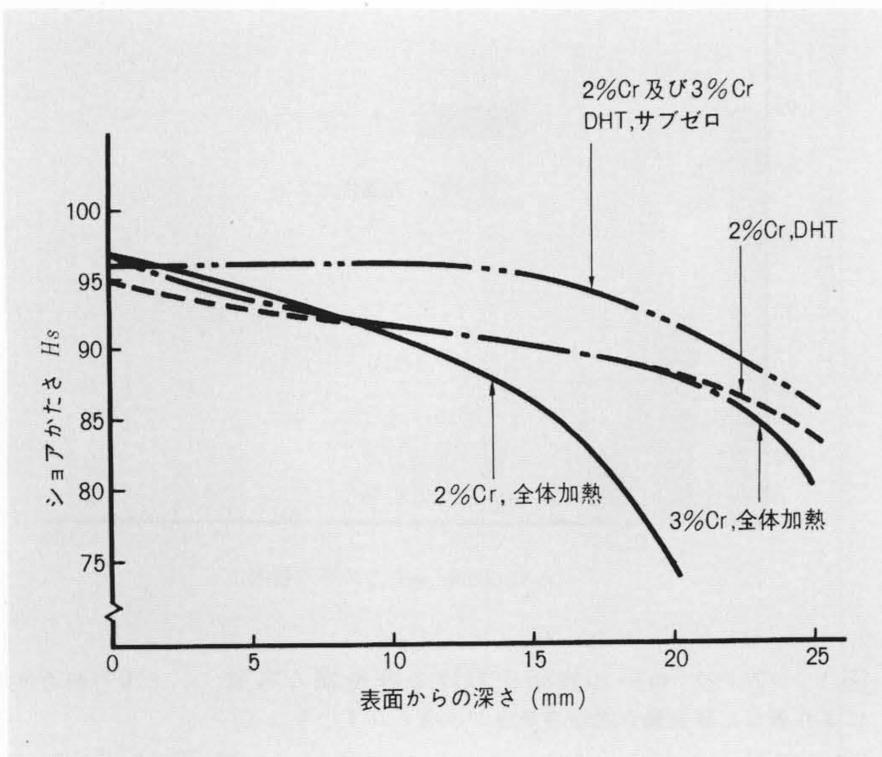


図4 ワークロールの硬化深度例 鋼種や熱処理法の改善による硬化深度の増大が著しい。

Fig. 4 Some Examples of Radial Hardness Distribution of Work Rolls

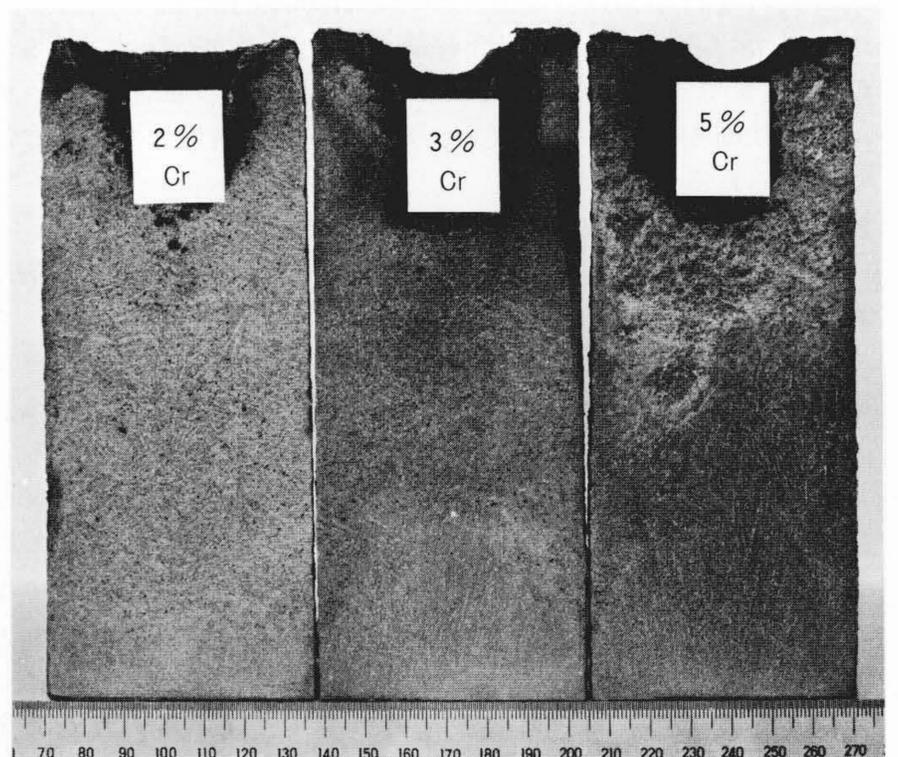


図5 Cr含有量と柱状晶成長の関係 Cr含有量の増大により、柱状晶の成長が促進されている。

Fig. 5 Macro Structure of the Uni-directionally Solidified Pilot Ingot

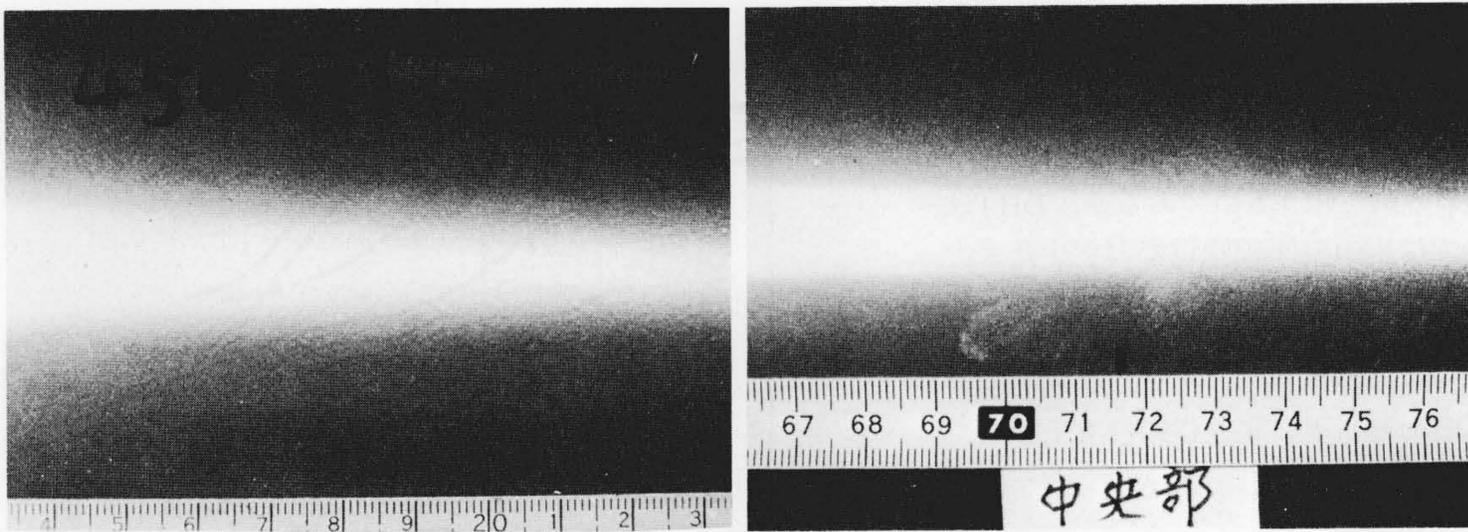


図6 ワークロールのデンドライトはだ荒れ
同一使用条件下ではだ荒れを示すもので、ESRロールの開発により圧延量が伸びている。
Fig. 6 Dendritic Wear Pattern of the Work Rolls after Rolling Service

(a)従来ロール(ブリキ551t圧延後)

(b)ESRロール(ブリキ782t圧延後)

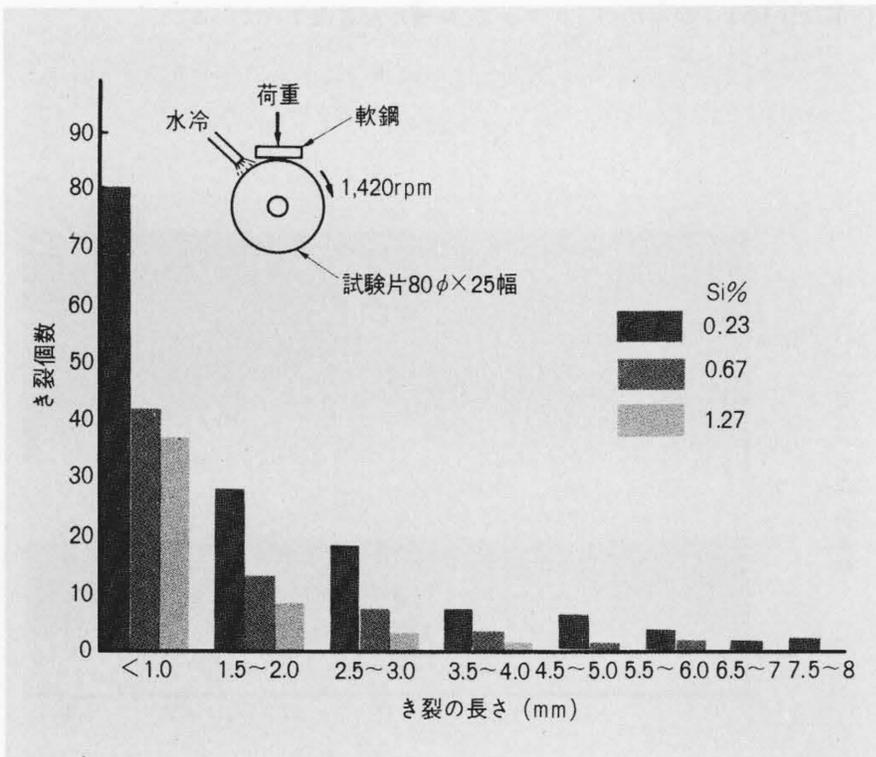


図7 熱衝撃再現試験結果例 特殊元素の添加により熱衝撃抵抗が改善できる。

Fig. 7 An Example of the Heat Shock Test

かって方向性凝固を示すが、これを再現するためパイロットインゴットの底部から一方向凝固させたものでありCr量が高いほど柱状晶が成長している。従って、Cr量を上げることによりいわゆるデンドライト模様を細かくすることができ、同時に耐摩耗性も向上する。

一方、ESR法は実用上の造塊法としては最も凝固速度の速いものの一つであり、ち密な凝固組織が得られ、耐はだ荒れロールとしての評価が定着しつつある。図6はESR鋼塊を用いたロールと従来の造塊法によるロールの使用後のはだ荒れを示したものである。

また新しい凝固プロセスを採用し、成分濃度差を少なくする研究も進められている。基地のかたさを上げる方法としては、先に述べたサブゼロ処理が効果的である。

2.5 耐事故性

絞り込み、板切れなどの圧延事故に遭遇した場合の熱衝撃抵抗については焼入層の靱性向上、焼きもどし抵抗の増大及び変態時の膨張収縮を少なくするような元素の添加が効果的である。日立製作所では圧延事故を再現する試験方法を確立し、ロール材質の研究を進めているが、図7は、その実験の一例を示すものである。

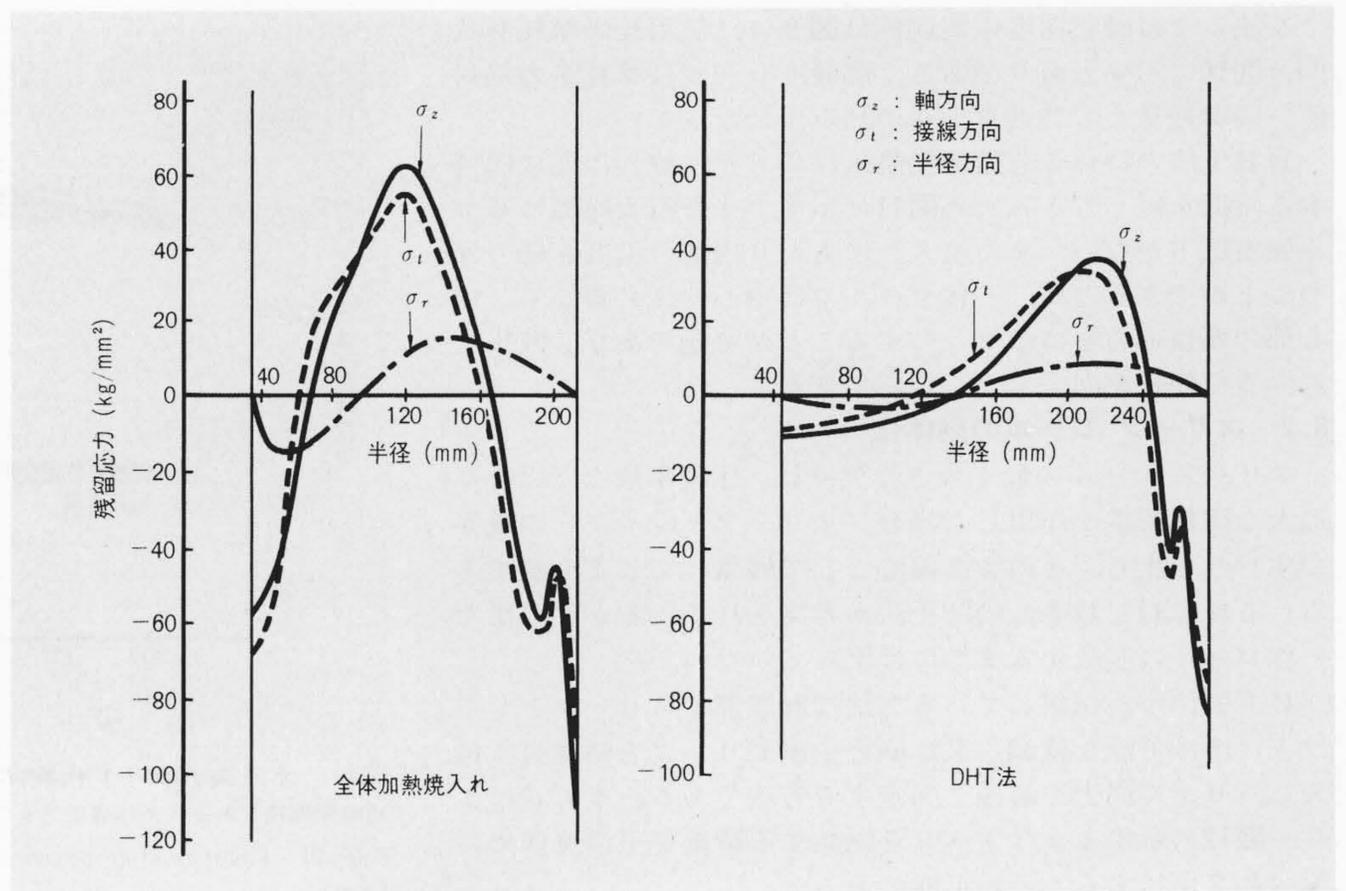


図8 ワークロールの残留応力分布 DHT法により残留応力のレベルが下がる。

Fig. 8 Residual Stress Distribution of Forged and Hardened Steel Work Rolls

絞り込みにより被害を受けた部分の残留応力は引張り側に変化していることから、温度上昇時の圧縮の塑性変形量もき裂発生に大きく影響しているものと考えられ、ロール表面の圧縮残留応力を小さくしておくことが望ましい。

図8は残留応力測定結果の例を示すものであるが、DHT法による漸進焼入れロールでは表面の圧縮残留応力が小さく、且つ内部の引張応力も小さいことから、圧延事故に対する抵抗のみならず、ロール破損に対しても信頼性が高いことを意味している。なおロール強度の評価については、破壊力学の導入と有限要素法による応力解析とにより信頼性を上げている。

3 バックアップ ロール

バックアップ ロールの精度はそのまま被圧延材の精度に影響を与えることから、偏心のないロールが要求され、また最近特に圧延の連続化とロール組替えまでの延長という点からかたさが高く、不均一摩耗の少ないロールが要求されるようになってきた。

冷間圧延機用バックアップ ロールは一般に一体式の鍛鋼ロールが使用され、偏心の問題が完全に解決し得ない現状では、スリーブ ロールはスタンドを限定して使用されるのが一般的である。

また調質圧延機ではダルフの問題から鋳鉄ロールが一般的に使用されているが、強度上の問題があるミルでは最近高硬度鍛鋼製バックアップ ロールも使用されている。

3.1 鍛鋼製バックアップ ロールの高硬度化

ショアかたさ H_s65 以上の高硬度ロールの製造方式としては、一体式、スリーブ式を問わず、内層と外層の材質を変える二重鑄造方式と全体を同一材質で製造し、あらかじめ胴内部と軸部に高靱性を与える熱処理を施した後、特殊熱処理法により胴表層部のみを高硬度を与えるDHT法が考えられる。日立製作所は既に特殊熱処理法により一体式、スリーブ式を問わず高硬度バックアップ ロールの製造を行なっている。

高硬度化に当たっては、材質的には高硬度域において靱性低下が少なく、しかも高温焼きもどしが可能なことが必要であり、Cr量を上げ更にMo、Vを添加した材質を適用している。

本法による硬化深度の実測例は図9に、使用後の摩耗形状例は図10に示すとおりである。高硬度ロールは摩耗量の絶対値、偏摩耗量とも普通ロールの1/2以下になっている。

DHT法の特長は急速加熱焼入れにあり、焼入温度に保持する時間を短くできるため図11に示すような粗大組織に基づく強度低下がない。また焼入れにあたり内部の温度を低く保つことができるため、一体ロールでは中心孔は必要なく、中心部の残留応力をほぼゼロにすることが可能であり、破損に対する信頼性を向上することができる。

3.2 スリーブ ロールの剛体化

スリーブ ロールの最も大きな欠点は、圧延事故などにより過大な圧延荷重が作用した場合、スリーブとシャフトの境界ですべりを生じ、そのまま偏心として残留してしまう点である。これに対し数多くの防止法が考案されているが⁽³⁾、まだ一体ロールに匹敵するまでには至っていない。

日立製作所が採用している方法は胴端部でスリーブとシャフトに溶接可能な軟鋼、又は低合金鋼製リングを精度良く挿入し、リング同士を溶接で固定する方法である。本方式により、図12に示すようにすべりを開始する荷重を平滑焼ばめに比べ約2倍にすることが可能である。

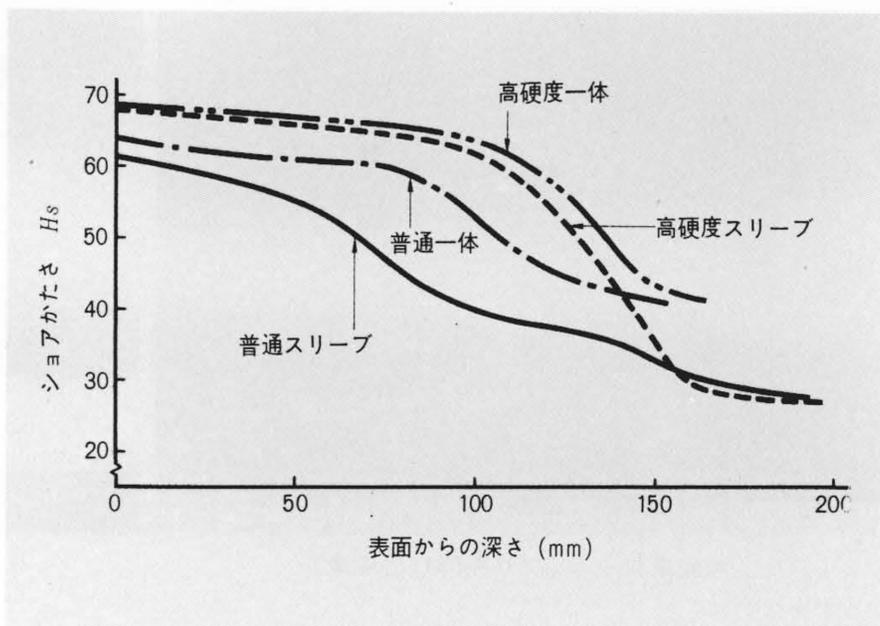


図9 バックアップ ロールの硬化深度 DHT法により外層は高硬度、内層は強靱性に富んだバックアップ ロールが製造されている。

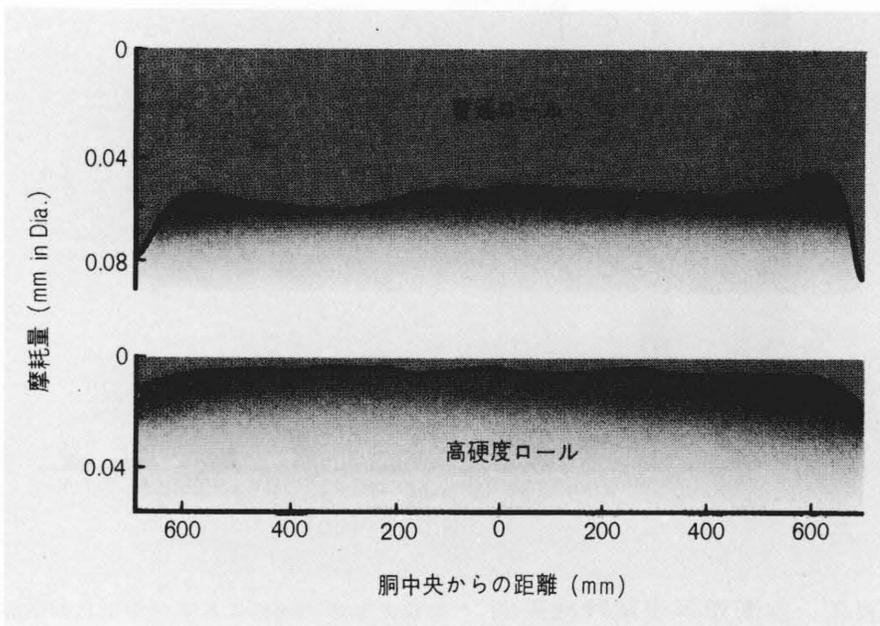


図10 冷延バックアップ ロールの摩耗形状例 高硬度ロールの適用により、不均一摩耗を防ぐことができる。

Fig. 10 Wear Profile of Cold Back-up Rolls after Rolling Service

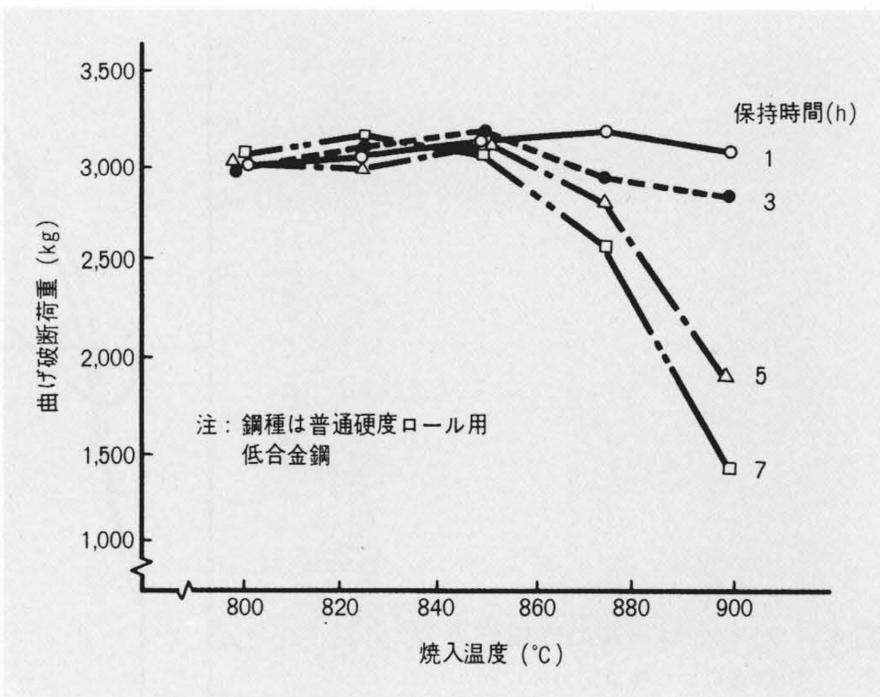


図11 オーステナイト化条件と強度の関係 DHT法では急速加熱、短時間保持であるため強度低下を防ぎ得る。

Fig. 11 Relationship between Strength and Austenized Condition

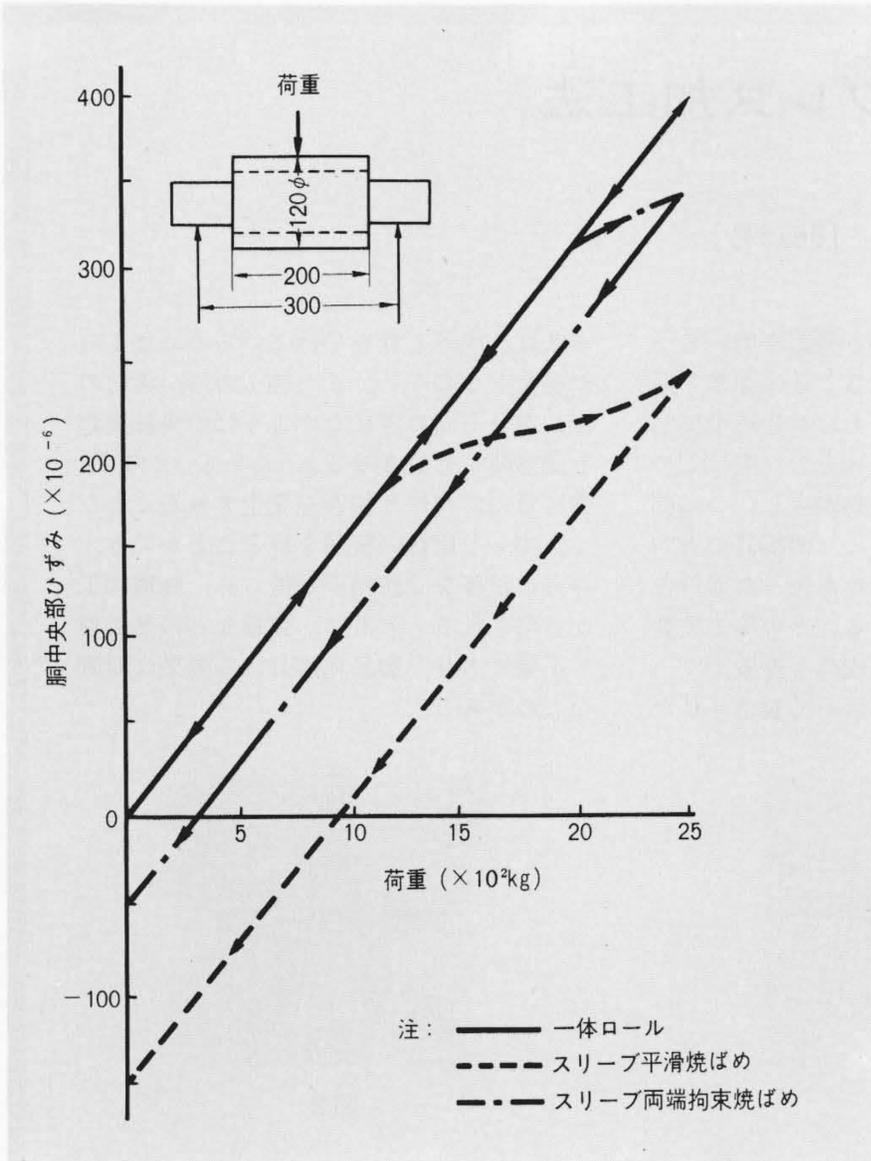


図12 モデルバックアップロールの変形試験結果 荷重を加えた逆側の胴中央部のひずみをひずみ計で測定した。

Fig. 12 Residual Deflection of the Model Back-up Rolls due to Excessive Pressure

4 センジマー ミル用ロール及び特殊圧延機用ロール

4.1 センジマー ロール

最近のセンジマーミルの傾向としては大形化、高速化及びタンデム化が挙げられ⁽⁴⁾、ロールの使用条件も一段と厳しくなっている。また大形ロールから小形ロールへの再生処理も一般化してきた。このようなことから内部まで清浄で、且つ健全な再溶解鋼が必要であり、ESR鋼が全面的に採用されている。

材質的には12%Cr冷間ダイス鋼、5%Cr熱間ダイス鋼及び高速度鋼が用いられ、最近の傾向として中間ロールは耐スポーリング性や耐き裂性の点から5%Cr熱間ダイス鋼を用いるユーザーが多くなっている。

中間ロールの材質による使用成績の比較例は図13に示すとおりである。熱間ダイス鋼の適用により30~50%程度の寿命の増大が図られている。

光輝焼鈍ステンレス板の圧延では光輝度、耐はだ荒れ性の点で高速度鋼の使用が主流である。高速度鋼は耐はだ荒れ性の点でタングステンカーバイトより劣るが、研削性の点で実用上のメリットが大きい。

なお現在、更に光輝度及び耐はだ荒れ性を上げる特殊元素の含有を高めた鋼種の開発も進めている。

4.2 特殊圧延機用ロール

最近の注目すべき新しいタイプの圧延機として、日立製作所で開発したHCミルがある。本ミルは特殊多段ミルである

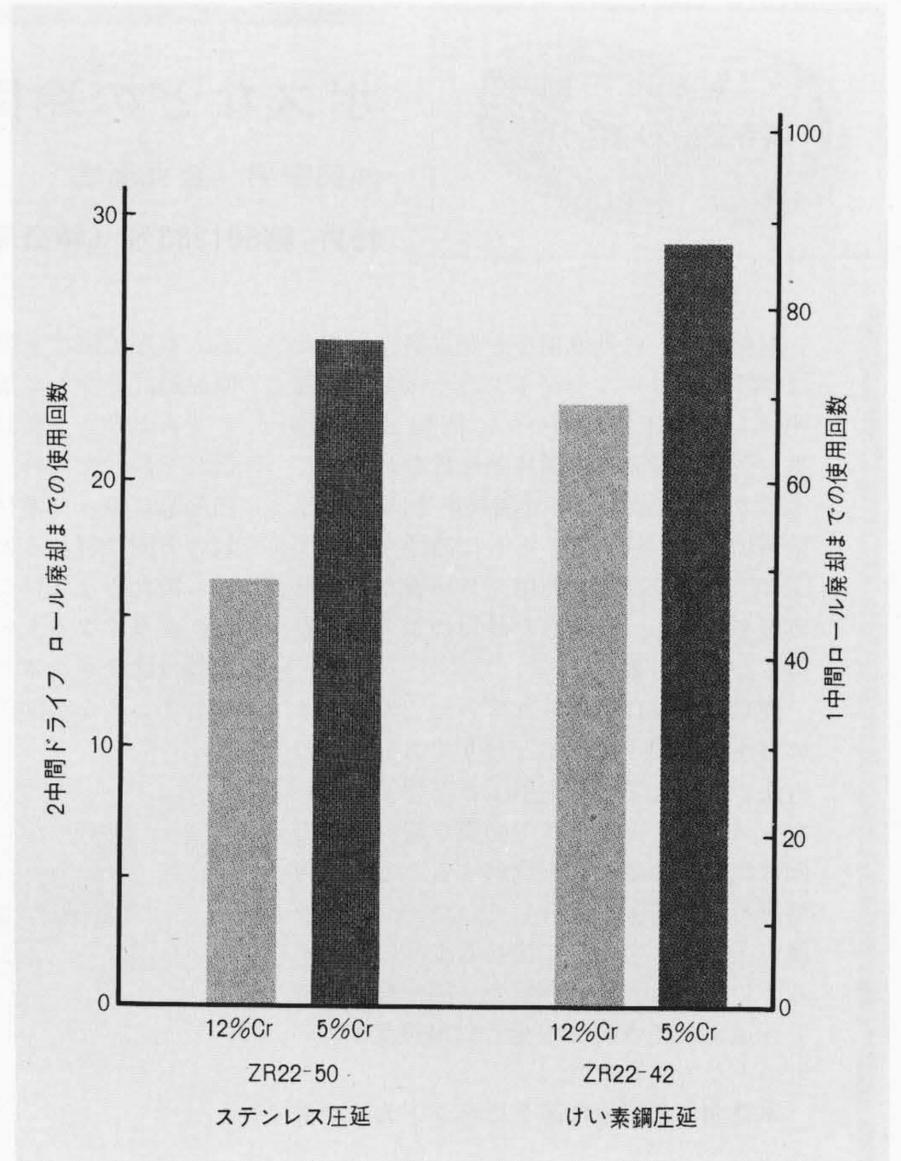


図13 中間ロールの材質による寿命差 5%Cr鋼のほうが耐き裂性が優れているため、寿命が伸びていることが分かる。

Fig. 13 Influence of Roll Material on the Life of Intermediate Rolls for Sendzimir Mills

が、ロール間の接触圧力分布がこれまでのミルと異なるため特別な配慮が必要であり、ロール形状、材質及びかたさの組合せにつき、工場と研究所との協同で実験ミルを用いて鋭意開発中である。

5 結 言

冷間圧延機用ロールの製造過程全般にわたって改良を加え、圧延技術の進歩に沿った品質改善が着実になされている。しかし、ワークロールの耐はだ荒れ性、スリーブロールの剛体化など更に改良すべき点もあり、また今後の圧延機や圧延技術の進歩に十分対処できる研究開発も必要である。

このためには今後、圧延機設計者、ユーザー、ロールメーカーの三者が一体となった研究開発体制の確立が必要であるものと考えられる。

参考文献

- (1) 日立製作所勝田工場、「30 t 取鍋脱ガス装置の概要」、日本鉄鋼協会、第48回特殊鋼部会資料、特48-23-共10 (昭48-11)
- (2) M. Kadoséほか、「The quality of vacuum arc and electro slag remelted high carbon chromium steel」, Proc, 4th Int. Symp. on ESR, p. 240 (June-1973)
- (3) 特許出願公告 (昭44-18184, 昭45-19772, 昭47-14007, 昭48-6380), 実用新案公告 (昭45-25247ほか)
- (4) 福井, 藤野, 小島「センジマーミルの最近の動向」日立評論 55, 19 (1973)