

## 14. 圧延機およびロール

### ROLLING MILLS AND ROLLS

#### 14.1 圧 延 機

昭和26年に始まる鉄鋼合理化計画に伴うわが国の圧延設備の進展は著しいが、特にこの一、二年来わが国経済事情の好転の影響を受けめざましいものがあつた。欧米諸国に比し約10年遅れているといわれていた設備水準が一挙にして世界的水準に達しつつある。すなわち諸設備の高度の自動化、これに伴う生産能力の飛躍的増大、あるいは製品精度の向上などに大きく注意が払われ、設備の改造、新設が行われてきた。しかるにこれらの新設備の多くはわが国の製作経験の貧困のため、諸外国から輸入されるという実情であつた。これら困難な状況のもとに、日立製作所は種々努力を払い着実に成果をあげつつある。まず帯鋼関係では昭和29年に圧延設備として高度な製作技術を要する大型可逆式冷間ストリップミルを国産第1号として製作、31年には大型スキンプスミル、さらに32年には国産第2号機としての大型冷間ストリップミルを完成した。

次に線材圧延設備は目下製作中である住友金属工業株式会社納めの設備があり、これは高い圧延速度と生産能力において注目すべきものである。また熱間ストリップミルは、同じく現在製作中の日亜製鋼株式会社納めの改造新設備がある。これは種々調査検討を行い現有設備の一部を改造、一部を新設し生産能力を一新するものである。

このほか、圧延設備の一貫をなす補助機械関係の主な機械は剪断機、矯正機などであるが、板用、型钢用、線材用とそれぞれ特長のある高性能の設備および機械が次々と新しく改良製作されている。この中で特に注目すべき設備は、八幡製鉄株式会社光製鉄所に納められた丸鋼矯正剪断装置である。これは線材のコイルを巻出し、矯正し、種々の所要長さに連続切断する装置である。

以上のように、従来輸入のみに頼つてきた種々の圧延設備も十分国産化しうることが実証された。

##### 14.1.1 大型冷間ストリップミルの第3号機完成

株式会社大阪造船所横浜工場納可逆式四重冷間圧延設備は、大型冷間ストリップミルの第3号機であつて、昭和29年日本鉄板株式会社大阪工場に第1号機を昭和31年末、第2号機（スキンプスミル）を納入したものに引き続き、製作されたものである。本機は、第1、2号機の貴重な経験をもととして、種々改良進歩が加えられているが、特に圧延速度が約50% upという高速のため、モーゴイルベアリングの採用、 $\beta$ - $\gamma$ 線厚み計の応用などのほか、部品の寿命、振動、騒音、発熱などについても、深い注意が払われ、高精度を得るためにより慎重な工作が行われている。その特長を記せば次のとおりである。

- (1) 補強ロール軸受としてモーゴイルベアリングを採用した。
- (2) 圧延圧力計を具備した。



第1図 49"/16.5"φ×46" L 可逆式四重冷間圧延機の稼働状況

第1表 可逆式大型ストリップミル仕様比較

|              | 第1号機 (日立)       | 第3号機 (日立)       | 輸入機 (U.E)       | 輸入機 (Bliss)   |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| ロール機称呼       | 49"/16.5"φ×42"L | 49"/16.5"φ×46"L | 49"/16.5"φ×42"L | 53"/16"φ×54"L |
| 完成年月         | 昭和29年4月         | 昭和32年4月         | 昭和28年2月         | 昭和29年         |
| 圧延速度(ft/min) | ±650～±1,300     | ±1,000～±2,000   | ±800～±1,600     | ±1,000～±2,000 |
| ストリップ最大幅(in) | 36"             | 40"             | 36"             | 48"           |
| コイル重量(t)     | 10              | 10              | 10              | 13.5          |
| 圧延能力(t/h)    | 10              | 15              | 10              | 16            |
| ミルモータ(HP)    | 2,150           | 3,200           | 2,500           | 3,500         |
| リールモータ(HP)   | 740             | 1,000           | 700             | 1,000         |
| ミルベアリング      | チムケン型テーパーローラ    | モーゴイル(42"-90)   | モーゴイル(40"-90)   | モーゴイル         |
| 厚み測定         | フライングマイクロ       | β, γ線厚み計        | フライングマイクロ       | フライングマイクロ     |
| 操作盤          | 機盤～2個           | ハウジング取付パネル      | 機盤～2個           | ハウジング取付パネル    |

(3) ストリップ厚み測定には、β, γ線厚み計を採用した。

(4) 巻取機ドラムには、強力な自由端支持装置を付した。

(5) 電気操作パネルはロールハウジング取付型とし、作業者がストリップに近く作業に便ならしめた。

(6) 将来コンビネーションミルとして、スキンプス圧延も可能なるように各種補助設備もあらかじめスキンプス作業の場合を考慮して設計されている。

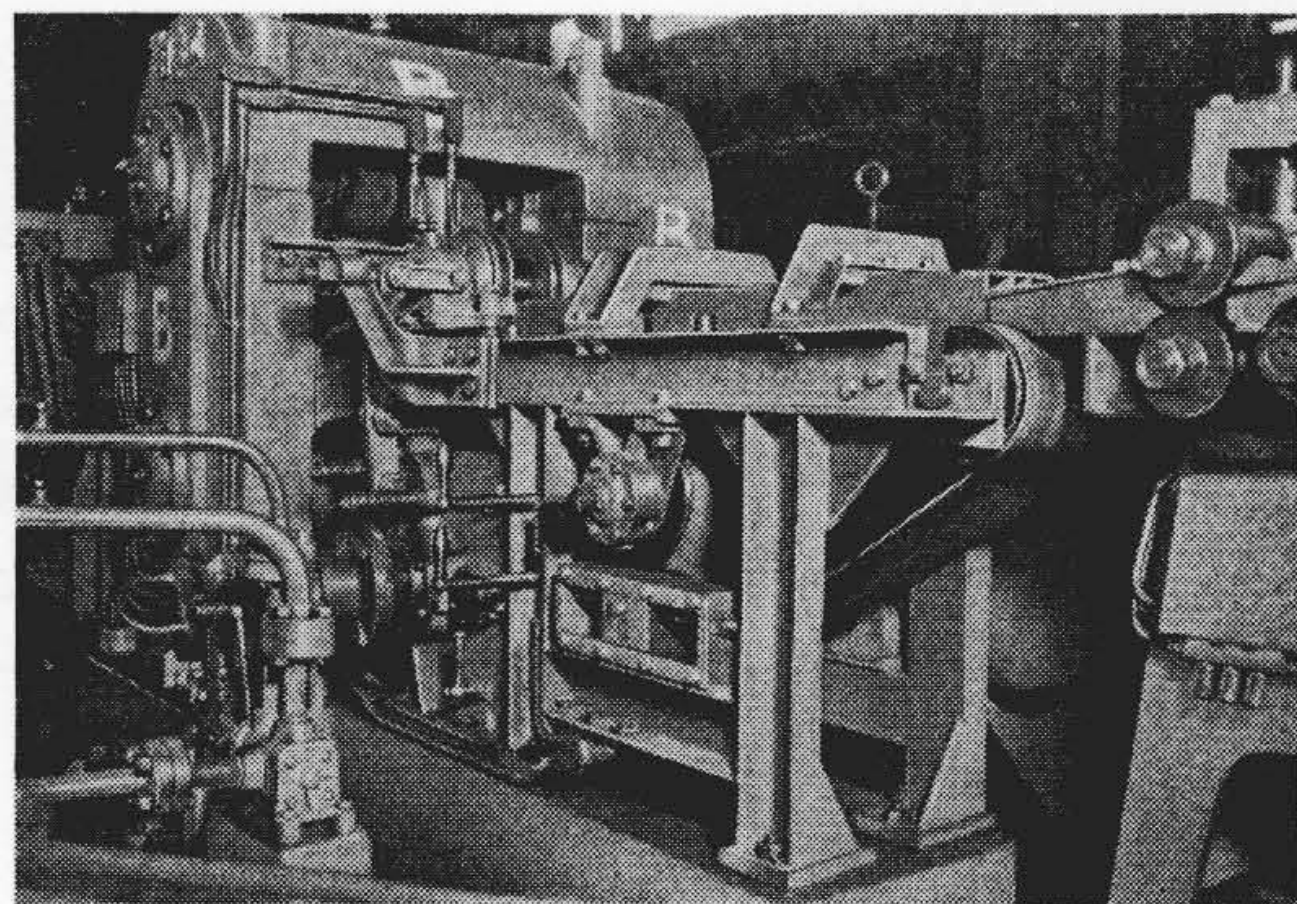
(7) コイルボックスは大重量、厚手のストリップを正しく円滑にミルへ送ることができるよう設計されている。

(8) 巻取りドラムは特に強力なウェッジ型のものを採用した。

現在わが国において、稼動中の可逆式冷間ストリップミルは、6基あるが、日立製作所が製作した2基を除きいずれも外国からの輸入品である。それらの代表的仕様を第1表に示したが、これからわかるように、今回製作されたミルは、最高水準をいくものであり、日立製作所の製作経験をもつてすれば、設計製作技術はもちろん、納期価格の点においても、今後かかるミルを輸入に頼る必要は、まったく認められないことを実証したものとえよう。

#### 14.1.2 自動化された高性能丸鋼矯正剪断装置

八幡製鉄株式会社光製鉄所納丸鋼矯正剪断装置は線材圧延設備にて圧延されたコイル状の線材を、直線状に矯正し所定の長さに剪断する設備でその精度、生産能力および自動化の点において、いまだほかに例をみない多くの特長を有するものである。これは最近線材圧延設備が高い生産能力を持つに至ったことおよび製品に対しきびしい精度が要求されていることなどからその必要性が生じてきたもので、昭和30年に国産第1号機として八幡製鉄株式会社光製鉄所へ製作納入している。32年度は同じく八幡製鉄所に第3号機を納入したが、これは前設備の多くの貴重な経験を生かしたもので、三つの特許を有し各所に創意工夫による新方式を採用しているが、その特長を記せば次のとおりである。



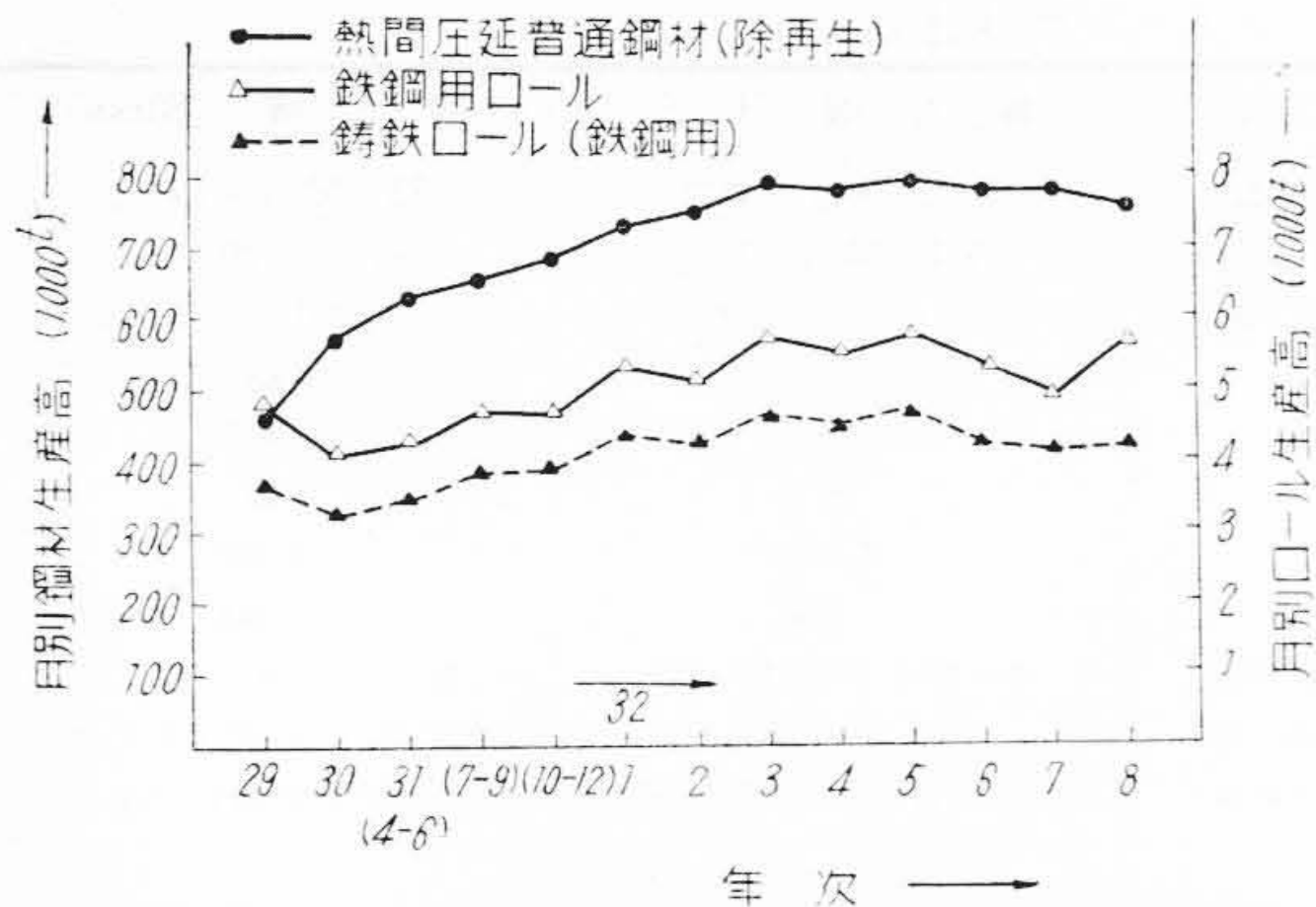
第2図 丸鋼剪断装置

- (1) ライン速度が最高135 m/minの高速である。
- (2) 矯正精度が高い。
- (3) 剪断長さの範囲が5.5～13 mで広い。
- (4) 製品の酸化被膜の落下が少ない。
- (5) 剪断後の処理で曲りが出ないように考慮されている。
- (6) 作業の安全性について特に注意が払われている。

#### 14.2 ロール

ロールは昭和31年10月、日立製作所の鉄鋼部門が分立して日立金属工業株式会社となつて以来同社が取り扱っているが、あらゆる材質のロール、すべての用途向けのロールを生産できるのは日立金属工業株式会社のみであり、昭和32年も引き続きわが国第一位の生産実績をあげた。

ロールの全国生産量の用途別割合は鉄鋼用95%、非鉄金属用2%、非金属用3%であり、ロールの材質別生産割合は鋳鉄ロール83%、鋳鋼ロール13%、鍛鋼ロール4%(いずれも昭和32年1～6月生産重量による)であり、用途では鉄鋼向け、材質では鋳鉄ロールが圧倒的大部分を占めている。鋼材の生産高と鉄鋼向けロールの生産高の関係をみると、第3図のとおりで鋼材生産量の増加に比べてロールの生産高の増加率の少ないこと——ロー



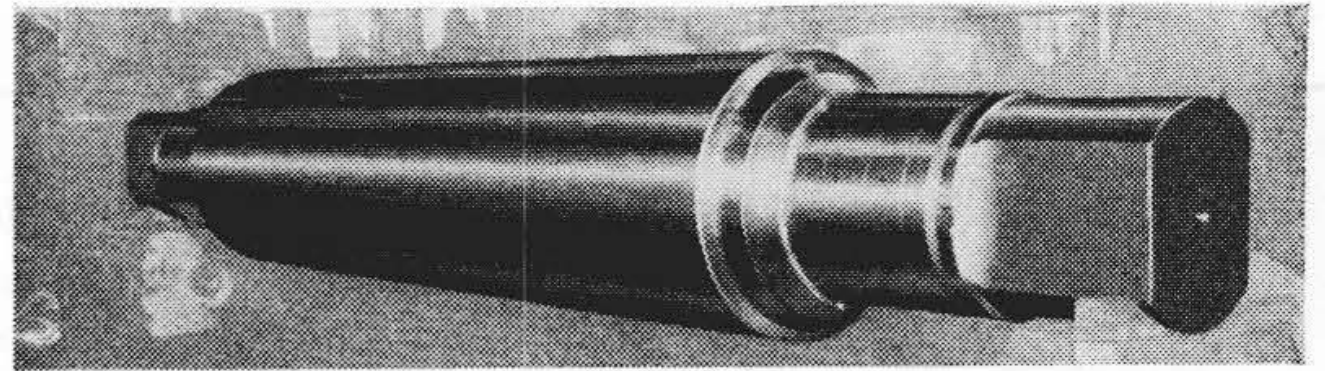
第3図 鋼材生産とロール需要の推移

ルの進歩したこと——がわかる。この功績は主として日立金属工業株式会社に帰する。これは上記のとおりわが国鉄鋼業ことに圧延設備の近代化が進んで世界的水準に達しつつあるに伴い、ロールに対しても強力な耐摩耗度の高いものが要求されたが、日立金属工業株式会社はこれにこたえて新材質のロール、たとえば大型形鋼用ロールには球状黒鉛鋳鉄を応用したダクタイルロール(8X)あるいは低炭素鋳鉄を利用したアダマイトロール(2S)を、板用ロールとしては高合金鋳鉄ロール(7C)を、線材用ロールとしては1部ダクタイルロール、アダマイトロールを使用し仕上に低合金ロールを提供した。

このため従来発生していた形鋼用ロールにおける胴折れ、フランジ欠損、早期摩耗など、ホットストリップ用ロールの肌荒れ、ネック折れ、バンディングなどほとんど解決された。

#### 14.2.1 中板および厚板ロール

従来のわが国における中板・厚板ミルは三段可逆式のものがほとんどで、これらには主として普通チルドロールが使用されてきた。しかしながらホットストリップミルの増設、近代的四段可逆式の厚板ミルの出現は新材質のロールを必要とするとともに、既存の設備もこれらの新式設備と対抗するために圧延能率の向上、圧延鋼材の種類の変革が当然の結果として招来されてきた。このため在来の三段ロールに在つても圧延のスピード化、特殊鋼圧延への転換が積極的に行われ、従来のチルドロールでは摩耗度の増大、チルはげ、ロールの強度不足などの現象が逐次増加してきている。これらに対してはその圧延作業に適した高硬度のロールが必要であり、日立金属工業株式会社に於いてはつとにそれぞれの圧延作業中ロールに発生する各種の応力を力学的に解明することに努め、これによつてその作業に適したロール材質の選定を行い、特殊の合金チルドロールおよび合金グレーンロールを製作して頻発していたロール事故を防止し、顧客の好評を得ている。



第4図 高硬度グレン製厚板用ロール

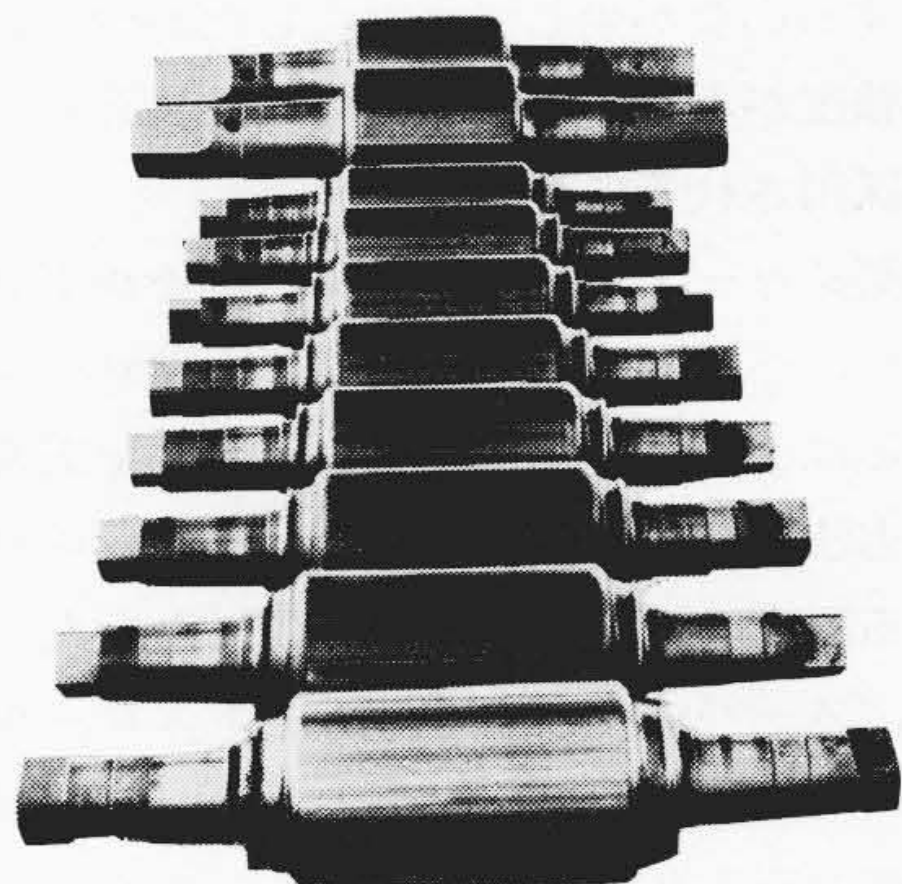
四段厚板ミルはわが国においてははまだ圧延初期の域を出ないが、そのロールは従来のものに比しきわめて大型であり、しかも高い耐摩耗度と折損、チルはげ、クラックに対する十分な抵抗力を要求されるもので、ロール材質の選定、鋳造方案および機械加工の各工程にわたつて在来のロールに比較して飛躍的な考案と設備とを必要とするものである。この種ロールには米国においてはHs 70~75度程度の合金グレーンロールが主として使用されているが、日立金属においても米国諸文献の調査、ホットストリップロールにおける合金グレーンロールの長い経験をもとにして独特の中抜合金グレーンロールを製作して米国よりの輸入ロールに比し、いささかも劣るところのない圧延成績をあげている。

#### 14.2.2 ホットストリップロール

ホットストリップミルの圧延成品であるコイルの良否は、最終成品の冷延コイルの品質を左右するもので、わが国薄板生産の大部分がストリップミルに移行する趨勢下において、特に重要な部門といわざるを得ない。ホットストリップロールとしては中抜高合金グレーンロールが主として賞用されることはすでに周知のことであるが、コイル生産量の増加は当然、圧下率の増大、圧延の高速化を必要とし、ロールに要求される性質はますます峻厳なものとなつてきた。すなわち粗延ロールにおける亀甲クラック、バンディングの発生、駆動部の亀裂折損、仕上列1~3機ロールのバンディング、肌荒れ、仕上列4~6機ロールのチルはげ、肌荒れが主要なロール事故として前面に押し出されてきた。これらの対策は従来よりももちろん重要課題であつたが、生産量の躍進的増加に伴つて今や緊急の問題となつたのである。日立金属は絶えず圧延工場との接触を保ち、協同研究の立場より圧延の状況、ロールの実態を調査してこれら諸問題の解決に努力し、ロール材の熱的諸性質の研究を推進して、ホットストリップロールとして必要な性能を十分具備するロール材質の具体的方案を確立して顧客の信頼を得ている。

#### 14.2.3 帯鋼ロール

帯鋼圧延は、圧延材の正確な仕上り寸法と、圧延肌の良否が非常に問題とされるので、各圧延スタンドへ配置されるロール材質の選択には特に注意が払われる。圧延材の仕上り肌を美麗にするためには、粗ロールはもちろん仕上ロールに至る各ロールが耐摩耗性に富むことが必要

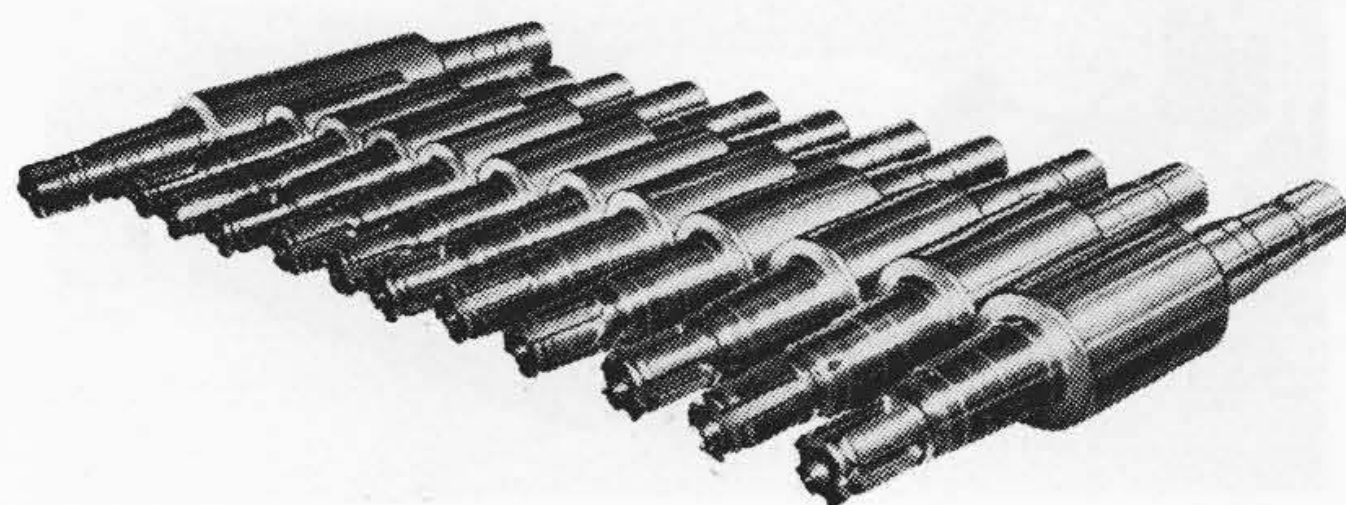


第5図 帯 鋼 ロ ー ル

であり、粗ロールが耐摩耗性に欠けると粗圧延後の素材肌が悪くなり、いくら仕上ロールが耐摩耗性に富んでも、所期の目的の圧延肌を有する帯鋼製品は得られない。従来粗ロールは強度に主眼がおかれたため、鋼ロールや低硬度のグレンロールが使用されてきたが、市場の厳格な圧延肌の要求にしたがつて、最近さらに耐摩耗性の高い粗ロールが必要となつた。この点に着目して日立金属工業株式会社で製作したダクタイルロールは、強度、耐摩耗性両者を兼備して帯鋼粗ロールとして最適の条件を備えるものでこれの使用に伴い、著しく圧延肌の仕上がりが向上したと好評を博している。また中間、仕上用ロールには、従来のHs 80度 upの高硬度グレンロールに代つて、やはり同硬度の高合金チルドロールが使用されているが、仕上り肌の改良はもちろん圧延成績も従来の1.5倍と優秀な成績をあげている。この高硬度チルドロールは、日立金属独得の特殊鑄造法により製作されるもので、ロール胴体表面は適当なチル深さを有する白銑層で、中心部は鼠銑よりなり、胴体表面硬度はHs 80度 upの高硬度を保持して耐摩耗性に富み、中心部は抗張力25~30 kg/mm<sup>2</sup>伸び0.3~0.4%とすぐれた強度を有するため、圧延帯鋼仕上り肌を非常に良好にするとともに折損に対する危険度も少なく、圧延能率を向上させるので帯鋼仕上ロールには欠くことのできぬロールと好評を博している。

#### 14.2.4 線材ロール

線材製品の具備すべき重要な点はその寸法形状の正確さと仕上り肌の美しいことであり、最近における線材ミルはいずれも従来にない高速の圧延によつて圧延能率の



第6図 線 材 ロ ー ル

増加が企画されているので、ロールに対するこれらの条件に適応するための要求はますます高度のものとなつてきた。線材製品の寸法、形状および仕上り肌を改善するためにはロールの耐摩耗度を高め、肌荒れを防止することが必要であるが、これらのことは仕上ロールに高級のロールを使用することのみによつて達成することはできず、圧延の高速化とともに粗および中延ロールの性質を飛躍的に向上させることが肝要である。すなわち粗延ロールにもチルドロールのように耐摩耗性のロールが要求されるのであるが、在来の鋼ロールないしサンドロールではとうていそのような耐摩耗性は期待できず、チルドロールは強度的に粗延用としての圧延荷重に耐え得ない。

日立金属工業株式会社は顧客の要望にこたえ、これらの用途に8Xロールおよび2Sロールを提供し好評を博している。8Xロールは球状黒鉛鑄鉄ロールであるが、線材用としては特に耐摩耗度の増加と局部加熱によるクラックの防止に重点を指向して特殊な考慮を払つたもので、粗、中延用として賞用される。

2Sロールは圧延荷重の高い粗延ロール用として鋼製ロールではとうてい望み得ない耐摩耗性を維持して、そのすぐれた強靱度とともに圧延能力を倍増させている。

このように粗延または中延のロールの一部にすぐれた強度と耐摩耗性の新材質ロールを使用することにより、中延および仕上ロールには従来のチルドロールおよび合金チルドロールを使用して十分優秀な実績を示している。さらに仕上列においても特に必要な場合はHs 70度以上の合金球状黒鉛鑄鉄ロールとして8Aロールを製作しそのすぐれた耐摩耗度とロールネックの強靱性は従来のチルド系ロールではみられなかつた好成績をあげている。

#### 14.2.5 形鋼ロール

形鋼ロールとしては少量のサンドロールおよび大部は普通グレンロールまたは合金グレンロールが使用されてきたが、周知のようにわが国の形鋼圧延設備はほかの板、帯、線材などに比してその近代化が遅れており、既存の設備ないしはその改善によつて従来にない大型断面のものをも能率的に圧延せざるを得ない状況にある。特に造船用の大型鋼材、輸出向け軌条そのほかの形鋼の生産は国家経済の見地よりもますます重要となつてきたので従来のサンドロールおよびグレンロールでは強度的にも成品仕上りの面および圧延能力の点でもすでに過去のものとなりつつある。

かかる趨勢にこたえて日立金属工業株式会社が市場に提供しているものは球状黒鉛鑄鉄をロール材として利用した8Xロールおよび反射炉熔製による1.6~2.3% Cのアダマイトロール2Sロールである。

## (1) 8 X ロール

球状黒鉛鑄鉄のすぐれた特性は周知のところであるが、日立 8 X ロールはその特性を最大限に生かし、一般の球状黒鉛鑄鉄のフェライト析出を阻止して十分の硬度とそれによる耐摩耗度を確保したもので、形鋼の中間および仕上用としてすぐれた成績を収めている。

しかしながら、8 X ロールは形鋼はもちろん帯鋼、線材など各種鋼材にも広く使用されるに至ったが、その使用条件が各種にわたり、ことに大型形鋼の場合は深い溝型を必要とするため、ロールに加わる熱的影響が大きく、亀裂あるいはそれに原因する事故を発生する危険のあることがわかった。使用条件の改善、主として水冷の改善がこのような欠陥の防止策としてきわめて重要であるが、ロールの形状よりその万全を期することは種々困難を伴うので、ロール材質の面より改良を加えることが不可欠である。この点に関して鋭意検討を加え、8 X はじめ従来のグリーンロールにわたる各種のロール材について熱的諸性質の改良について独特の製造方案の確立をみ、これにより 8 X ロールの特性を十分に発揮させ得るに至った。

## (2) 2 S ロール

2 S ロールは 8 X ロールとともに今や形鋼特に大型形鋼圧延においては欠くことのできない材種となつている。もちろん 8 X ロールに比し硬度が低いので使用箇所によつては耐摩耗度において、しばしば劣る場合もあるが、熱的衝撃によるクラックの生長に対してきわめて抵抗力に富むことは本ロールの大特色で 8 X ロールでも危険の伴う超大型の形鋼ロールの中間および仕上用として画期的な圧延実績を収めている。

しかも日立の 2 S ロールは米国における 2 % C のアダマイトロールと同様、反射炉熔解によるものでさらに 1.6 % 程度の低炭素のものをも反射炉で熔解する域に達し、独特の熱処理による品質の安定、優良品とあいまって形鋼圧延能率の向上に大いに寄与しているものである。

## 14.2.6 スーパーカレンダー用鋼軸チルドロール

カレンダーロールのジャーナル部の径は従来胴部径の 50 % 以上（ボトムロールおよびトップロールは 60 % 以上）とするのが普通である。近時ローラベアリングの採用によつて、設計上ジャーナル部を従来の標準より著

しく細くする必要が生じてきた。したがつて鑄鉄ジャーナルでは強度が不足となり、当然の結果として鋼製ジャーナルが採用されるに至った。

従来鋼製ジャーナルを採用しているチルドロールには製粉ロール、ペイントロールおよび圧扁ロールなどがあり、これらはチルドロールの胴部へ鋼軸を圧入または焼はめする方法を採っている。これらのロールの使用時胴部に加わる圧力は比較的小さく、軸圧入も大して問題ではないが、スーパーカレンダーのボトムロールおよびトップロールでは使用時の圧力が大きいため、鋼軸およびロール胴部の圧入孔もかなり大きくなり、技術的に研究すべき問題が多い。

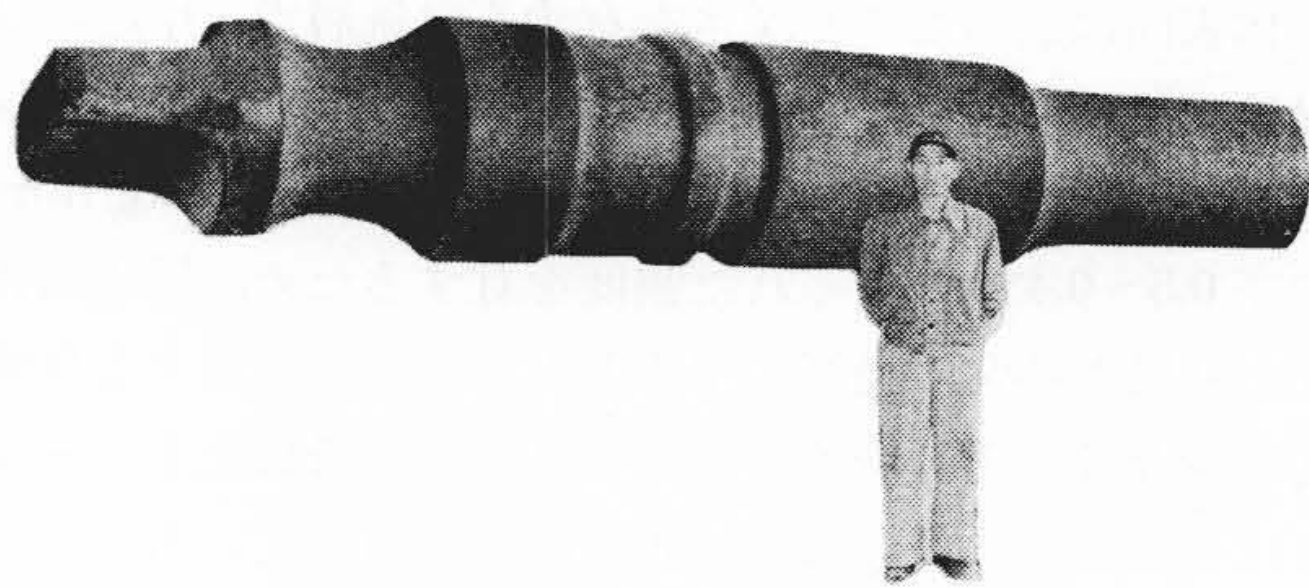
近時ドイツ製スーパーカレンダーには鋼軸ロールを採用しているが、この場合のロール硬度は Hs 70 度前後に止まつている。日立金属工業株式会社は国内他社に先がけて、鋼軸スーパーカレンダーロールの製作に着手し、すでに多数を実用に供している。その硬度もドイツ品をしのぐ高硬度で Hs 80 度のものも製作可能である。その一例を示せば第 2 表のとおりである。

## 14.2.7 鑄鋼ロール

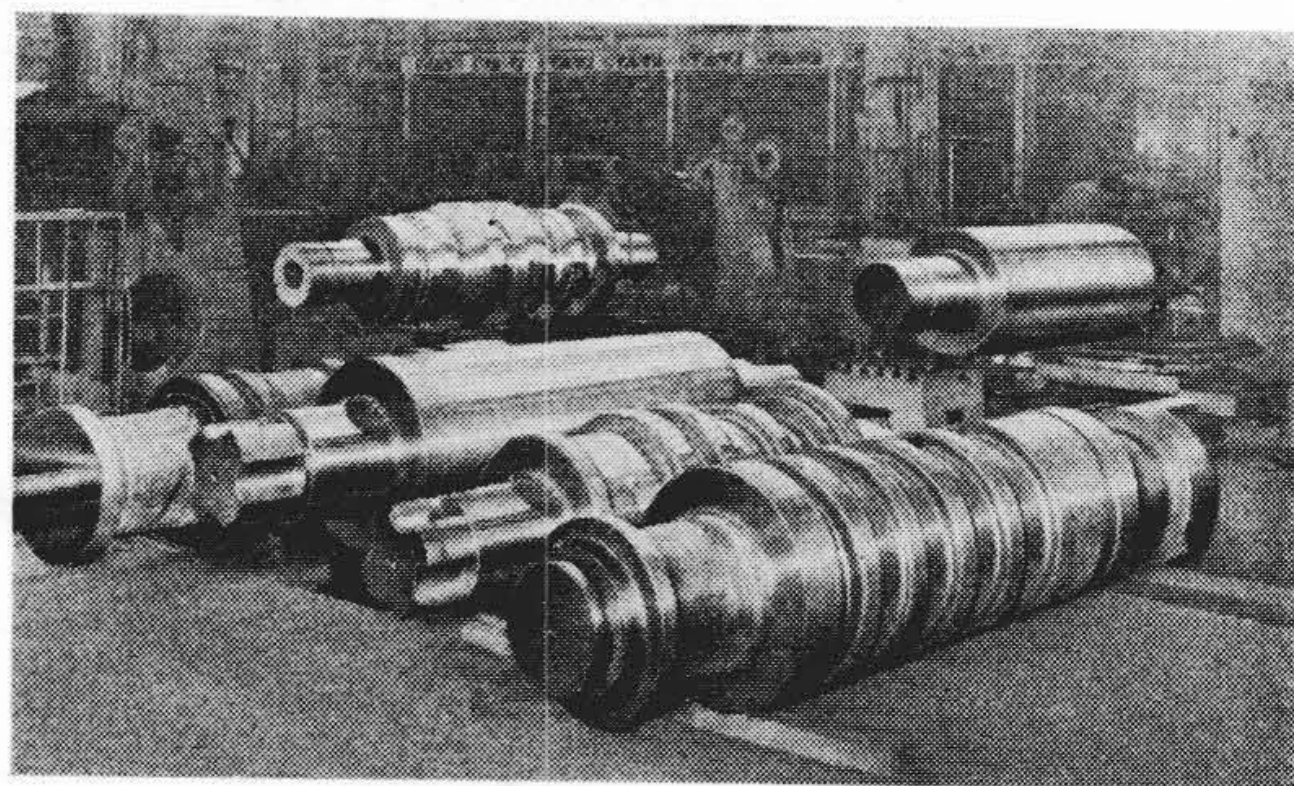
最近の鉄鋼需要の増加に伴い鑄鋼ロールの生産も次第に増加し、高炭素鑄鋼、特殊鑄鋼、アダマイトの各種材質の大型形鋼ロール、分塊ロール、帯鋼用バックアップロールを多数製作し好成績をあげている。

## (1) 生産設備

熔解は塩基性電気炉を用い、熔鋼の温度はイマージョンサーモカップル、Fe-W 熱電対、光高温計を使用して管理している。押湯加熱装置、水冷装置および各種



第 7 図 分塊ロール鑄放状況



第 8 図 仕上工場における大型ロール群

第 2 表 鋼軸ロールの硬度例

| 面 長 (in) | 胴 径 (mm)    | ジャーナル径 (mm) | 硬度 (Hs) |
|----------|-------------|-------------|---------|
| 108      | 500 (20 in) | 260         | 70      |
| 108      | 560 (22 in) | 280         | 70      |
| 108      | 508 (20 in) | 225         | 80      |
| 108      | 610 (24 in) | 280         | 80      |
| 85       | 610 (24 in) | 260         | 75      |
| 85       | 460 (18 in) | 200         | 75      |

の特殊チルを設備し、材質およびロールの大きさによつて適時使用している。最近深さ 6,000 mm の大型ピットが完成され仕上重量 30 t 以上のロールが製作可能となつた。鋳鋼ロールはプログラムコントロール方式の重油燃焼ロール熱処理炉および焼準装置を用いて適切な熱処理が施される。製作されたロールはすべて超音波探傷器を用いて内部欠陥の皆無を期している。

## (2) 大型形鋼ロール

大型形鋼ロールはその用途によつて、高炭素鋳鋼、特殊鋳鋼、アダマイトが用いられる。高炭素鋳鋼ロールは強靱性を特に必要とする粗ロール、特殊鋳鋼ロールは強靱で耐摩耗性を要する粗および中間ロール、アダマイトロールは耐摩耗性が高く肌荒れの少ないことを要する仕上ロールに主として用いられる。

この種の大型ロールはその凝固時間が長く、液体固体の収縮が大きいので種々の欠陥を生じやすい。特に高炭素のアダマイトロールは内部欠陥を発生しやすい。

日立金属では現在までの経験と研究によつて、装入材料の品質向上、鋳込温度の適正化、およびロール内外部からの冷却方法を改善することによつてこの種の欠陥を防止することができた。

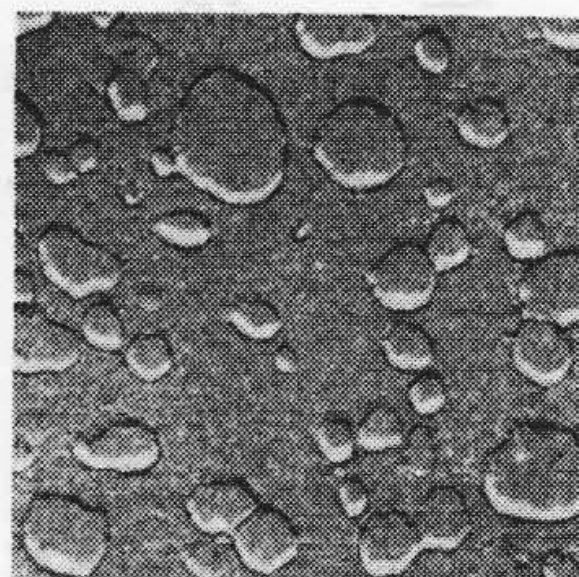
## (3) 分塊ロールおよびバックアップロール

分塊ロールおよびバックアップロールはその用途から強靱性および耐摩耗性を必要とし材質は特殊鋳鋼が用いられる。この種大型ロールに対しては下部ジャーナルに 2 個の湯口を切線方向につけ、低温の熔鋼を回転しながら急速注湯するとともに水冷装置およびチルを用いて内部と外部から同時にしかも下部から上部に向つて凝固を進めるようにしている。

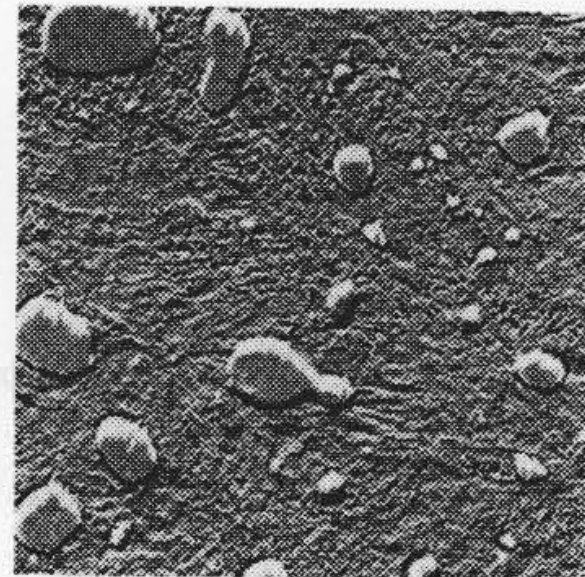
また熱処理は高温において拡散焼鈍を行い、その後球状化焼鈍をして中心部まで靱性の高い球状化組織にする。荒引後適当な深さまで所要の硬度を付与するための熱処理を行い、強靱で耐摩耗性のあるロールを製作している。第 7 図は分塊ロールの鋳放状況、第 8 図は続々完成しつつある大型ロール群を示す。

### 14.2.8 鍛鋼ロール

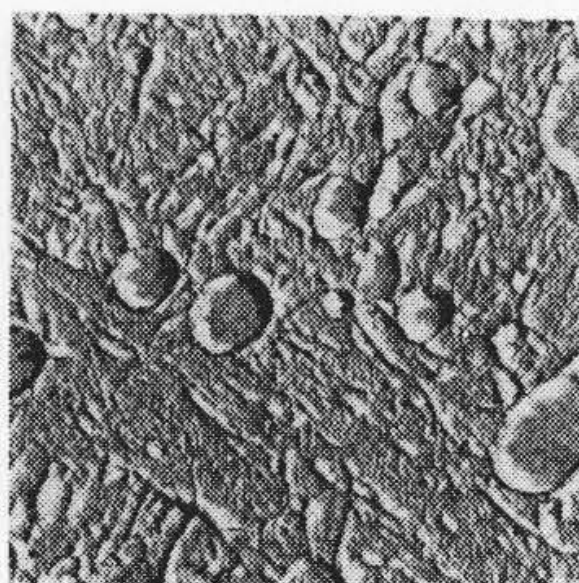
一般に冷間圧延用作業ロールとして要求されるロールの表面硬度は通常 Hs 90 度以上であるが、すぐれた圧延成績をもつた冷間圧延用作業ロールは硬化層が十分に厚く、内層における硬度の低下がゆるやかで、圧延時のロールの扁平変形や、Tail mark などの表面変形に耐え得るものでなければならない。このためにはきわめて強烈な水冷焼入を行つてロール表面層をできるだけ早く冷却する必要がある。しかも焼戻温度が低温であるために残留応力は非常に大きい。硬さをできるかぎり内層まで確保し、焼割れを生じないためには残留応力を軽減させ



(A) 球状化組織



(B) 表面より 1 mm

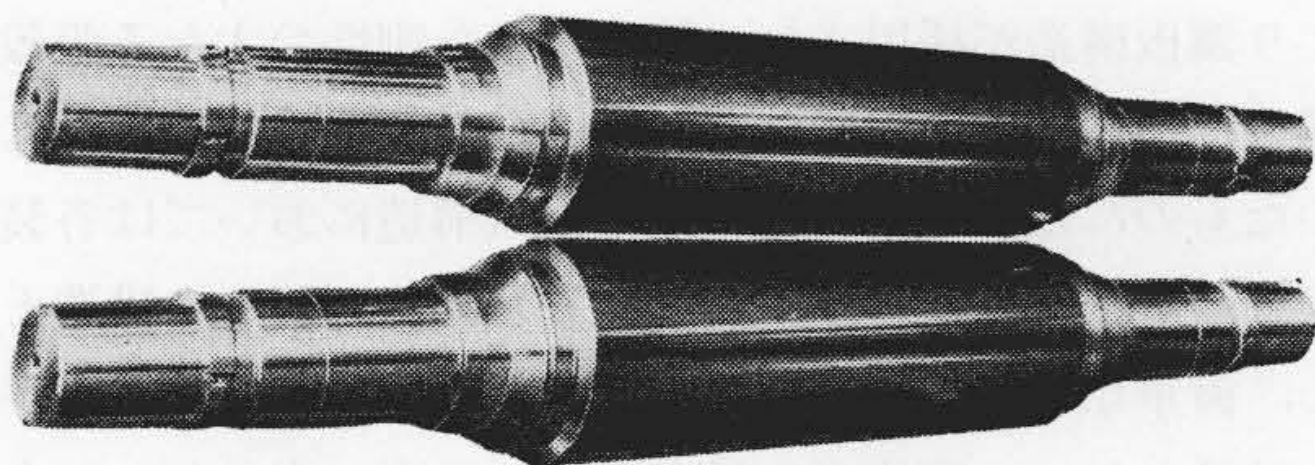


(C) 表面より 15 mm



(D) 表面より 25 mm

第 9 図 鍛鋼ロール断面の電子顕微鏡組織の一例



第 10 図 鍛鋼焼入れロール

るような特殊な焼入方法を行つているが、焼入れ前の焼鈍組織、焼入温度、保持時間もまた硬化深度にきわめて重要な関連性をもっている。

日立製作所では多年にわたりロール材の熱処理研究として焼入れ前の球状化焼鈍組織のセメントライト粒の大きさをいろいろの範囲にかえ、加熱温度、保持時間の変化による焼入性、耐摩耗性を検討した結果、使用目的に応じて容易に表面硬度と硬化深度を調整する熱処理方法を確立した。顕微鏡的観察によればマルテンサイトの強度とセメントライトの分布量とが寿命にかなり影響し、ロールの組織としてはマルテンサイト地に 6 % 前後のセメントライトが残留し、残留オーステナイトはできるだけ少ないことが望ましい。したがつて焼入前後における本体の組織を顕微鏡により一本一本検査し、必要に応じて本体についての電子顕微鏡組織を検討している。これらの研究検査によつてロールの寿命が向上し、業界の好評を得ているが、さらにこれを発展させるために Klinger-Koch によつて急速に進歩した炭化物の電解分離の研究を取り入れロール材の焼入前後の金相学的解明を行つて