

技 術 資 料

—ロール製造技術の現状と将来—

鑄鉄, 鑄鋼, アダマイトロールについて*

宮 下 格 之 助**

—Present and Future of Roll Production Technique—

On the Production of Cast Iron Rolls and Cast Steel Rolls

Kakunosuke MIYASHITA

1. 緒 言

第2次大戦後の日本における鉄鋼生産の特色はその著しい成長性である。その生産量は粗鋼生産において、鉄鋼設備の荒廃と技術空白時の1946年の56万tが、1953年には戦前最高の753万tを突破し、1951年以降の2次にわたる溶解圧延両部門の設備の合理化および、1961年以降の第3次計画での貿易自由化の進展に対処し、国際競争力強化目的での最新鋭大型製鉄所の建設により、1969年には8700万tを達成、アメリカ、ソ連について世界第3位の生産実績をあげ、品質と価格においてどの国にもまけない国際競争力をもつにいたっており、1億2000万tを達成するのもそう遠くないと考えられる。このような驚異的成長は、鉄鋼業関係者のすぐれた企画力と技術開発に対するたえざる努力のたまものであるが、鉄鋼業周辺産業の進歩と技術向上におうところも多く、合理化と技術革新の過程での、それぞれの分野の前進が組織的に推進されてきた結果といえよう。

製鉄製鋼部門の合理化はさておき、圧延部門における設備の合理化は、外国技術の導入、新鋭機械の購入によりまず設備の更新、新設が行なわれ、ついで圧延設備の連続化による大量生産方式の導入により経費の引き下げが行なわれた。さらに日本独自の技術開発も加えて設備の大型化が推進され、自動制御やコンピューターコントロールも行なわれ、製品精度の向上と材料歩留り向上による、低価格での大量生産や省力化が強力に進められた。

このような圧延設備の合理化とそれに伴う圧延能率の向上は、必然的にこれに使用される圧延用ロールに高度の品質を求める結果となり、ここ十数年間に本邦のロール製造技術も飛躍的進歩をとげ、海外技術の模倣時代をすぎて、今日では日本独自の技術や新製品も開発さ

れ、質においても世界の一流品として広く海外に輸出されている。

鑄鉄ロールの分野では、戦前より製造されていたチルドロールやグレンロールが中抜鑄造法という新しい製造技術の開発によって高硬度ロールの完成をみ、また、1947年に開発された球状黒鉛鑄鉄もただちにロールに応用されて、鑄鉄ロールの分野に新しいダクタイルロールが登場し、鑄鉄ロールの使用範囲の拡大がはかられた。また時期を同じくして、鑄鋼ロールと鑄鉄ロールの中間材質ロールとしてアダマイトロールが開発され、大型形鋼の需要増加に伴なつて建設されたワイドフランジミルに適用されて賞用され、ロールの分野に新しい領域が確立されたことも特記すべきことである。また、中抜鑄造法の欠点である鑄造歩留りの向上を目的として、従来より鑄鉄系スリープロールに応用されていた遠心鑄造法を中実ロールに適用して歩留りの向上や品質の改善がなされロール製造面での機械化に成功したことも画期的なことで、この方法により鑄鉄、鑄鋼、アダマイトロールがもつのおのおの特徴を組み合わせたロールの製造が可能となつてきている。圧延設備の大型化に伴つてロールもしだいに大型化しているが、とくに鑄鋼ロールの分野での厚板圧延機のバックロールでは100tを超えるものがあり、ロール製造面で溶解、鑄造、熱処理加工などの設備の大型化、近代化が行なわれるとともに製造技術も長足の進歩を遂げるにいたっている。また、最近ロール外殻層が耐摩耗性に富む合金鑄鋼や合金アダマイト系材質で、ロール芯部が強靱な鑄鋼材からなる複合ロールが開発され注目されているが、今後とも安定した製造方案の確立や材質面での検討によって新しい分野の開拓、確立が期待されつつある。このように鑄鉄、鑄鋼ロール分

* 昭和45年12月18日受付 (依頼技術資料)

** 日立金属(株)副社長 工博

野での技術革新は今後さらに進むものと思われるが、本稿では、鑄鉄ロール、アダマイトロール、鑄鋼ロール3分野の製造技術の現状について表面的にふれるとともに各ロールの材質特性、応用分野の概略を述べ関係者の参考に供する。

2. 鑄鉄系ロールの製造法

2.1 溶解法

鑄鉄系ロールの溶解には反射炉、キューボラ、低周波誘導炉、電気炉などが用いられているが、反射炉、キューボラの歴史が長く、近年にいたって低周波誘導炉の活用が目立ってきている。キューボラ単独で鑄鉄ロールを溶解するのは非常に少なくなつてきており、ごく一部のゴム、ビニール圧延用ロールとか製紙用ロールが製造されているにすぎず、これも近い将来低周波誘導炉におきかわつてゆくであろう。電気炉で鑄鉄ロールを溶解することも一部で行なわれているが、鑄鉄ロール本来の特質を保ちえない欠点があり常用されていない。

現状では、反射炉、低周波誘導炉が鑄鉄ロール用主溶解炉として活用されているので、ここでは反射炉、低周波誘導炉について鑄鉄ロールの溶解法を述べることにする。反射炉は図1に示すごとく長方形で炉の機構は本質的に平炉と同じであるが、天井が移動式アーチカバーで作られており、材料の装入が天井カバーを取り除いて行なわれるため、廃棄ロールなどの大きな材料を一度に

装入できること、大量の溶湯を一度に処理できること、保守と修理が簡単である上、溶解中の成分、温度の管理が比較的容易であるため、古くから鑄鉄ロールの溶解に用いられてきた。加熱は一端からのみ行なわれ、燃焼した燃料が天井に沿つて加熱室に入り煙道から煙突に抜け、通路の炉床におかれた装入物や溶湯は、この熱の天井からの副射と直接溶湯との反応熱によって加熱される。炉床には200~300mm程度の深さの湯溜りがあり出湯口は側壁に設けられている。側壁および天井には酸性耐火レンガ、炉床には硅砂が一般に用いられている。炉の溶解能力は1回の溶解能力でよばれるが15~30tぐらいがもつとも多い。燃料は微粉炭が多く用いられるが、塊炭をロータリークラッシャーで粉碎する微粉炭機が必要で、米国のホワイテング社のものが世界的に有名である。しかし近年重油バーナーの進歩にともなつて、重油の混焼または専焼の反射炉が多くなつてきている。反射炉は一般には、1日1回の操業で出鉄後7~8hr放置して炉を自然または強制冷却した後、天井カバーをはずし、まず炉床の整備を行ない新しい炉床材をしきつめるとともに側壁の損傷部の補修を行ない、溶解材料を装入し天井カバーをかぶせて点火し溶解を開始する。

溶解上重要なことは溶けおちるまでの炉内雰囲気および炉内圧に注意することで、酸化させぬように急速に溶解することである。完全に溶けおちたのち所定の温度で昇温し、テストピースを採取するとともに分析を行な

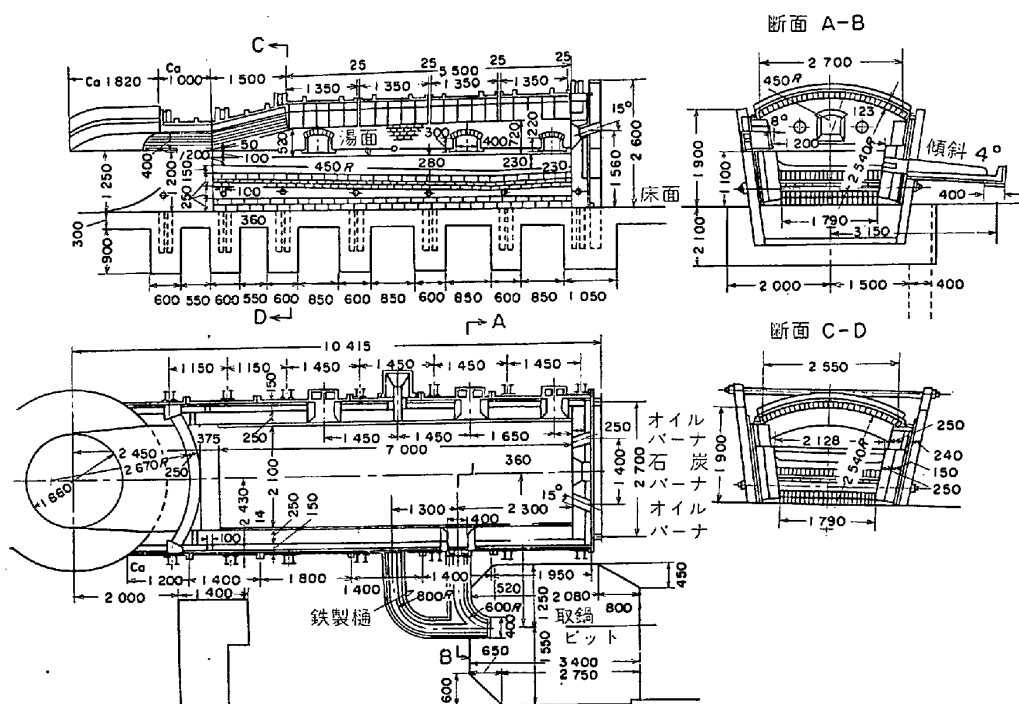


図1 反射炉の一例

い、必要な合金鉄煤、溶剤あるいは銑鉄などを投入し、目標どおりのテストピース破面および成分になつたら出湯する。小さいテストピースと分析成分より、大量の溶湯の状況を判断しなければならないため永年の経験を必要とする。とくにチルドロール溶解²⁾の場合、製造するロールに所定の深さのチルを与えねばならぬので溶解にあつて使用材料、溶解条件に十分な管理が必要である。チルドロール用原料銑としてとくに木炭銑が賞用される理由は、木炭銑を使用した溶湯をロール鑄型に注入した場合、金型で作られているロール胴部表面によくチルが入り、ロール胴部の中心部がよく黒鉛化し、かつ黒鉛が微細に均等に分布³⁾し流動性が良好⁴⁾で鑄割れ、巣などが少ないことおよび中心部に逆チルを生じない⁵⁾ためである。木炭銑のほかに使用されるコークス銑も最近研究が進み高純度のものが生産されるようになり、しだいに高価な木炭銑の代用として使用されるようになってきている。

銑鉄とともに使用されるスクラップもチルドロール溶解の場合、履歴のわかつたチルドロールの廃棄ロールが主に用いられる。このように原料銑、スクラップとも良質のものをとくに注意して使用することが、よいチルドロールを製造する基本である。

グレンロール、ダクタイルロールの反射炉溶解の場合

も基本はチルドロールとまったく同様であるが、所定のチル深さをロールに入れる必要はなく、むしろチルが入りにくいようにし、黒鉛の形状、分布を良好ならしめるため接種作業を出湯時行なうので、チルドロールほどのきびしさを必要としない。グレンロールの場合は出湯時ダクタイルロールは Mg 処理を行なつたのち、黒鉛化接種剤⁶⁾として Ca-Si, Fe-Si を用いて接種作業を行なうが、接種後注入までの時間を短くする必要があり、出湯温度や Mg 処理温度に注意する必要がある。

1960 年ころより銑鉄溶解炉としてわが国に普及した低周波誘導炉⁷⁾は、設備費が高周波誘導炉に比較して安いことと、成分調整や温度管理が容易であり、溶解速度が早く、しかも連続操業に適しているので銑鉄ロール用溶解炉として、ここ数年の間に非常に増加した。容量は 1~2 t の小容量のものから 35~50 t の超大型炉まで製作されている。低周波誘導炉では一般に 50~60Hz の商用周波数が用いられ、一次コイルに高圧電流を送り被溶解材に誘導される二次電流により発生したジュール熱を利用して材料を溶解するが、構造上、無心型(ルツボ型)と有心型(チャンネル)に大別される。ロール溶解用には溶解材料、出湯量、操業法などからルツボ型が適しているので大部分がルツボ型である。図 2 に代表的な低周波誘導炉の構造を示した。強固な炉枠の中に鉄芯

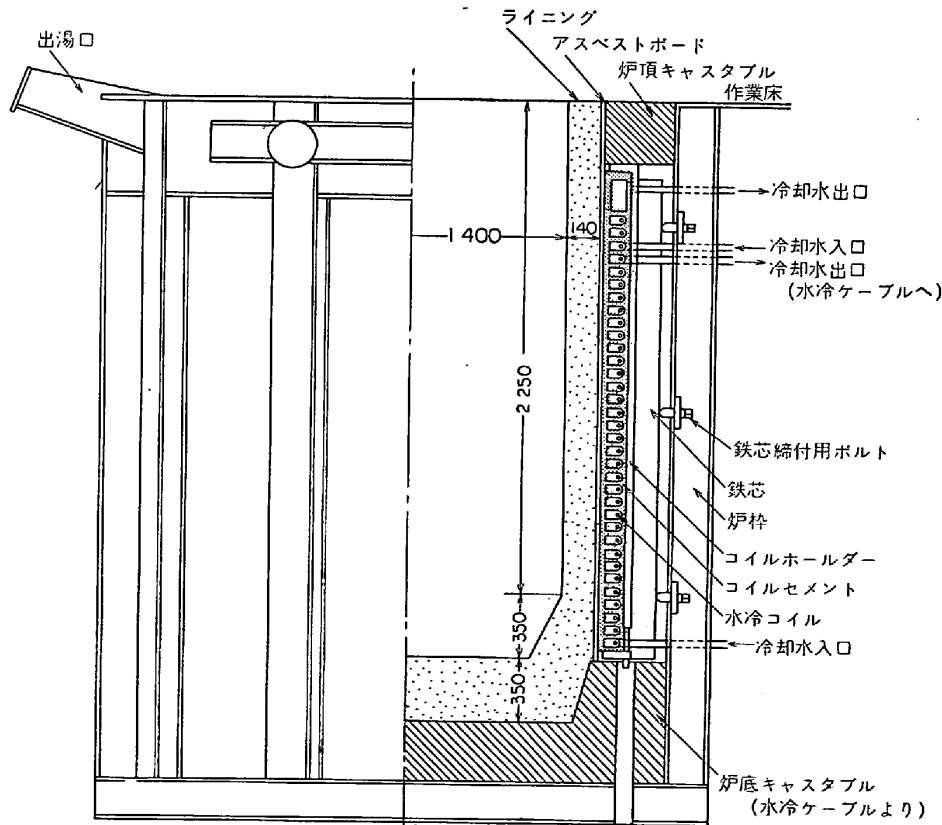


図 2 低周波誘導炉の一例

および誘導コイルが固定されており，大容量の電流を効率よく送りこめるように，コイル自体の中を冷却水が通っている．さらにこの冷却水は溶湯から炉壁を通じて伝わってくる熱よりコイルを保護する役目も果たしている．炉壁は炉材の性質により，塩基性，中性，酸性のライニングに区別され，また，築炉法によって乾式，湿式ライニングに区別される．一般に1550°C以上の高温溶解を必要とする場合は塩基性ライニング，それ以下の場合には酸性ライニングが用いられているが，鋳鉄ロール溶解の場合には酸性ライニングが用いられている．低周波誘導炉の溶解方法としては冷材操業，残湯操業，キュボラなどとの二重溶解操業がある．冷材操業よりも残湯操業の方が電力消費量，溶解速度からいつて有利であるが，鋳鉄ロール溶解の場合いずれの場合も行なわれている．炉の構造から一度に大量の溶解材料を装入できないこと，大きい廃棄ロールなどを装入できない点が反射炉より不利であるが，ロール加工時点でできる加工屑などが使用できること，また，加炭ができること，成分の調整が容易にできること，溶解温度の調節が入力の調節で簡単にできるなど，いわゆる計測操業ができる点が非常に有利で炉の特性さえ知れば，あとは使用材料管理を十分に行なうことで材質を安定させることができる．溶解にあたっての注意や出湯後の操作などは反射炉操業とまったく同じで，チルドロール溶解の根本原理さえ応用してゆけばよい．

今後，ますます低周波誘導炉の利用がロール溶解に当たって取り入れられ，反射炉が姿を消してゆくであろうことは想像にかたくない．

2.2 鋳造法

鋳鉄系ロール用鋳型は一般に図3に示すごとくであつて，ロール胴部を金型で急冷して組織の微細化や所要硬度を出して耐摩耗性や耐熱性のあるものとし，いつぼう上下のジャーナルおよびウォブラー部を砂型で造型し，溶湯を徐冷して黒鉛化し強度を保持させるようにしている．このような鋳型は一般につきの工程で作られる．

- (1) ロール図面の作成
- (2) ロール図面に基づく鋳造方案票の作成
- (3) 木型の製作
- (4) 金型(チラー)，金枠の製作
- (5) 鋳型材料の製作
- (6) 造型
- (7) 塗型
- (8) 乾燥
- (9) 組立

組立後に溶湯を注入し，適当時間放置し，解体，砂落

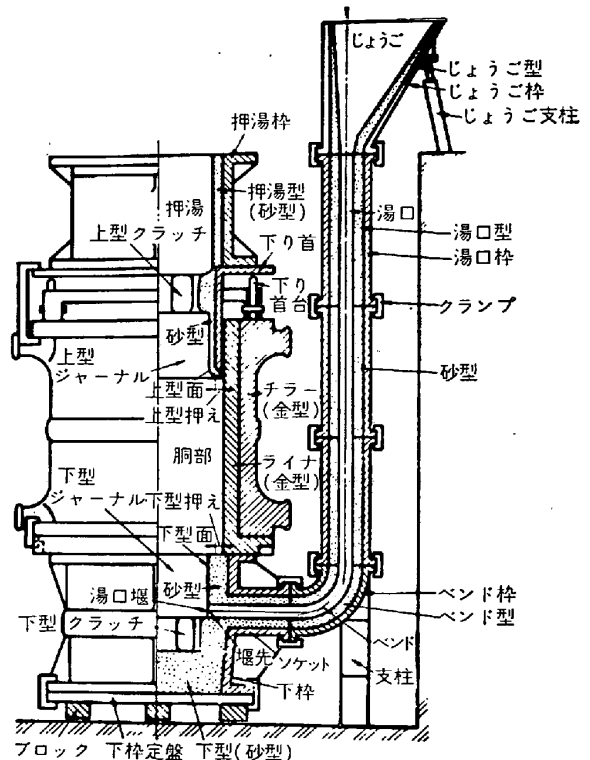


図3 一体式鋳鉄ロール鋳型

し，清浄を経て鋳造作業を終わる．

2.2.1 鋳造方案票の作成

図面に基づいて鋳造方案を作成するには，つぎのような基礎概念を必要とする．

(1) 胴体寸法，ジャーナル寸法および縮みしろ

ロール鋳型の寸法は縮みしろ，加工しろを加えた寸法だけ図面寸法より大きくする．胴体の加工しろは少ないほどよいとされているが，ロール胴径によりそれぞれ異なり一般に胴径が大きいほど加工しろも大きくする．

胴体は急冷されるので，砂型の上下ジャーナル部より縮みしろは大きい，溶湯の成分，とくに炭素の含有量あるいはチルの深さ，中抜ロールの場合は外殻層深さ，ロール内部の化学成分，組織によって変化する．一般に鋳鉄系ロールの収縮率は15/1000~18/1000であるが上型ジャーナル部は下型ジャーナル部より収縮率は大きく，胴体部も上下方向でかなりの差があり，また径方向の収縮率より軸方向の収縮率が若干大きいので，胴径と胴長との比で若干修正する必要がある．

(2) 下り首

上下ジャーナル部付根には，ロール軸方向の収縮に対して鋳型の可縮性を十分考慮しておかないと，溶湯の凝固時の比較的高温のところで吊り切れ事故が発生する．これを防止するため，下り首と称する鋳型を設け，ロールの軸方向の収縮に対しての抵抗を少なくするようにす

る。径の小さいもの、また胴長の短いものについては、この下り首を使わない場合もある。

(3) 押湯

押湯は小さいほど歩留の点で望ましいが、小さすぎるとひけ巣などが生じ上型ウォブラー部に悪影響を及ぼすので、ロール胴体部および上型ジャーナル部の容積に応じて適当に決定する。そのさい、形状係数を十分考慮し目安としては押湯直径は胴体直径の0.6~0.65倍にする。重量率でいえばロール鑄放し重量の13~15%で十分である。最近歩留り向上による原価低減を考えて、発熱保温剤の使用とか、鑄鋼、アダマイト系ロールではすでに行なわれているホットトップの使用も鑄鉄系ロールで採用されており、押湯はしだいに小さくなりつつある。

(4) 湯口・堰

湯口の寸法は溶湯の回転上昇運動を決定する重要な因子となる。回転上昇運動が速すぎると、鑄込中に溶湯の渦流とか空気のまきこみを生じて、表面欠陥の原因となり、いつぼう回転運動がおそいと溶滓その他をロール表面にかんで、健全なロール外殻層がえられない。また、湯口堰は下型ジャーナルに切線方向にとりつけられており、溶湯を回転上昇させる働きをするが、この断面形状大きさも非常に重要である。湯口径の算出は一般に、次式によつてゐるがこれに経験が加味されている。

$$A = \frac{W}{t - r - c\sqrt{2gh}}$$

ここで A は湯口断面積 (m^2)、 W は胴部の鑄込重量 (t)、 t は鑄込時間 (sec)、 r は溶湯の比重 (t/m^3)、 c は流量係数、 g は重力の加速度、 h は湯口の平均有効高さ (m) である。

流量係数は湯口の長さ、溶湯の材質、鑄型温度、鑄型の種類などに影響されるが、一般に鑄込重量が大きくなるほど小さくなり、かつ同じ鑄込重量の場合でもロール直径が小さく、かつ胴長が長いほど小さい。一般に0.15~0.65である。

2.2.2 木型の製作

鑄造方案票に基づいて、上下ジャーナル部、ウォブラー部、押湯部、湯口部、堰部の造型に必要な木型が製作されるが、一般に標準化されており標準品が使えない場合のみ新製される。比較的製作数の多いロールの木型は鑄鉄あるいは軽合金製として、長期使用に耐えるようにし能率化されている。

2.2.3 金型・金枠の製作

金型は鑄鉄ロールのもつとも重要な胴部の鑄造に使用されるが、金型の良否がそのまま胴部の鑄肌を左右し、

割れ、鑄巣などの原因ともなるので金型の整備はとくに注意を要する。金型はすべて鑄鉄製であるが、使用時は直接高温にさらされるので耐熱性を考慮し、また金型の結晶粒度が鑄肌の良否に影響することを考慮し、新銦の配合率を多くしたり化学成分にとくに注意したりして溶製する。金型はロールの胴径、胴長により各種準備しなければならないが、割れるのを防ぐため上下フランジを付け、取り扱いを容易にするためワイヤーかけをつける。金型の肉厚はおおむねその内径の1/3~1/4とし、また長さはロールの胴長によつて決まるが、とくに胴長の長い場合でも金型の製作上、または実際使用上の制約がなければ、1個の金型を用いるのが理想的である。やむをえない場合は、数個の金型を継いで使用するが、継ぎ目の部分に割れ、鑄巣などが発生しやすいので継ぎ目の加工はとくに正確を期する。金型の内径はロールの収縮量と加工の削りしろを加味して決めるが、金型に近い部分ほど一般に金属組織が緻密であるので、削りしろは可能な限り小さくするように設定する。金型は使用時に高温にさらされるので、内面を塗装して焼付を防止するが、まず、250~300°C に加熱し、錆、油、前回の塗型の溶滓などをクリーナーで除去し、内面温度が150~200°C のときにスプレーガンで塗型する。普通塗型はコロイド状黒鉛系塗型を選び全面均一に塗型する。黒鉛以外の耐火材料として珪石粉、珪藻土、アルミナ、耐火粘土、ジルコンなどに結合材として水ガラス以外にベントナイト、デキストリン、糖密、レジンなどが使われることもあるが黒鉛-水ガラス系塗型が一般的である。

金枠には、下枠、押湯枠、湯口枠、ベント枠などがあるが一般に鑄鉄で製作されている。

2.2.4 鑄型材料

胴体部の金型を除く他の金枠類の内面はすべて砂型で成形されるがほとんどユニットサンドが使用されており、鑄鉄系ロールのユニットサンド配合の一例をとれば古砂90%、珪砂(3~4号)10%、に粘結材として粘土1%、ベントナイト3%のようなものであり、連続鑄物砂処理設備で調整する。

2.2.5 造型

鑄型の造型は通常ニューマチックランマーにより手込めされるが、最近サンドスリンガーに移行しつつある。下型にはとくに溶湯圧力が加わるため、型ハリによる焼着、湯流れによる浸食で事故が発生することがあるので充填硬度は最低70(生型硬度計)、通常80は必要である。

2.2.6 塗型

各部の造型が完了の後塗型を行なうが、砂型の塗型は乾燥前に行なう。まず適当な硬さの黒鉛を主体にした水

溶性塗型が刷毛，または“コテ”塗りされ，その上をさらに薄い黒鉛を用いて筆または刷毛で仕上げる．大型ロールの場合は塗型を行なつて乾燥し，再度塗型を行なうこともあるが，湿態で塗型したほうが肌砂とのなじみがよく注湯のときに剝離することが少ない．

2.2.7 乾燥

鑄型の乾燥は砂型の乾燥と金型の加熱であるが，砂型と金型とを同時に同一乾燥炉で操作するのはさけるべきであつて，別個の炉で砂型は 300~350°C で 5~7hr，乾燥されると 15~30 kg/cm² の圧縮強度となる．また，金型は 250~300°C で 5~6hr 加熱するのが普通である．乾燥炉は石炭だきから重油だきに大部分変更されている．

2.2.8 組立

乾燥され整備された各部分の鑄型はピット内で組み立てられる．遠心鑄造法を除き一般にロール鑄込みは縦型であり，鑄込み口が高くなるためピットの深さが10m以上になることもある．各部の鑄型はクランプ締めにより継ぎ合せて組立てられる．

一般に鑄鉄ロール用鑄型は以上の過程を経て製作されるが，いまだに

(i) つき固め作業や塗型，乾燥作業の如く，肉体労働高熱作業の比率が高い．

(ii) 人間依存度が高くかなりの熟練を必要とする．

(iii) 多種，小量生産であり機械装置化が経済的に困難などの問題をかかえているが省力化，機械化の動きも活発で自硬性鑄型とサンドスリンガーの組み合わせによる研究も進みつつあり，近い将来これらが実現の運びとなるらう．

2.2.9 鑄込み

所定の成分に調整された溶湯はトリベに受け，除滓後適当な鑄込温度まで降下するのを待つて，じょうごより鑄込まれる．鑄込温度はロール形状寸法および材質により一定でないが，いちじるしく高温であると金型との焼着きや上下ジャーナル部の砂落ちを悪くし，低きに過ぎるとピンホール，ブローホールなどを発生することが多い．鑄込み速度はあらかじめ鑄造方案作製時に想定され，湯口寸法により規制されているが，実際には鑄込時のトリベ操作によつてかげんする．静かにはやく鑄込むことが要領である．湯口堰は前述したように下型に切線方向に切込んであるので，鑄込まれた溶湯は鑄型内を回転しながら上昇し鑄型を満たす．溶滓などは遠心力によつて渦巻きの中心に集まつて上昇するので，ロールの表面には溶滓などの巻き込みが少なくなる．鑄込作業はロールの種類によつて一体鑄造法と中抜鑄造法と遠心鑄造

法とに分類される．

(1) 一体鑄造法

図3に示す鑄型を用いて鑄造する方法であり，比較的硬度の低い鑄鉄系ロールや強度を必要としない鑄鉄系ロールに一般に用いられる．いわゆる下注渦巻回転鑄造法であり，まず押湯の下まで湯口より鑄込み，一定時間を経過し再び押湯部へ直接溶湯を鑄込んで作業を完了する．

(2) 中抜鑄造法

ロール胴体硬度が高硬度（ショアー Hs 75 以上）を必要とするロール，あるいはジャーナル部の強度がとくに必要であるロールの鑄造に，一体鑄造法を用いるとロール内部の黒鉛化が悪くなり，残留応力が高くなつたり，また，必要なジャーナル強度がえられなかつたりするので，鑄造時または使用時に折損の危険性を生じる．

このような場合に，中抜鑄造法が採用される．中抜鑄造法は図4に示す鑄型を用い，まずロール胴部の外殻層を形成させるため高硬度となる溶湯を流し口のところまで鑄込み，胴部の金型チラーに接した溶湯がある一定厚さまで凝固するのを待つ．ついで，柔い溶湯（黒鉛化傾向の強い溶湯や球状黒鉛鑄鉄溶湯）を同じじょうごより鑄込み，未凝固である下型ジャーナル部および胴体内部の先に鑄込んだ溶湯を押し上げ，流し口を通り湯だまりのなかへあふれださせる．この作業を一定時間続け，さきに鑄込んだ溶湯と後に鑄込んだ溶湯とを置きかえたときに，あとの鑄込みをやめ流し口を閉じ，つぎに押湯部を満たして鑄込みを完了する．

この場合，とくに高硬度チルドロール（ショアー Hs

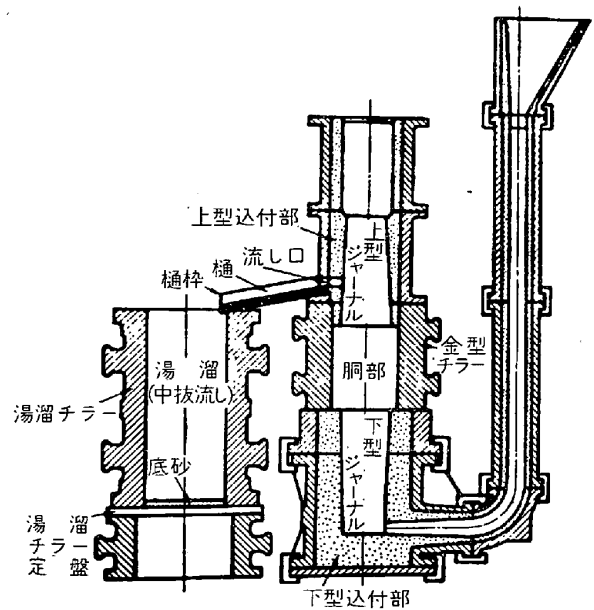


図4 中抜鑄造法用ロール鑄型

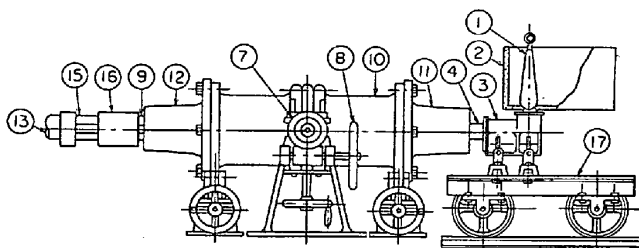
80 以上) では、鑄造後の冷却過程で外殻層を形成する高硬度の材質と内層を形成するやわらかい材質との間の収縮率の相違から、弾性域温度内で鑄造割れ現象を起こすので、中抜き量、化学成分などに特別な注意を必要とする。またジャーナルの強度を必要とする場合、球状黒鉛鑄鉄溶湯で中抜きを行なうが、中抜き量が不足すると球状化不良となるので注意を要する。

(3) 遠心鑄造法

遠心鑄造^{10)~13)}とは、鑄込みのとき鑄型を回転し、鑄込まれた溶湯に遠心力を作用させ、その遠心力の効果をを利用して、緻密で健全な鑄造品を安い製造費で作ることを目標とする特殊な鑄造方法である。

一般の鑄造ロール鑄型は湯口堰が下型ジャーナルに切線方向にとりつけてあるので、溶湯は円周方向に回転しながら上昇し溶湯にはわずかではあるが遠心力が作用するので、一種の遠心鑄造法ともいえるが、鑄型が固定されたままであるので真の遠心鑄造法とはいえない。

中抜き鑄造法でロールを製造する場合、さきに鑄込んだ外殻層溶湯を軸芯部を構成する溶湯でおきかえるので、鑄造歩留りが非常に悪いことと、外殻層厚さが上下において異なるという欠点がある。これらの欠点を補うため遠心鑄造法をロール製造に応用することが考えられた。遠心鑄造では鑄型の回転軸の方向が水平軸のものを横型遠心鑄造、垂直軸のものを堅型遠心鑄造と分類しているが、長い管状の鑄物には横型、短い管状鑄物には堅型の遠心鑄造機が用いられ、古くから水道用鑄鉄管、シリンダーライナー、スリーブベアリング、プッシングなどの



① ストッパー ⑦ ギヤー ⑪ ジャーナル部 ⑬ カップリング
② 湯溜 ⑧ ハンドル ⑫ ジャーナル部
③ 湯道 ⑨ スピンドル ⑭ モーター
④ 湯口 ⑩ 胴部 ⑯ 湯口

図 5 ロール用遠心鑄造機

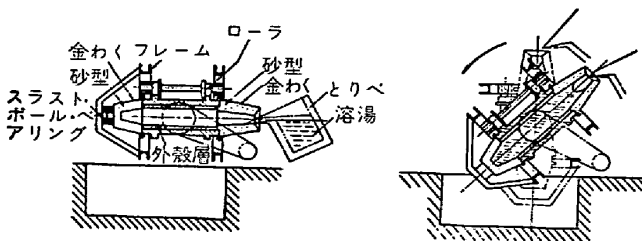


図 6 ロール用遠心鑄造機

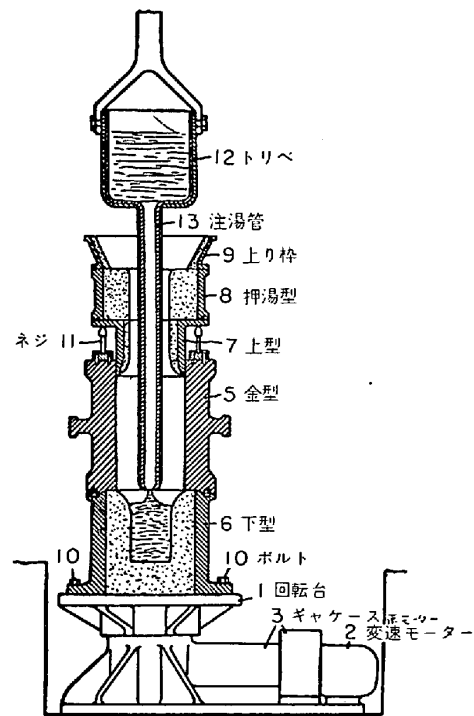


図 7 ロール用遠心鑄造機

管状または環状の製品が中子なしで作られてきている、鑄鉄ロールの分野でもスリーブタイプのロールは横型遠心鑄造で作られているが、一般のロールは中実であるので、中実の鑄物を遠心鑄造でどのようにして作るかが問題であつた。このため特殊な遠心鑄造機がいろいろと考えられ、回転軸が水平でまず外殻層のみを入れ、内面が未凝固のうちに鑄型を立てて軸心部溶湯を入れるもの¹⁴⁾(図 5)、立てながら軸心部溶湯を入れるもの¹⁵⁾(図 6)、回転軸が垂直で鑄型垂直のまま回転させて作るもの¹⁶⁾(図 7)、また、回転軸を斜めにしたまま中実にするものなどがある。遠心鑄造用ロール鑄型も一体鑄造法と同様にロール胴部は金型、上下ジャーナル部は砂型で作られているが、鑄型に回転があたえられるためとくに砂型は強固に造型する必要があることと注湯が一般には、飛込み方式で胴体金型に直接あたるので金型用塗型剤に工夫がこらされている。歩留りがよいことと溶湯が凝固するときに、遠心力が作用するので組織が緻密になり、機械的性質が向上する利点がある。まだ未解決の分野も残されているが、今後遠心鑄造法によるロールの製造はますます発展してゆくことが予想される。

2.3 熱処理法

チルドロールやグレンロールは鑄造組織を熱処理によつて大幅にかえ、機械的物性的性質を改善するような方法は特別な場合を除いて行なわない。鑄造時に生ずる鑄造残留応力除去を目的として 400°C ~ 600°C に焼戻し

を行なうことが低硬度の普通チルドロール，グレンロール，低合金チルドロールやグレンロールで採用されている。また，高合金チルドロールや高合金グレンロールの場合は，他組織の残留オーステナイト，マルテンサイトの焼戻し処理が行なわれることがあるが，硬度の低下が起こるので使用される圧延機の条件をみてきめられる。すなわち鑄鉄系ロールの硬さや，その他の機械的性質は主として配合成分と鑄造条件によつて決定され，熱処理による改善はみるべきものがない¹⁷⁾。

ダクタイルロールもチルドロールやグレンロールと同様に，熱処理による材質改善は普通行なわれず，残留応力除去の焼戻しのみが行なわれているが，分塊用あるいは熱延用ブリークダウンなど，とくに強度を必要とする場所にダクタイルロールを適用する場合には，特別に熱処理を行なつて機械的性質を向上させる。しかし配合成分，黒鉛球状化処理方法が悪いと後の熱処理をいかにうまくやつても機械的性質を大幅に向上させえない。一般に拡散，焼準，焼戻しの3段あるいは2段の熱処理が行なわれ，組織的には基地組織をフェライト質の焼戻しベーナイトとすることにより，とくに耐熱亀裂性，靱性を改良している。

3. 鑄鋼，アダマイト系ロールの製造法

3.1 溶解法

鑄鋼系およびアダマイト系ロールは低炭素であるため，高い溶解温度を必要とすることと綿密な精錬を必要とするために，通常電気炉を用いて溶解が行なわれる。このなかでまれに，2%以上の高炭素のアダマイトロールの一部が低周波誘導炉や反射炉で溶解されている。電気炉溶解の場合，現在ではほとんど塩基性溶解が行なわれているが，一般の鑄鋼品の電気炉溶解と鑄鋼，アダマイト系ロールの電気炉溶解の著しく異なる点は，(イ)高炭素材料の溶解が多い。(ロ)鑄造されたロール素材は圧延鍛造などの加工を受けないため，製造されるロールの特性は鑄造時点の鋼の健全性とその後の熱処理技術に非常に左右されることである。50tを越える大形ロール鑄造においてロール表面，内部ともに偏析，ひけ，内部割れ，表面欠陥などのない健全な素材を作る場合溶解技術だけでなく鑄造条件，鑄造方案，造型技術などにおうところが大きい。ロールの電気炉溶解の場合，慎重な精錬を行なうが配合材料の影響が非常に強く，良質の材料を使用することが望ましい。その一例を述べれば，特急屑20%，1級屑5%，鑄物銑20%，ロール加工屑15%，ロール戻り屑40%のほか各種合金鉄1.5~2.0%であり，とくに有害微量元素の混入をさけるためにプレス

屑，購入ダライ屑，履歴不明の機械屑の使用は最小限に押えるように注意することが必要である。通常，鑄鋼ロールやアダマイトロールのロール屑はSi含有量が高いので，酸化期における十分な脱磷を妨げることがあるので，装入計算時にとくにSi量に注意することが必要である。その他，Mn, Crなどの含有量も多いので，スラグの塩基度調整に考慮がいるがロールの電気炉溶解と一般鋼の電気炉溶解の石灰石，鉄鉱石の使用量はロール溶解の場合の方が高い点も特徴としてあげられる。

また，ロールの場合，隣りの含有量の多少がロールの性質に大きな影響をもち圧延成績にも影響してくるので，なるべく低いことが望まれるが，通常，鑄鋼ロールにおいて0.020%以下，アダマイトロールにおいて0.030%以下を基準とする。酸化期の最も重要な操作の一つである水素ガス除去作業は，製品ロールのハードスポットや割れ対策として慎重に行なわねばならない。まず精錬以前の問題として(イ)ロールの加工屑の管理を十分に行ない不必要に赤錆を発生させない。(ロ)石灰石，螢石，鉄鉱石，合金鉄の保管に注意し使用前に赤熱加熱を必ず行なうこと。(ハ)取鍋，出鋼種の乾燥に注意する。などの広範囲にわたる作業管理をとくに必要とする。精錬においては酸素ボイリングを十分に行ない，少なくとも0.35%以上の脱炭を必ず行なうことが必要であるが，取過中の[H]を高級ロールでは1~2ppm，普通ロールで3~4ppm以下に押えることを目標にすべての作業を行なえばよい。

還元期においては一般鋼と同様，脱酸，脱硫を強力に行なう必要があるが，ロールのような大形鋼塊を鑄造する場合酸素，硫黄が多いと鋼塊中で偏析を起こし，ロール強度を低下させるが，欠陥周辺を分析すると隣，硫黄，酸素の偏析が炭素の偏析を促進している状況が観察される。高炭素系の場合は加炭率が比較的低いので強力なカーバイトスラグで脱酸，脱硫が行なえるが，低炭素の場合はC調整上スラグの塩基度には十分な配慮が必要である。一般に鑄鋼，アダマイト系ロールの硫黄含有量は，0.008%くらいである。酸素含有量は高級ロールで取鍋中の[O]が20ppm以下，普通ロールで40ppm前後である。

鑄鋼ロールのなかで特別の用途に用いられる球状黒鉛鋼ロールの製造の場合は，出鋼時にCa-Siの接種をするカルシウム合金法とFe-Bを添加するボロン法が併用されている。この場合，黒鉛の析出量のみでなく形状，大きさ，数，分布状況がロールの性質に大きな影響を与えるのでとくに還元期の脱酸，脱硫および出鋼時の接種処理には十分な配慮が必要である。

その他の炉修理, 出鋼温度管理, 操炉作業などは通常の電気炉操業と本質的な差はないが, 一般的にいつてロール溶解の場合, 使用材料, 脱磷, 脱硫, 脱水素, 脱酸の程度を厳格に管理する必要があるので, 各操業期の時間が長くなるのが普通である. 一般に特殊鋼製造にあたって採用されている真空脱ガス法, 真空鑄造法の技術もロール製造に各所で適用されはじめており, 現状では限られた用途のロール⁽⁴⁾にしか用いられていないが, より高級品質のロールが要求されつつあることを考えるとき漸次適用範囲が拡大されてゆくものと思われる.

3.2 鑄造法

鑄造の工程に関しては先述せる鑄鉄ロールの工程とほとんど同じであるが鑄鋼, アダマイトロールは, 鑄鉄ロールよりも注入温度が高くまた低炭素であるため鑄造後の収縮が大きく, 鑄造方案作製にあたってはこの点を考慮してとくに長年の経験と研究の蓄積を必要とする. 鑄型および鑄造方案に関して鑄鉄ロールと異なる点をあげると次のようである.

- (イ) ロール胴体部鑄型は特殊な例を除いて砂型である.
- (ロ) 鑄型材料はすべて鑄鉄系のものより耐火度の高いものが使用される.
- (ハ) ロール下型造型にあたって, 下型ジャーナル部の冷却速度を早くする必要があるので冷し金や水冷金型(砂巻き)を用いる.
- (ニ) 上型押湯部には必ず電弧加熱法が採用される.

3.2.1 鑄 型

鑄鉄系ロールと異なりロール胴部鑄型が砂型であるため胴部および上下ジャーナルウォブラー部, 押湯部を一諸に縦半分ずつ造型したあと併せる併せ型が採用できる点が鑄鉄系ロールより工数的に有利である. 図8のような一体金型で鑄鋼, アダマイトロールを製造する場合, これらロールはロール胴部の比較的内部まで使用される形鋼用に使用されることが多いので, 通常カリバー鑄出しを行なうが, 金型チラーあるいは金型ブロックを砂型に埋めこんで冷却効果を出させることが多い. また低炭素系であるため凝固時の収縮が大きいので下型ジャーナル部より順次, 指向性凝固をさせなければ高温フレなどの欠陥が生じるので, 下型ジャーナル部には冷し金を埋めこみ, 上型ジャーナルの形状を大きくし, 押湯部は電弧加熱を行なつて最後に凝固させることが必要である. また高温注入となるので焼付き現象が生じやすく, このため耐火度が高く充填度のよい砂の配合を採用するのが常識である. 一般に鑄鋼用鑄物砂として具備すべき条件としてあげられるつぎの項目

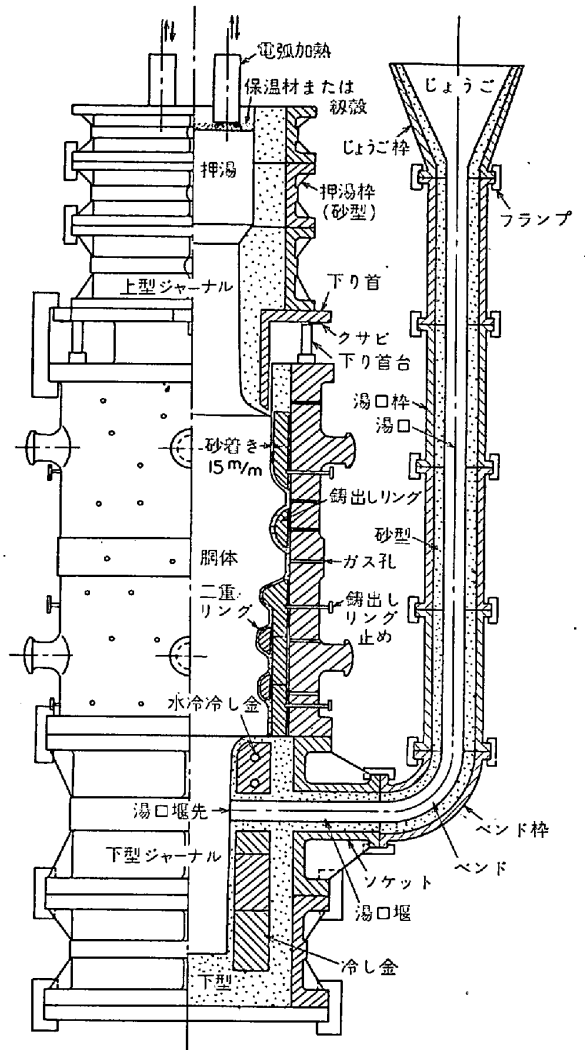


図8 鑄鋼アダマイト系ロール用鑄型

- (イ) 湿態, 乾燥, 高温での強さがいずれも大なること.
- (ロ) 通気度が比較的大きなこと.
- (ハ) 耐火度が大であり, 熱的に安定なこと.
- (ニ) 流動性がよく成型しやすいこと.
- (ホ) 鑄込後の崩壊性のよいこと.
- (ヘ) 再製が容易なこと.

を応用すればよい. 現在用いられている鑄鋼ロール用肌砂の一例を表1に示す.

砂の配合を良好にただけでは焼着は防げないので, 珪石粉, シルコンなどの耐火度の高い塗型を刷毛とコテにより砂粒間にすり込むことを行なう. 造型完了後再循環式乾燥炉にて 300~350°C で 5~7 hr 乾燥を行なつたあと組立てにかかる.

最近アダマイトロール材質を用いる板圧延用ロールなどでは鑄造組織の微細化による材質改善を目的として,

表 1 鑄鋼，アダマイトロール用肌砂の配合例

例	3・4号 珪砂	6・7号 珪砂	ジルコン サイド	珪石粉	粘土	ベント ナイト	澱粉	石炭粉	ほか
1	70	20		10	6	4	1	0.5	0.5
2	50	40		10	4	3	3		
3	50	20	20	10	3	2	1	0.5	

ロール胴部を砂型による徐冷から金型による急冷と鑄鉄系ロール同様の方式が採用されている。しかし鑄鉄系ロールより高温の溶湯が注入されるので塗型剤、塗型方法に関して種々の研究がなされており、ジルコン系塗型剤で成功を納めている。

現在上述のような鑄鋼，アダマイト系ロールの鑄型には乾燥型が大部分使用されているが、一般鑄鋼鑄物と同様に自硬性鑄型の適用が検討されつつある。水ガラス系のプロセスでも実施可能な段階にいたっているが、まだ大規模には実施されていない。将来サンドスリンガーと自硬性鑄型を組合せた量産化の態勢へと進むであろうが省力化設備投資の必要な分野といえよう。

3.2.2 鑄込み

一般的には一体鑄造法が採用されているが、近年鑄鋼，アダマイト系ロールにも外殻層と内層を異にする複合ロールの開発が盛んである。しかし鑄鉄系ロールに比較して凝固温度が高いこととロール胴部が砂型で徐冷されるため、ロール内外層より同時凝固がおこり、鑄鉄系ロールのような中抜鑄造法が採用できないため製作に当たって工夫がなされており、鉄板隔壁法、中子引抜法、遠心鑄造法などが採用されている。複合ロールの適用分野は今後ますます拡大されるものと思われるので、これらロールの造型法、鑄造法などの研究は長足の進歩をとげるであろう。

3.3 熱処理法¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾

鑄鋼，アダマイト系ロールは大部分が材質上、広義の過共折鋼（一部亜共晶鉄）に属するので鑄放し状態では脆弱でありほとんど熱処理によつてその性質を大きく改善させるが、通常、機械部品や工具鋼などに採用される急激な焼入れ焼戻しを行なうことは、ロールが大形で鑄造品であり、しかも鋼種としては脆弱な部類に属するので、熱処理中またはその直後における割れあるいは熱処理後ある時間を経過してからの割れ(遅れ破壊)、使用中における折損、硬度むらなど数えきれないほどの事故が発生し危険であるので、ロールの大きさ、形状、成分などに応じた熱処理を行なわねばならない。0.6~1.2% C位の過共折鋼範囲の Cr-Mo 鑄鋼ロールは一般に強度を要求されるスタンドに使用され、耐折損性、耐熱亀裂性を要求されるロールであるためとくに靱性を与えるため

に、基本的に必ず1000°C以上で長時間加熱し、組織の均一化を目的とした拡散焼鈍を行ない強制冷却して初折セメンタイトがネットワークに晶出することを抑制しついで基地のオーステナイト化のための焼準熱処理を行ない、焼入れ、焼戻し熱処理を行なう。各温度、時間については、ロールの仕様、成分によつて変化してくるが特大型ロールの場合ロール中心部まで熱処理効果を十分与えるために、焼準前に球状化熱処理を入れ残留している初折セメンタイトを切断しかつ基地のセメンタイトを球状化することが行なわれる。アダマイトロールのなかでも1.3~1.7% C位のものでとくに耐肌荒れ性、耐摩耗性を要求されるものでは鑄鋼ロールと同様、拡散、球状化熱処理を行ない少量の共晶セメンタイトおよび初折セメンタイトまたは基地中のセメンタイトをできるかぎり均一に分散させた後、オーステナイト化焼準を行ない焼入れ、焼戻しを行なつて基地を緻密なソルバイト組織にする複雑な熱処理が行なわれている。とくに黒鉛鑄鋼と同様に黒鉛を晶出させたアダマイトロールでは、初折セメンタイトが少ないので、拡散、焼準、焼入、焼戻し熱処理で十分強度を保ちうる。

2% C前後の普通のアダマイトでは、鑄造時の組織は共晶セメンタイトと地組織よりなる白鉄組織であり、耐摩耗性が主体に要求されるので、地組織の球状化を主体とした一段熱処理のみが行なわれる。鑄鋼，アダマイトロールは鑄鉄ロールに比べ、引巢や鑄巢、偏折などの欠陥が出やすくしかも高炭素であるため、鑄放し状態では材質的脆に弱で、大形ロールでは鑄造応力が高い。したがつて熱処理にあつての昇温加熱速度については、とくに慎重に行なわないとロールの表面と中心部との温度勾配にもとづく、熱応力（ロール中心部で引張応力）が鑄造応力と重畳して内部より破壊する。したがつてロール中心温度がそのロール材の弾性限内にある600°C以下の範囲の加熱速度はゆるやかでなければならない。つまり各熱処理サイクルでの加熱速度は、その時点の材質強度と加熱プログラムから算出される熱応力に加えて、実績をからませて決定されている。拡散、球状化、焼準などの温度と保持時間は材質成分、ロールの大きさ、仕様の硬度、必要強度に応じて経験を生かしてきめられており一定でない。焼準加熱後の冷却速度はそれぞれの材

質について、CCT 曲線を求めておき、冷却速度をきめることと 450°C 以下の弾性域に入ってきた場合、変態応力と熱応力により破壊が起こることがあるので、通常パーライト変態完了後ただちに焼戻しに入る。ロールに広く焼準熱処理が用いられるのは、そのロール材質範囲でもつとも良好な硬さ、機械的強さをうるためであり、焼準後の冷却速度をどのようにするかがポイントになる。

最近ロール寿命の飛躍的向上を目的として、従来、鋳鋼、アダマイトロールでは出しえなかつたショア-C 60~70 度の複合ロールが開発されたが、これは外殻層は高合金鋳鋼または、高合金アダマイト材質で軸芯部を強靱鋳鋼材質とした二重層ロールであるが、このロールの熱処理は従来にも増して複雑で高度な熱処理技術が必要であり、まだ、確立されたものはなく、各方面から研究が行なわれている現状であるが、この研究を契機として鋳鋼、アダマイト系ロールの熱処理技術も一つの発展段階を迎えているといえよう。

4. ロール検査法

圧延部門における設備の合理化と圧延能率の向上が、必然的にロールの品質の向上を求め次々と新しいロールが製造されてきていることと、実際圧延に使用するに当たつての品質の保証に対する信頼性の向上が要求されてきていることから、ロール検査技術も従来の方法に次々と新しい検査試験機が加えられつつあり、検査の精度も一段と向上しつつある。

4.1 ロール製造における検査工程

検査工程は納期の厳守の立前から、不良品の発生を早い時期に摘出することを目的として行なわれているが、大きく分けて鋳放検査、中間加工検査、製品検査の3段階があり、ロールの品質、性能、検査の面からは、材質検査と寸法検査とに分けられる。図9に検査工程と検査内容の一例を示す。

4.2 各種検査法

4.2.1 チル（完全白銑部）および硬化層（中抜鋳造法による外殻層）の検査

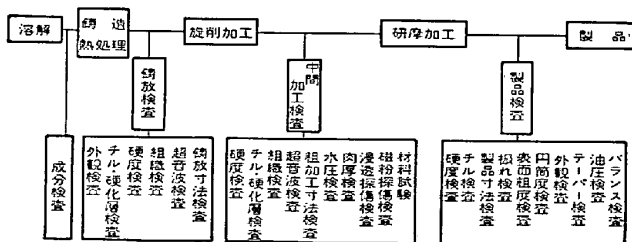


図9 検査工程と検査内容

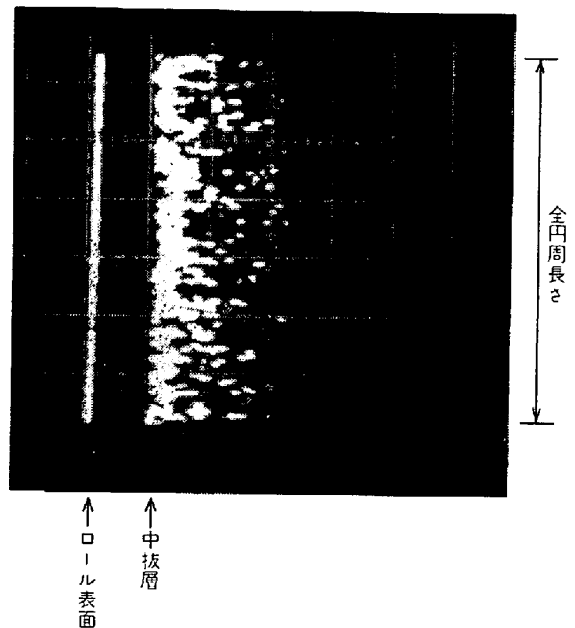
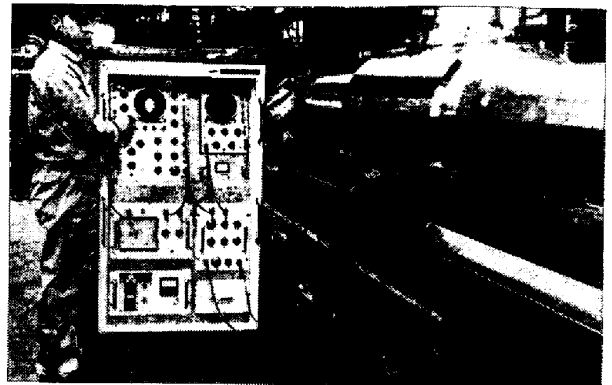


図10 直視型超音波探傷機および測定結果の一例

チルドロールのチル深さや中抜鋳造法で製造されたロールの外殻層厚さを測定する検査で、鋳放素材時点、中間加工時点、製品仕上り時点の3回、ロール胴部端面を腐食液でエッチし円周4~8か所を物指で測定する。従来このようにしてロールの胴体中央部のチルや硬化層を推定していたが、近年非破壊的に超音波によつてこれを測定することができるようになり実際に使用されている。この超音波検査機²⁾の外観および測定状況と測定結果を図10に示す。

4.2.2 硬度検査

鉄鋼、鋳物品関係の硬度測定に一般に使用されている硬度計には、ブリネル硬度計、ピッカース硬度計、ロックウェル硬度計、ショア硬度計の4種類があるが、鋳鋼、アダマイト、鋳鉄ロールの分野ではショア硬度計が一般に使用されている。ショア硬度計の中にもC型、D型、SS型の3種類があるが、SS型はJIS規格から除かれ、C型、D型が使用されている。表2にショア硬度計の機構比較表を示した。C型硬度計は目測型

表 2 ショア硬度計の型式による機構比較表

機 構	C 型	S S 型	D 型
落下高さ (mm)	254(10")	255	19(3/4")
硬さの単位あたりのはね上り高さ (mm)	1.651(0.065")	1.658	0.1238
ハンマーの重さ (g)	2.36(1/12オンス)	2.5	36.2
打撃エネルギー (g-mm)	599	638	688
打撃速度 (m/sec)	2.23	2.24	0.61
目盛読取法	目 測	目 測	指 示
ハンマーの持上げ機構	吸 上 げ	弾 み 上 げ	フック
ハンマー落下の機構	フック	フック	フック
ハンマーの反撓高さ止め機構	な し	な し	ボールクラッチ

であり、ハンマーの跳上つた最高点を瞬間的に読み取らねばならないので、ある程度の熟練と勘を必要とするが、機構が簡単であるので故障が少ない。D型硬度計は測定値がダイヤルゲージに指示されるので、目測誤差は起こらないが、機構が複雑であるため故障が多いこととハンマーの落下のための操作ハンドルの回転速度の大きさが測定側にバラッキを生じさせることがある。したがってJISで操作速度が規定されている。C型とD型では、このように機構上に差があり、同一硬さの基準片で調整された場合でも測定値は1~2度程度のくい違いを生じるのが普通である。硬さは比較上の数値で絶対的定義が与えられないものであるが、とくにショア硬さ目盛の起源はアメリカのショア会社のC型試験機によるものであり、当時、硬さの定義が規定されていない。したがって試験機そのものに精度を求めることができず、ショア硬さの基準となるものとして、かたさ基準片が規格化されている。とくにロール業界では基準片の差によるトラブルをさけるため、ロールかたさ研究分科会で年一回共同購入している基準片があり、これが一般に使用されている。ショア硬度計使用にあたっては、測定物表面のあらさ、重量、厚さ、試験機の押付力、試験機と測定面との角度、機枠の重量などが、かたさの値を左右するので注意が必要である。

4.2.3 組織検査

一般には光学顕微鏡を用いて観察が行なわれるが、さらに高倍率を必要とする場合電子顕微鏡を用いる。ロールの組織検査は、被測定物が大きい場合検鏡するには、試料をロールから採取するかあるいは被測定物の上で行なわねばならない。通常後者であるが、とくにそのために設計製作された現場用金属顕微鏡がありロールスコープと呼ばれている。倍率は1000倍以下であるのでさらに高い倍率を必要とするときは、レプリカ法による電子顕微鏡観察が行なわれる。

4.2.4 超音波検査

超音波検査は音波が物体中を伝わることを応用したも

ので、音波の透過力が非常に大きいのでロールのような大物には最適の非破壊検査であり、現在非常によく用いられている。超音波検査にはその目的に応じて種々の探傷法があるが、内部欠陥検出には、パルス反射法、材質判定のための減衰法、あるいは音速、共振周波数の測定法などがある。ロールの場合には主としてパルス反射法によつて、内部のイス、ブローホール、引け、クラックの検出がなされている。しかし鑄鉄ロールにおいては、黒鉛が存在しているので鋼に比較して音波の減衰がいちじるしく、かつ黒鉛自体が反射体となつて検出されるため、探傷距離の長いもの、あるいは小さい欠陥の検出は困難である。したがって一般に内部欠陥検査の対象ロールは鑄鋼、アダマイト系ロールである。しかし鑄鉄系ロールにもロール表面よりごく浅い部分に存在する欠陥あるいはロール内部の大きな欠陥については、特別に設計した探触子あるいは探傷器で検出できるようになつてきている。また超音波の減衰性を利用してロールの材質判定を行なう方法があるが、一種の比較法でロールの組織と減衰との関係をあらかじめ明らかにしておいて、減衰を測定して組織を類推するやりかたである。そのほかに、(1)でのべたように、特殊な用途として黒鉛からの反射を利用してチル層の深さあるいは、中抜ロールの外殻層深さを全面にわたつて検査する方法が開発され、ロールの品質管理に大きく寄与している。

4.2.5 浸透探傷検査

これはロール表面にある微細欠陥を検出する方法で染色浸透探傷試験と蛍光浸透探傷試験とに分れる。前者が装置を必要とせず手軽に行なえるのでロールにはよく応用される。後者は感度はよいが、設備を必要とし用囲を暗くせねばならぬのであまり用いられていない。

4.2.6 磁粉探傷検査

これもロール表面または表面にごく近い部分の欠陥を検出する方法で、欠陥周辺を局部的に磁化させて、着色磁粉をまくと、欠陥部に磁粉が吸引されることを応用し

たもので、手軽で設備を必要としない極間法がよく用いられる。

4.2.7 肉厚検査、水圧検査

ゴム、ビニール圧延用ミキシングロールなど、胴体内部に中空孔があるものの肉厚を測定する場合は、超音波探傷機でロールの中心孔からの反射波を求めて肉厚を測定する。またこのようなロールはロール加熱または冷却のため、この中空孔に加圧蒸気あるいは加圧冷却水を通して使用されるので、圧力もれを調査する検査であるが、一般に中空孔に水圧ポンプで水を充満させ、所定圧力まで加圧し、一定時間保持して水もれがないかどうか検査するものである。

4.2.8 寸法検査

ロール各部の寸法が所要のリミット内にあるか否かをチェックする検査でとくにここでは述べないが、精度保持のためいろいろ研究がなされている。

4.2.9 表面粗度検査

ロール表面のあらさ測定には、触針式表面あさら計が用いられている。

4.2.10 円筒度およびクラウン検査

ロールの中でとくに胴部の仕上精度を要求されるものでは円筒度あるいはクラウン精度を厳密に測定せねばならない。このためにはロールキャリパスの各種サイズのもので高精度の計測を行なっている。ロールキャリパスとは高精度のコロを有した台車上にセンターで支えられて自由に回転しうるようになった計測部がつており、この計測部のアームにとりつけられたアンピルとダイヤルゲージでロールの中心部を狭むようにしたもので、台車をロール上軸方向に移動さすことによつて胴径の変化を 1/1 000 mm の精度で読み取ることができる。

4.2.11 油圧検査

ベアリング抜取用油孔の圧力試験に用いられている。

4.2.12 振れ検査

とくにジャーナル部と胴部との偏芯の測定は、ロールを回転させながらダイヤルゲージで行なうが、最近では微小変位を測定する検出器が用いられるようになってい

4.2.13 テーパー検査

テーパーネックを有するロールすべてについてテーパーゲージを用いて行なわれている。まずテーパーゲージ全周にわたりブルーペストをむらなくぬり、ぬつたゲージをロールテーパー部に密着させてブルーペストのロールテーパー部への付着状態であたりをみるが、あたり 80% 以上が合格となる。なお、テーパーゲージはオスゲー

ジ、メスゲージを一對として保管し、この一對で定期的に検査を行なっている。

4.2.14 バランス検査

ピンチロール、テーブルロール、紙、ビニール用ロールなどは、アンバランスがあると振動が出て問題となるのでバランス検査を行なう。通常静バランス検査が行なわれているが、動バランスを行なう場合もある。しかし動バランスは大きな設備があるので一般には実施されていない。

4.2.15 材料検査

材料試験としては、引張試験、衝撃試験、疲労試験、振り試験、曲げ試験、繰返し衝撃試験、チルハゲ試験、摩耗試験、熱衝撃試験、焼付性試験などがキールブロック鑄込みのテストピースあるいは実体ロールより採集したテストピースで行なわれる。

以上最近のロール検査に利用されている方法をごく簡単に述べたが、ロール製造技術の発展とともに検査手法や品質管理手法などについても、いろいろ検討改良が加えられるが、ごく最近鑄鉄の黒鉛形状、粒度、粒数を含めた内部黒鉛化測定装置、X線によるロールの非破壊残留応力測定装置などが実用化されつつあり、ロール検査の高度化に寄与せんとしており、これら検査機器の発達によつてまたロールの材質改良も推進されるであろう。

5. 鑄鉄、鑄鋼、アダマイトロールの材質別特性

昭和 30 年頃までは、鑄鉄ロールと鑄鋼ロールの分類は含有炭素量によつて行なわれ、C 2.5% 以上のものを鑄鉄ロール、C 1.4 以下のものを鑄鋼ロールと呼び、鑄鉄ロールは耐摩耗性にすぐれ、鑄鋼ロールは強靱性にすぐれるというそれぞれの特徴を生かして、各圧延機に適用されてきた。しかし逆に鑄鉄ロールは強靱性に、また鑄鋼ロールは耐摩耗性に劣るという欠点のために、使用上で種々の問題が生じ、この欠点を補うべく鑄鉄ロールの分野では強靱性を、鑄鋼ロールの分野では耐摩耗性をもたせる研究が進められてきた。たまたま鑄鉄分野で開発された球状黒鉛鑄鉄は鑄鉄の機械的性質を飛躍的に向上させるものであつたので、直ちにこれをロールに応用する研究が開始され、昭和 29 年頃より実際圧延に使用され、その効果の確認とともに改善研究が進み、いちじるしい発展を遂げて、鑄鋼ロールの分野にまで進出したけれども、炭素含有量からは鑄鉄ロールの分野に属する。一方鑄鋼ロール分野では、主として炭素含有量の増加と熱処理法の研究を主体とし、強靱性を劣化させることなく耐摩耗性を向上させる検討がなされ、同時に鑄鉄

ロールの分野からも炭素含有量を低下させて強靱性を持たせる研究がなされてC 1.4~2.4% のアダマイトロールが登場し、鑄鉄ロールと鑄鋼ロールの中間的材質として広く使用されるようになってきた。したがって現在ロールを材質的に分類すると、鍛鋼ロール、鑄鋼ロール、アダマイトロール、鑄鉄ロールの4つに分けられる。本文においては、鑄造ロールである鑄鋼ロール、アダマイトロール、鑄鉄ロールの三者について、それぞれの材質別一般的特性の概略をのべる。

5.1 鑄鉄系ロールの材質特性

鑄鉄ロールを大別すると、チルドロール、グレンロール、ダクタイルロールの3者に区分でき、歴史的にはチルドロールが一番古く、ついでグレンロール、ダクタイルロールの順に製作されてきた。ロール胴部表面のみに限定してそれぞれの材質上の特徴をみてみると、まず組織的にはチルドロールは(共晶セメンタイト+地組織)グレンロールは(共晶セメンタイト+地組織+片状黒鉛)、ダクタイルロールは(共晶セメンタイト+地組織+球状黒鉛)よりなっている。すなわちチルドロールは白鑄鉄組織で黒鉛が存在しないことを特徴とし、グレンロールは片状黒鉛鑄鉄で片状黒鉛を有すること、ダクタイルロールは球状黒鉛を有することがそれぞれ特徴である。したがってチルドロールは機械的性質が悪く、とくに熱衝撃には弱い。熱衝撃が少ないような圧延条件のシビヤでないと使用されれば、耐摩耗性にすぐれ他のロールでは出しえない圧延肌の鋼材を生産しうる。グレンロールは片状黒鉛を有するので機械的性質にすぐれ、とくに熱衝撃に対してはチルドロールよりすぐれているけれども、耐摩耗性のみ考えれば、同一硬度の場合チルドロールに劣る。ダクタイルロールは球状黒鉛を有するので、鑄鉄ロールの中でもつとめ機械的性質が良好であ

るので苛酷な圧延条件のスタンドに用いられる。一般的には上記のような特徴を有するので、連続圧延機のような場合粗圧延機にはダクタイルロール、中間圧延機にはグレンロール、仕上圧延機にはチルドロールといった適用を考えるのが常識であるが、それぞれのスタンドの特徴に併せて、グレンロールのかわりにチルドロールの適用も可能であるし、またダクタイルロールのかわりにグレンロールの適用も可能である。すなわち、各種の鑄造法の改良や開発が進むにつれて、たとえばロール胴体表面外殻層を白鑄鉄とし、胴体内部上下ジャーナル部をダクタイル鑄鉄で製造したような、特別なチルドロールも製造でき熱衝撃は苛酷でないが圧延圧力が大きいようなスタンドに適用してチルドロールとダクタイルロールの両者の特徴を生かすことができるのでそれぞれのロールの使用分野も従来より広範囲によつてきており、最近では鑄鋼、アダマイトと鑄鉄の組み合わせも可能となりつつあるので、さらに鑄鉄ロールの持つ特徴を生かせる場所が出てくるのが期待される。本節ではチルドロール、グレンロール、ダクタイルロールの順に材質の特徴および代表的な適用場所を述べることにする。

5.1.1 チルドロール

(1) 組織

チルドロールは一般に図3のごときロール胴部を金型にし、上下ジャーナル部を砂型にした鑄型に適当な成分の溶湯を注入して製造する。胴体表面部は溶湯の成分と金型の急冷効果の両者が組み合わさつて白鑄鉄組織層(チル層)が形成され、ロール中心部に移行するにしたがつて斑鑄鉄組織から鼠鑄鉄組織に変化している。写真-1にこの状態を示す。白鑄鉄層の深さは溶湯の化学成分およびロール直径の大小による冷却速度に影響されて変化するが、普通鑄造法の場合、一般的に20mmが限度であり

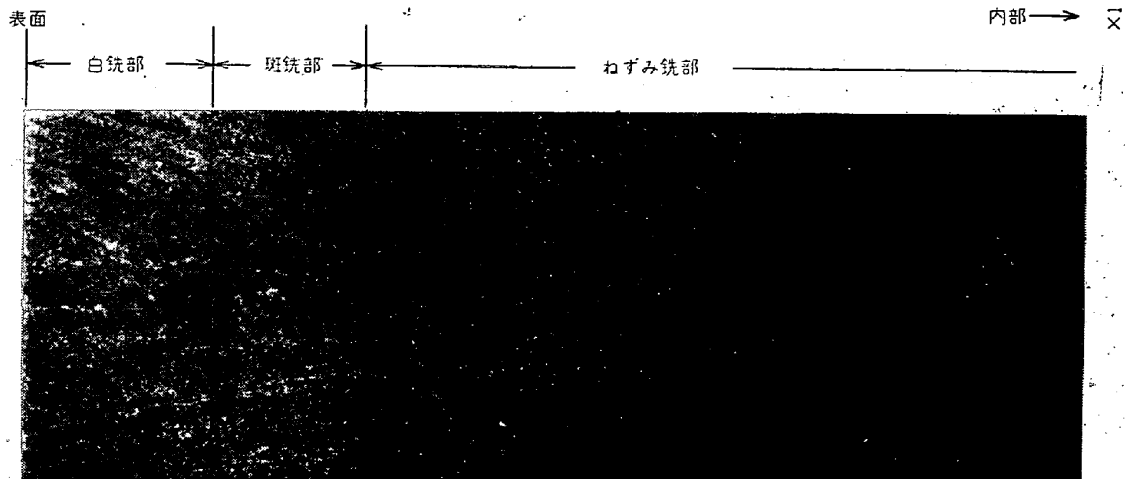


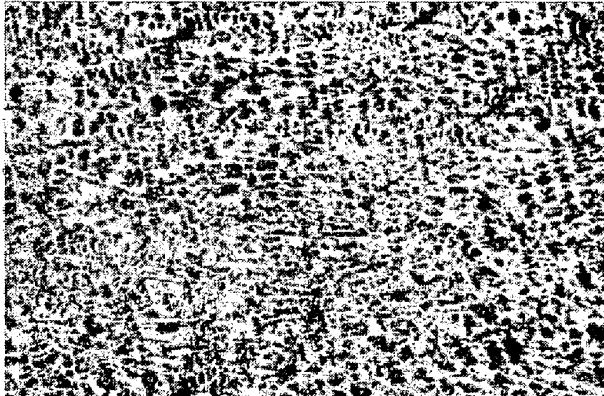
写真1 チルドロールのチル部の状態

これより深い白銑層を得ようとするるとロール胴体内部およびジャーナル部の黒鉛化が悪くなり、残留応力が大きくなつて使用中に折損を起こしやすくなる。したがつて20 mm以上の白銑層を必要とする場合は、中板鑄造法または遠心鑄造法によつて、ロール胴体内部およびジャーナル部を黒鉛化のよい靱性に富む鑄鉄材などでおきかえやる方法がとられる。白銑層の顕微鏡組織は普通チルドロールの場合、パーライト基地と共晶セメンタイトより

てなつているが、Ni, Cr, Moなどを添加した合金チルドロールの場合は基地組織がペーナイト、マルテンサイトなどになる。写真2, 3, 4に普通チルドロールと合金チルドロールの白銑層組織を示す。胴体内部およびジャーナル部は一般にパーライト基地と黒鉛を主体にし少量の共晶セメンタイトを含む組織よりなつている。

(2) 硬 度

チルドロールの胴体表面硬度はショアーC硬度で55~

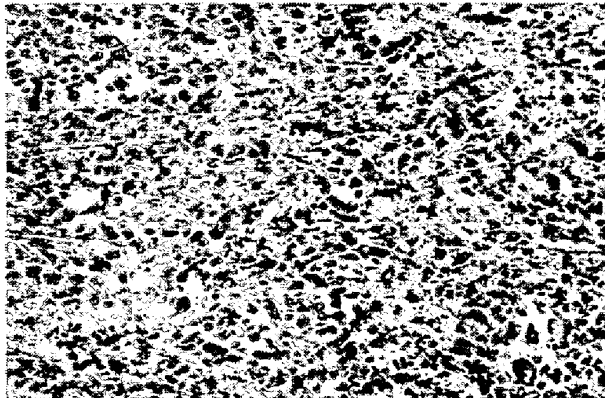


×20 (1/2)



×400 (1/2)

写真 2 普通チルドロール

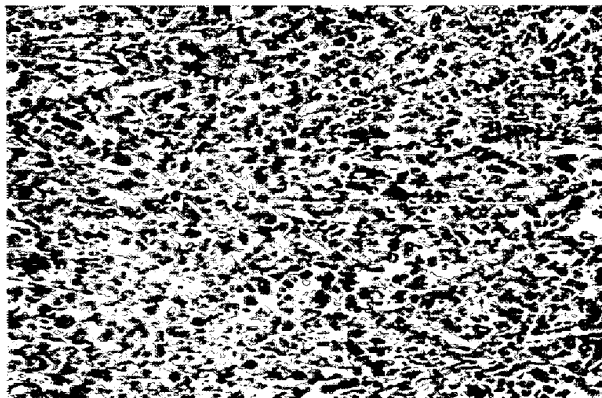


×20 (1/2)



×400 (1/2)

写真 3 中合金チルドロール



×20 (1/2)



×400 (1/2)

写真 4 高合金チルドロール

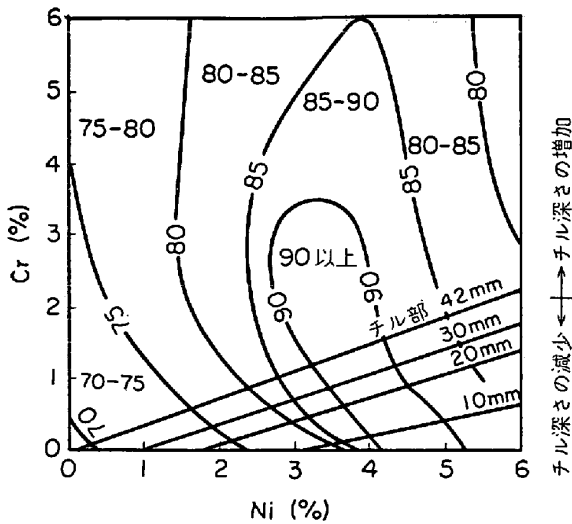


図11 チルドロールの表面硬さおよびチル深さにおよぼす Ni, Cr の影響総合図

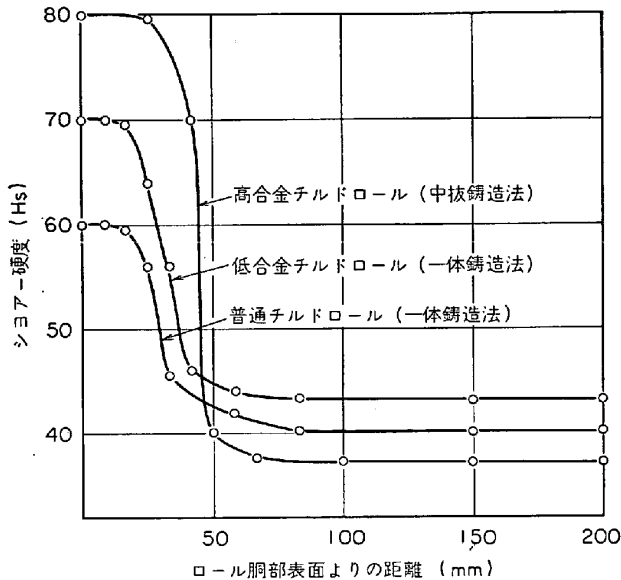


図12 チルドロールの硬度分布

85ある。チルド鑄物の白銑部の硬度におよぼす合金元素の影響については、実験結果が報告されているが一般のチルドロールで硬度を高くする場合は、Ni, Mo, Crの併用を行ない、NiとMoで地組織の硬度上昇をはかり、Niの黒鉛化作内を防ぐためにCrを添加するのが普通である。図11にチルドロールの表面硬度および白銑部(チル層)深さにおよぼすNi, Crの影響を示す。しかしこれはあくまでも傾向であつて実際のロールは径の大小により、本図のチル硬度はあてはまらない。また炭素量を高くして共晶セメンタイト量を増加させて硬度を高くすることもできるが熱衝撃に対して弱くなるので一般に熱延用ロールには適用せず、製紙用ロールなどに応用されている。白銑部はロール内部にいたつても、そ

れほど硬度低下はないが、斑銑部にいたると、硬度の低下が著しいのがチルドロールの特徴でもある。図12にロール胴部表面より内部にいたる硬度分布の一例を示す。

(3) 機械的性質

チルドロールの白銑層は共晶セメンタイトが多く、耐摩耗性にすぐれ、圧延鋼材の仕上がり肌を美しくするが繰返し衝撃値が低く非常に脆い。したがつて圧延圧力が高く、かつ熱衝撃が高いようなところに使用されると、熱亀裂やスポーリング事故を発生するので、適用にあつては十分な配慮を必要とする。表3に650mmφの胴径の中抜鑄造合金チルドロールの白銑部および鼠銑部の機械的性質を、また表4には760mmφの胴径の一体鑄造普通チルドロールの白銑部、および鼠銑部の機械的性質の一例を示す。

(4) 物理的性質

表5と表6に上述のロールの熱伝導率および線膨張係数の一例を示す。また図13に250°Cにおける普通チルドロールと合金チルドロールのロール表面より、ロール中心部にいたる熱伝導率の比較を示した。

(5) 適用場所

チルドロールはプルオーバー圧延機によつて薄板が生産されていたころ、板肌を美しくするロールとして多く用いられていたが、熱間ストリップ圧延機の出現により、しだいに生産量が少なくなり、現在熱延用ロールとしては、線材、棒鋼、小幅帯鋼、パイプミル用仕上ワークロール、あるいは銅、アルミ板などの非鉄圧延ロールに、またビニール、インク、紙の圧延用ロールに用いられている。チルドロールのもつ圧延材の仕上がり肌を美

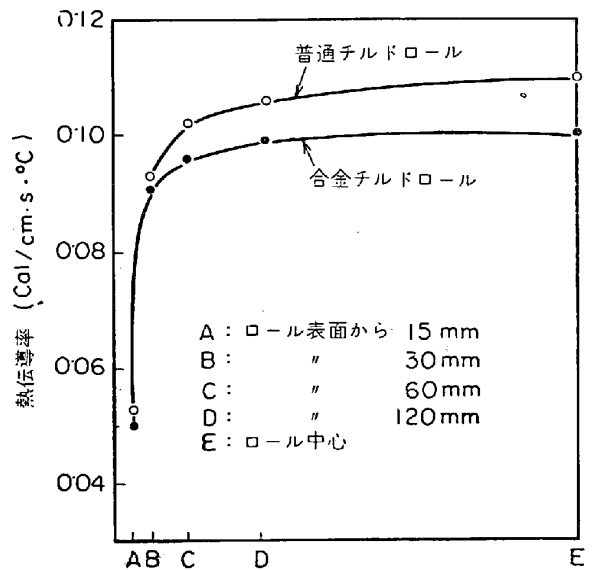


図13 チルドロールの250°Cにおける熱伝導率

表 3 中抜鑄造合金チルドロールの機械的性質 (常温)

	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	弾性係数 ($\times 10^4$ kg/mm ²)	シャルピー 衝撃値 (kgm/cm ²)	圧縮強さ (kg/mm ²)	硬 度 (ショアー(C))
白銑部 (チル層)	18~23	0.1~0.13	1.75~1.80	0.1~0.15	220~260	75
ねずみ銑部 (ロール中心部)	18~23	0.3~0.45	1.00~1.10	0.15~0.20	100~140	40

表 4 一体鑄造普通チルドロールの機械的性質 (常温)

	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	弾性係数 ($\times 10^4$ kg/mm ²)	ポ ア ソン比	回転曲げ疲労限度 引張強さ	硬 度 (ショアー(C))
白 銑 部 (チル層)	20~22	0.1~0.13	1.70	0.25	0.5	60
ねずみ銑部 (ロール中心部)	17~22	0.20~0.25	1.00~1.20	0.25	0.5	42

表 5 中抜鑄造合金チルドロールの物理的性質

	熱伝導率 (Cal/cm-S °C) (30°~200°C)	線膨張係数 ($\times 10^{-5}$ cm/cm°C) (30°~200°C)	硬 度 (ショアー(C))
白 銑 部 (チル層)	0.04~0.05	0.9~1.0	75
ねずみ銑部 (ロール中心部)	0.09~0.10	1.0~1.1	40

表 6 一体鑄造普通チルドロールの物理的性質

	密 度 (g/cm ³)	比 熱 (cal/g°C)	平均熱膨張係数 ($\times 10^{-5}$ cm/cm°C)		
			20~200°C	200~400°C	400~550°C
白 銑 部 (チル層)	7.75	0.13~0.14*	0.885	1.28	1.43
ねずみ銑部 (ロール中心部)	7.30	0.13~0.14*	1.05	1.26	1.41

* 0.13 は 0~100°C の平均値 0.14 は 0~500°C の平均値

麗にする特徴は、他のどんなロールにもないが、耐事故性が劣るので賞用されていない。しかし耐事故性の向上研究も鋭意なされており、将来熱間ストリップ圧延機仕上ワークロールにも有効に使用されるようになることが予想される。

5.1.2 グレンロール (インデフィニットチルドロール)

(1) 組 織

グレンロールもチルドロールとまったくおなじ鑄型によつて製造されており、胴部は金型で急冷されるが、化学成分の調節によつて、ロール胴部表面がチルドロールのように白銑化しないようにしてあり、ロール胴部表面から黒鉛 (主として片状黒鉛) を伴つたいわゆる斑銑になつており、この黒鉛がロール内部に移行するにつれて徐冷効化により量がふえ、また粗大化しているのが特徴である。

したがつて組織的には黒鉛と共晶セメントタイトと地組織からなつており、チルドロールと同様に地組織を Ni, Cr, Mo などの合金元素を添加して、ペーナイト、マル

テンサイト化して硬くしたものと、合金元素を添加せずにパーライトとしたものがあり、前者を合金グレンロール後者を普通グレンロールと呼んでいる。その代表的なロール胴部表面の顕微鏡写真を写真 5, 6, 7 に示す。

普通グレンロールは一般に中抜鑄造法を行なわずとも胴体内部、ジャーナル部はパーライト基地のねずみ銑で硬度も高くないが、合金グレンロールの場合、硬度が高くなり残留応力も高くなるので合金チルドロールと同様に中抜鑄造法または遠心鑄造法が採用され、胴内部、上下ジャーナル部をねずみ銑組織や球状黒鉛鑄鉄組織としてロール残留応力の低減や使用時の熱応力を小さくする方法がとられている。

(2) 硬 度

グレンロールの胴部表面硬度は一般にショアーC硬度で 45~85 のものが製造可能である。ロール胴部表面より微細な黒鉛を有することとこれがロール内部で徐々に増え、また大きさが大きくなっていくので硬度の低下はあるが、その低下度合がきわめてゆるやかでかつ比較的深くまで硬度がおちないことがグレンロールの特徴であ

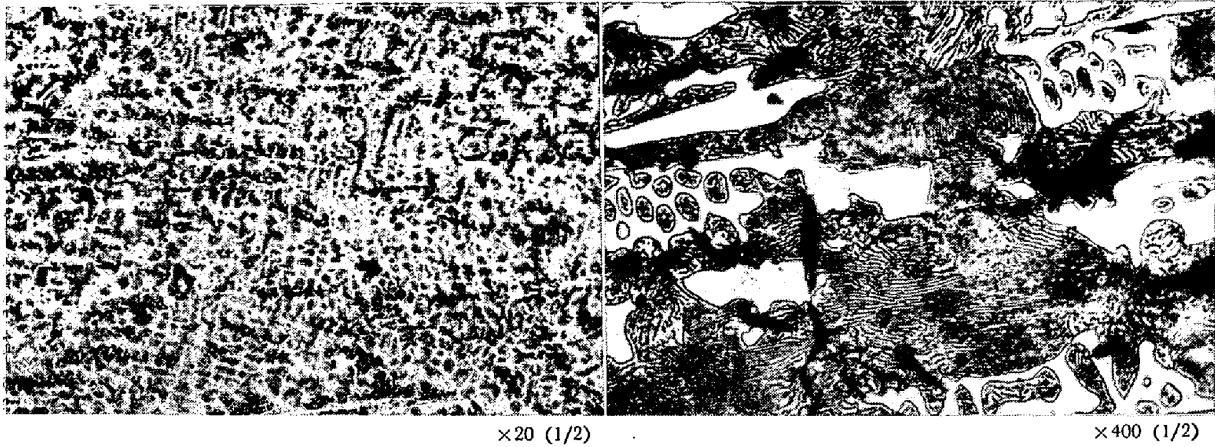


写真5 普通グレンロール

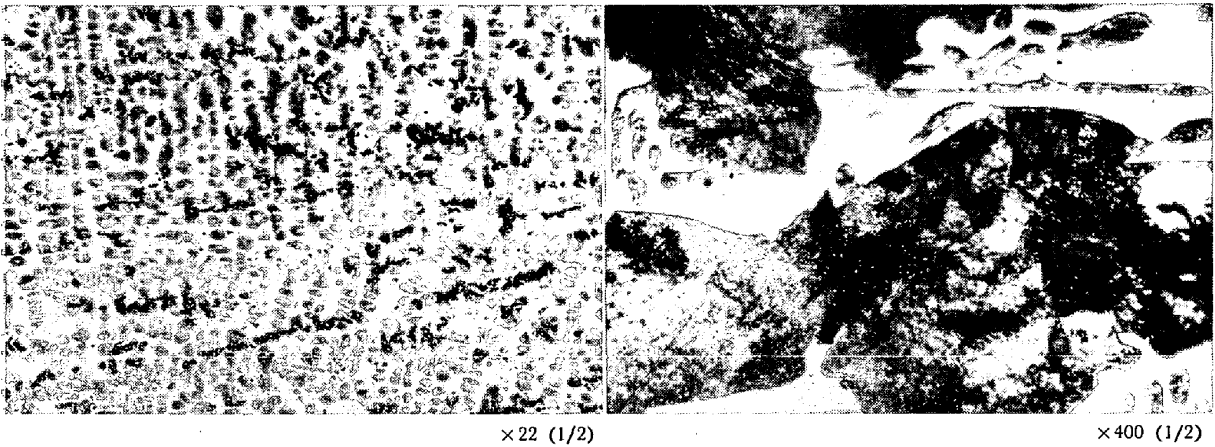


写真6 中合金グレンロール

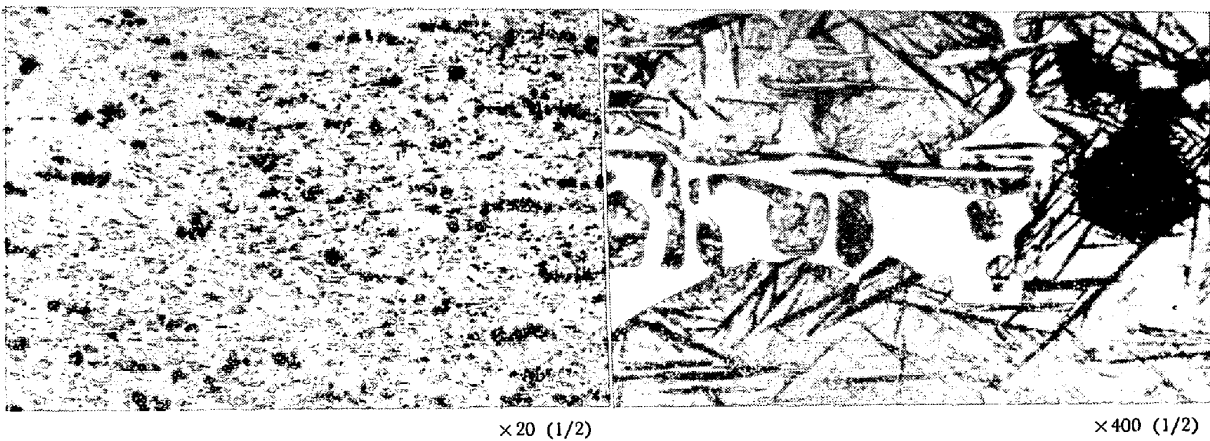


写真7 高合金グレンロール

る。製造上もなるべく黒鉛の量，大きさを内部まで変化させないように工夫がこらされている。図14にロール胴部表面より内部にいたる硬度分布の代表例を示す。また遠心鑄造法で製造された場合¹¹⁾は結晶の方向性がなくなるのでチルドロールと同様に，ロール表面より内部にいたる硬度の低下がなくなる傾向がある。

(3) 機械的性質

グレンロールは組織中に片状黒鉛が存在するので黒鉛のないチルドロールに比較して伸びがあり，熱衝撃に対して抵抗性があるので熱亀裂やスポーリングなどを発生しにくい。グレンロールの胴部表面の機械的性質は黒鉛の形状，分布および量，により同一硬度の場合でも非常に異なるが，黒鉛を細かく均等に分布されることが必要である。表7に650mmφ胴径の中抜鑄造高合金グレン

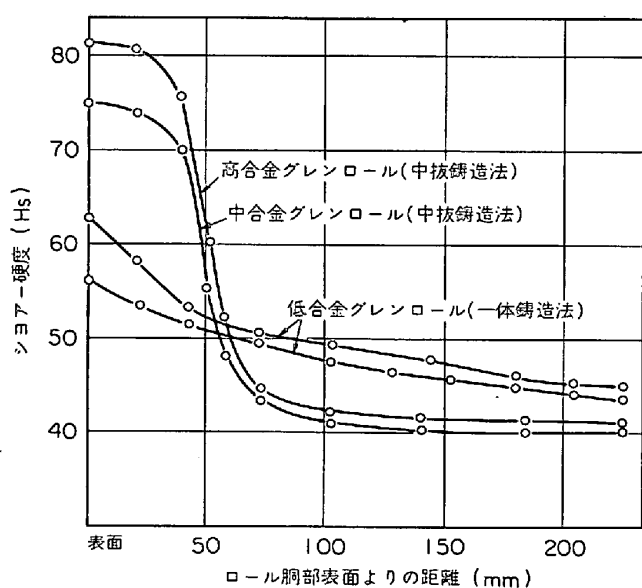


図14 グレンロールの硬度分布

ロールのロール胴体外殻層および中部の機械的性質を示す。

遠心鑄造法で高合金グレンロールを製造する場合、外殻層の組織をみると中抜鑄造ロールは黒鉛、セメントナイトが方向性をもっているのに対し、方向性が認められない。これは表面から内部方向に成長しようとする樹枝状晶が遠心力によつて崩壊するためであろうと考えられているが、両方の鑄造法で製造した高合金グレンロールの機械的性質を表8¹³⁾に示す。

表7 中抜合金グレンロールの機械的性質

	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	弾 性 係 数 (×10 ⁴ kg/mm ²)	シャルピー衝撃値 (kgm/cm ²)	圧縮強さ (kg/mm ²)	硬 度 (ショアー“C”)
外 殻 層	43~48	0.30~0.35	1.65~1.70	0.25~0.30	250~300	75~80
中 心 部	18~25	0.30~0.50	0.9~1.1	0.15~0.20	100~150	35~40

表8 高合金グレンロール外殻層の機械的性質の鑄造法による比較

鑄 造 法	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	曲げ強さ (kg/mm ²)	たわみ (mm)	硬 度 (ブリネル)
遠 心 鑄 造 法	44.7 46.1	0.24 0.25	72.1 70.5	0.99 1.03	518
中 抜 鑄 造 法	41.9 40.5	0.20 0.20	66.4 69.7	0.91 0.90	509

表9 中抜合金グレンロールの物理的性質

	熱 伝 導 率 (cal/cm·sec·°C) (39~200°C)	線 膨 張 係 数 (×10 ⁻⁵ cm/cm°C) (30~200°C)	硬 度 (ショアーC)
外 殻 層	0.045~0.055	1.0~1.1	75~80
中 心 部	0.09~0.10	1.0~1.1	35~40

(4) 物理的性質

表9に胴径 650 mmφ の中抜高合金グレンロールの熱伝導率、線膨張係数の一例を示す。熱伝導率はNi%の増加とともに低下し、黒鉛量が多いほど上昇する²⁸⁾。

(5) 適用場所

グレンロールはチルドロールに比較して、硬度低度が少ないという特徴をいかして、当初、深いカリバーを有するロールに適用され好評を博したが、ダクタイルロールやアダマイトロールの出現とともに低硬度の普通グレンロールはしだいにこれらロールにおきかわつてきており現在、合金グレンロールが熱衝撃に対する抵抗性と耐摩耗性にすぐれるという特徴が生かされて熱間ストリップ圧延機仕上用ワークロールや高速線材圧延機仕上ロールに賞用されている。

またコールドミル関係ではショアー硬度 70 度前後の高合金グレンロールが昭和 39 年頃から、比較的圧延荷重の低いスキンパンミル用バックロールにショアー硬度 50~60 度の鑄鋼、鍛鋼製バックロールに変わつて使用され、耐摩耗性で絶対の優位を示し、約 2 倍の圧延実績³⁰⁾をあげ、現在ほとんどこれに変わっている。

一般に普通鑄鉄中抜鑄造高合金グレンロールであるが圧延荷重の高いものでは球状黒鉛鑄鉄中抜鑄造高合金グレンロールや、中抜高合金グレンロールスリーブを鍛鋼あるいは鑄鋼製シャフトに焼ばめした組立式バックロールが使われている。また冷間タンデムストリップ圧延機

スタンド用ワークロールにも、ショアー硬度 80~85 の高合金グレンロールが昭和 37 年頃使用され、従来のショアー硬度 90 以上の鍛鋼焼入れロールに比較して耐摩耗性がいちじるしくすぐれていることが³⁰⁾立証されたが、圧延時のすべり現象やロール改削時点での問題などで賞用されなかつた。しかし諸外国では圧延材の種類によっては常用されている事実からみて日本でも将来適用されてゆくであろうし、そのための研究もなされつつある。

5-1-3 ダクティルロール

昭和 28 年初め日本において球状黒鉛鑄鉄の研究が開始されると同時にこれをロールの製造に応用する実験、研究が始まり、昭和 29 年頃より実際圧延に使用されて以来、急速な発展を遂げ、当時鑄鋼ロールが使われていた圧延機中や鑄鉄ロールが使用されて強度的に問題があった圧延機などに使用され鑄鋼ロールに勝る靱性をもつという、材質上の特徴が生かされて発展し、今なお各分野で応用されている。さらに高純度銑の使用、球状黒鉛化剤の研究、熱処理法の研究、鑄造方法の研究などによって、応用分野の拡大が計画されるとともに、鑄鋼、アダマイトロールやチルドグレンロールと球状黒鉛鑄鉄を組み合わせる研究も盛んで、鑄鋼、アダマイト、チルド、グレン各ロールの応用分野の拡大化へも、幅広く応用されつつある。とくにダクティルロールの応用で飛躍的に圧延能率が上がったのは分塊圧延機で従来使用されていた鑄鋼ロールの胴部表面に出て折損の原因となつた大形クラックはダクティルロールを使用すると網目状クラックに変わり、折損もなくなり耐摩耗性も良好で、同じ目的で作られている球状黒鉛鑄鋼ロールとともに分塊ロールとして賞用されている。

(1) 組織

ダクティルロール用鑄型もチルドロールやグレンロールと同様に胴部が金型、ジャーナル部が砂型で製作されており、胴部を急冷ジャーナル部を徐冷する方式が一般

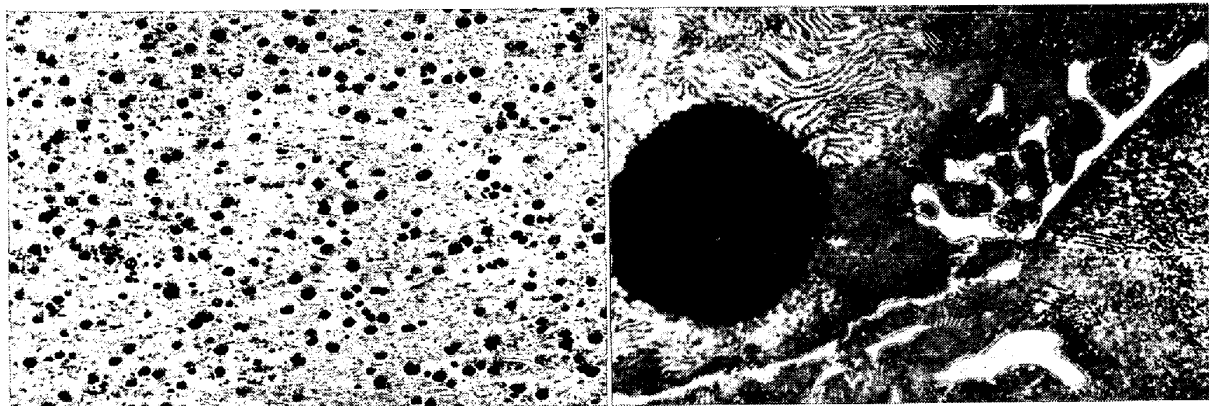
的に採用されており、ごく一部に胴部も砂型で徐冷する方法がとられている。

ダクティルロールの応用分野は分塊圧延機や粗圧延機から仕上げ圧延機まで幅広いのでそれぞれの圧延機向けに溶湯成分、熱処理方法、鑄造方法が区別されており組織もいろいろであるが、基本的には球状黒鉛と共晶セメンタイト、地組織よりなつており、硬度を高くするためにはチルドロールやグレンロールと同様に Ni, Mo, Cr などの合金元素を添加して地組織を硬くする方法と黒鉛の量と共晶セメンタイトとの比を変化させる方法ととられている。

またとくに強靱性を要求される場合は高純度銑を使用して極力 P を下げて鑄物を作り、これに強力な熱処理を加味して製造するなどの方法がとられるので地組織がいろいろと変化する。

写真 8, 9, 10, 11 に代表的なダクティルロールの胴部表面組織を示す。Ni, Mo などの合金元素を含まない普通ダクティルロールは、共晶セメンタイトと球状黒鉛およびパーライト地よりなつており、中合金ダクティルロールは地がトルースタイト、高合金ダクティルロールはペーナイト（あるいはマルテンサイト）組織となつている。分塊および鋼片圧延機などに用いる特種ダクティルロールは通常合金元素を含んでいるが、特殊な熱処理を採用することにより、基地組織をフェライト質の焼戻ペーナイトとして機械的性質の向上を計つてある。

分塊圧延機では激しい熱負荷のもとで高圧下を行なうので、これに使用されるロールは耐熱亀裂性、耐折損性にすぐれるとともに耐摩耗性に富む材質でなければならない。従来、各種分塊ロールとしては鍛鋼、鑄鋼ロールが使用されてきたが、鍛鋼ロールは高価な上に耐摩耗性におとり、鑄鋼ロールは切欠感度が高く、とくに熱的に苛酷な使用条件下で使用されるとロール表面に数は少ないが深さの深い円周方向亀裂を発生し、くりかえしの高



×20 (1/2) ×400 (1/2)
写真 8 普通ダクティルロール

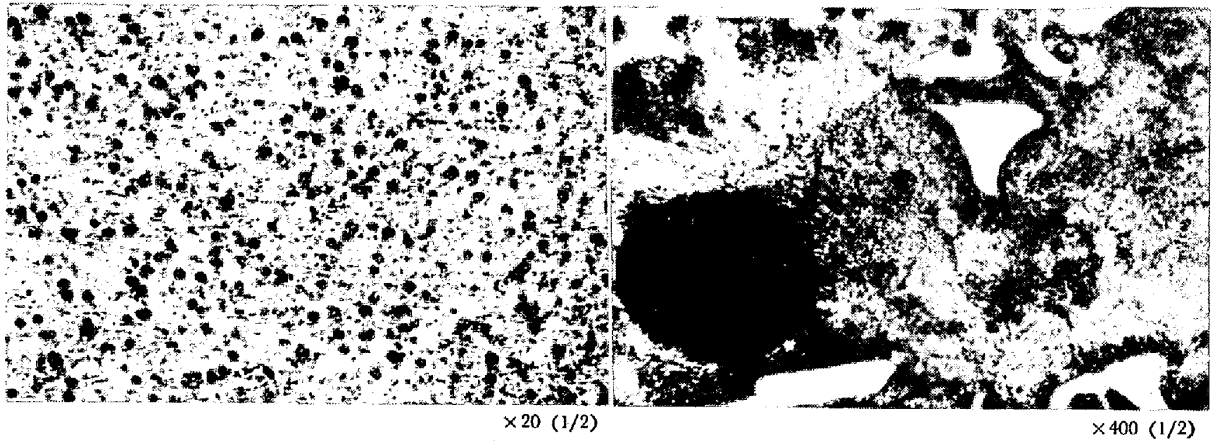


写真 9 中合金ダクタイルロール

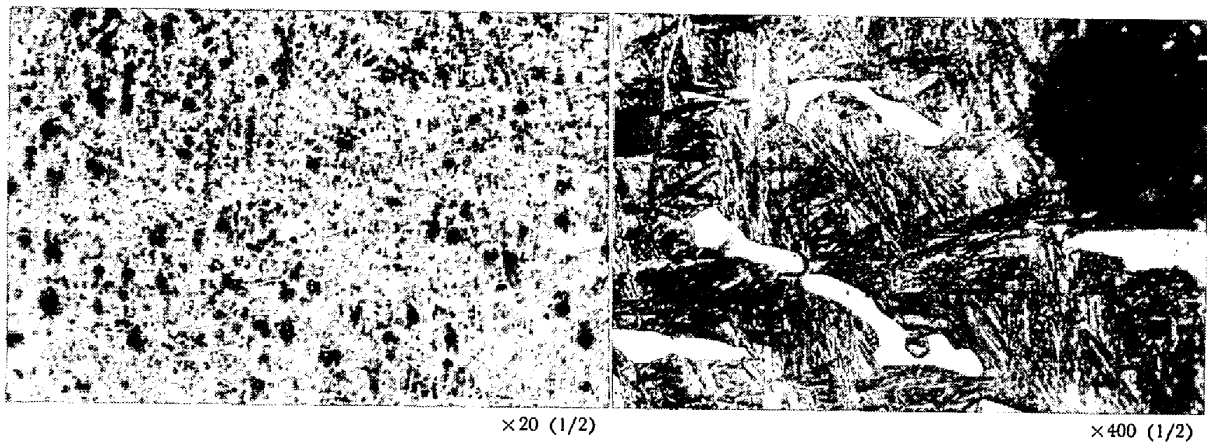


写真 10 高合金ダクタイルロール

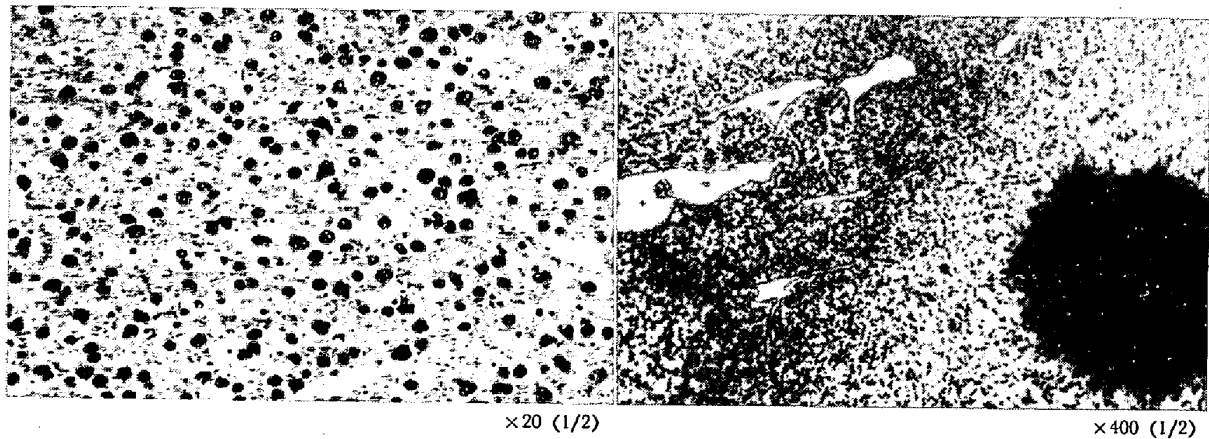


写真 11 特殊ダクタイルロール

荷重でこれが進展し胴折損事故を起こすうえ、耐摩耗性もそれほどよくない欠点があつた(写真12)。

特殊ダクタイルロールは組織中に適度のセメントタイトを有するため耐摩耗性が良好でしかも球状黒鉛をもち、かつ地組織もフェライト質の焼戻しペーナイトであるため耐熱性にすぐれ、靱性では鑄鋼ロールにおとるけれども切欠感度がにぶく、熱亀裂深さが非常に浅くて、分散するという特徴をもち、これを分塊鋼片ロールに使用す

ると耐摩耗性、耐熱性の面で従来の鑄鋼、鍛鋼ロールをはるかに凌ぐよい成績をあげ、もつとも近代的なユニバーサル圧延機では150~200万tの圧延成績をあげている。写真-13に使用後のブルーミング用ダクタイルロールの使用後の肌を示す。熱亀裂が細かくしかも分散しておりナーリングも残っている。

(2) 硬 度

ダクタイルロールもグレンロールと同様にロール内部

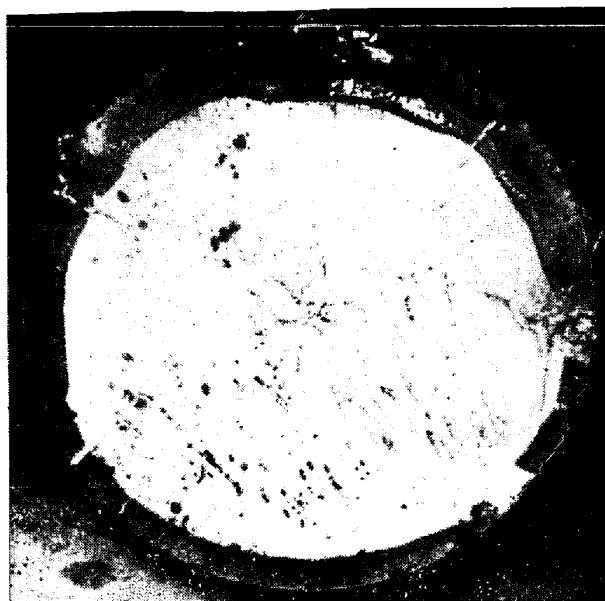


写真 12 分塊圧延用鋳鋼ロールの折損破面
(黒い部分はクラックの進展跡)

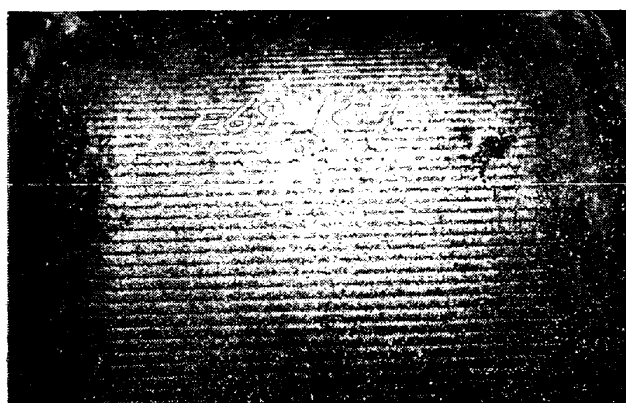


写真 13 分塊圧延用ダクタイルロールの圧延後の肌

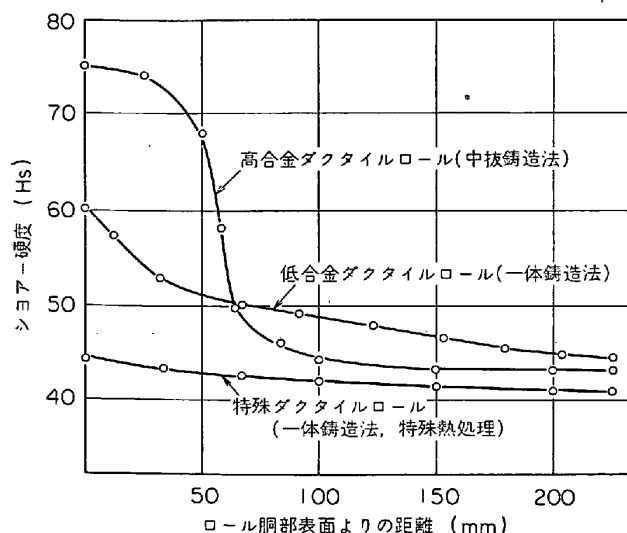


図15 ダクタイルロールの硬度分布

にいたつても硬度低下がなく，かつグレンロールに比較して機械的性質もすぐれているので，とくにカリバーの

深い形鋼圧延用ロールに賞用されている．図 15 に代表的なダクタイルロールの表面より内部にいたる硬度分布を示す．とくに高い硬度を必要とする高合金ダクタイルロールは中抜製造法が適用されるので表面より50mmくらいより硬度の低下がはげしい．

一般にロールの径にもよるが，ダクタイルロールではシヨア-硬度 35~80 の範囲のものが常用されている．

(3) 機械的性質

ダクタイルロールの機械的性質は鋳鉄ロールの中で一般的にもつともすぐれているが，使用される場所によつて，球状黒鉛の量，大きさ，分布をかえ，またセメントタイトの量も調節して作られるので一概にはいえないが，通常用いられている低合金ダクタイルロールの機械的性質を表 10 に，また先述のダクタイルロールの中でもつともよい機械的性質をもつ分塊用特殊ダクタイルロールの機械的性質を表 11 に示す．

(4) 物理的性質

球状黒鉛をもつダクタイルロールと片状黒鉛をもつグレンロールの同一硬度での熱伝導率を比較するとダクタイルロールのほうが悪い²⁸⁾．また黒鉛量が同じならば小さく数多く分布したもののほうが，大きく数が少ないものよりも熱伝導率はよくなる．ダクタイルロールの実体の熱伝導率が一般に低いことは，圧延に使用する場合，熱応力が高くなる傾向が強いことを示し，使用にあつての水冷条件などに注意を必要とする理由である．

(5) 適用場所

先述の分塊ミルや鋼片ミルのごとく，熱衝撃が強く，圧延圧力も高く，しかも耐摩耗性を必要とするところや棒鋼，線材などの中小型鋼圧延の粗スタンドには強靱性の高い特殊ダクタイルロールが用いられ，中間，仕上スタンドにも比較的カリバーがあまり深くなく耐摩耗性を必要とするスタンドには，むしろアダマイトロールにか

表 10 低合金ダクタイルロールの機械的性質

	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	シャルピー 衝撃値 (kgm/cm ²)	ロール径 (mm φ)	硬度 (Hs)
表面部	50~55	0.5~0.7	0.15~0.20	510	50~55
内部	40~45	0.3~0.5	0.18~0.23		

表 11 特殊ダクタイルロールの機械的性質

	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	シャルピー 衝撃値 (kgm/cm ²)	ロール径 (mm φ)	硬度 (Hs)
表面部	65~70	3.5~4.5	0.5~0.6	850	35~40
内部	48~53	1.3~1.8	0.25~0.35		

わつて中合金ダクティルロールが用いられている。しかし線材や小丸棒圧延用の仕上げロールでは耐摩耗性の点でチルドロールにかなわない。

鋼板圧延用ロールとしては熱間ストリップ圧延機の粗圧延機用ワークロールや縞板圧延用3段圧延機にも用いられている。

また、冷間スキンプラス圧延機の中で比較的圧延荷重の高い場合のバックロールには高硬度の中抜高合金ダクティルロールが用いられてよい成績をあげている。

すなわち、ダクティルロールはグレンロールが用いられる場所にはどこにでも用いることができるが、水冷条件が悪い場所ではグレンロールに劣り、また圧延条件がよくてチルドロールが用いられている場所ではチルドロールに劣るという傾向をもつので適用にあたっては、圧延条件をよく調査してかかる必要がある。

今後さらに使用材料、微量元素、ガス、Mg 処理、熱処理などの分野での検討が進めば、より強力なダクティルロールが出現するであろうが、むしろダクティル材を芯材とした各種複合ロールの開発にダクティルロールの製造技術が応用される傾向が強くなると思われる。

5.2 鋳鋼系ロール

鋳鋼ロールは C 1.4% 以下の低炭素系鋳造ロールで Ni, Cr, Mo などの合金元素を含まない普通鋳鋼ロールと、合金元素を含む特殊鋳鋼ロールに分けられる。低炭素であるので、球状黒鉛鋳鋼ロールを除いて一般に炭素がいずれも炭化物の形で存在し、黒鉛の析出をみないもので、ロールの表面より内部にいたる硬度の差があまりないのが特徴である。硬度は低いが、強度があるので、圧延荷重が高く、また熱的負荷が苛酷で、耐摩耗性があまり要求されない粗圧延機用ロールとして、広く用いられているほか、ロール表面より 200~300 mm 内部まで使用される大形形鋼圧延用ロールとして賞用されている。また厚板圧延機用補強ロールのような大形ロールにも用いられているが、最近では圧延設備の大形化に伴い、100 t を越えるものも製造されている。これら大形の鋳鋼ロールの製造にあたっては、製造設備の完備とともにすぐれた製造技術と長い経験を必要とする。鋳鋼ロールの胴部の表面硬度は、ショアー硬度 25~55 が普通であるが、最近にいたり 60 を越える熱間、冷間圧延用補強

ロールが完成されつつあり、さらに研究が進むにつれて鋳鋼ロールの分野も大きな飛躍が期待される。

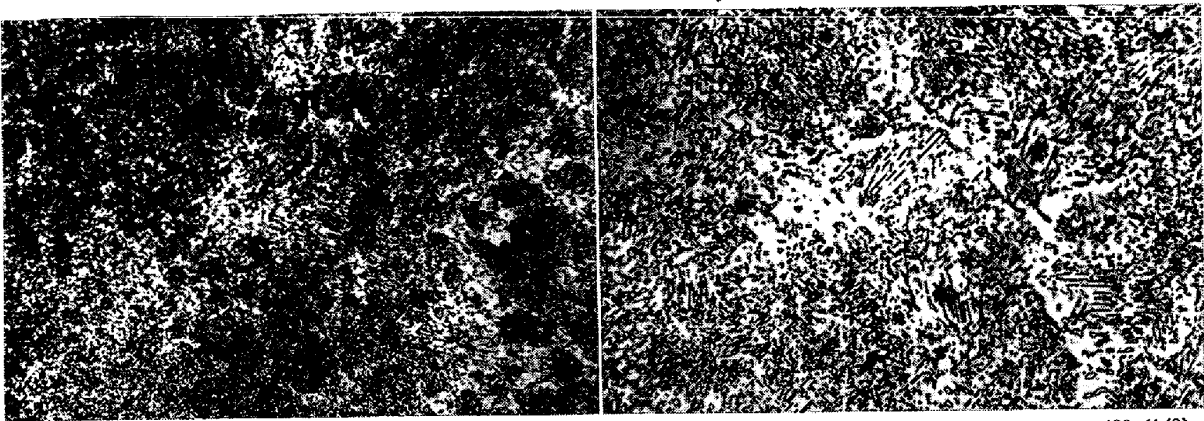
5.2.1 組織, 成分

鋳鋼ロールの C% は 1.4% 以下が普通であるが、熱延用ワークロールの場合には、圧延鋼材との接触によるロールの摩耗に耐えること、焼付き現象を生じがたいこと、ある程度の降伏強度を必要とすることから、普通鋳鋼ロール、特殊鋳鋼ロール、いずれの場合にも C 0.4% 以上を含有するのが普通である。C 0.4~0.8% の鋳鋼ロールは耐折損性を主体に製造され、引張強さはそれほど高くないが、伸び、衝撃値に富み、圧延時の衝撃荷重に耐えるとともにロール表面に発生する熱亀裂の進展にいちじるしい抵抗性を示し、すぐれた耐折損性を発揮する。C 0.8~1.4% C の鋳鋼ロールの中で 0.8~1.0% C のものは最高の引張強さ、伸びなどの機械的性質を示すが、これより C% の上昇とともにしだいに耐熱性、耐事故性が減少していく。このような炭素含有量の差による特性をさらに助長するための合金元素の添加も、0.8% C 以下のものに対しては、耐熱性、強靱性をますために、また 0.8% C 以上のものに対しては、耐摩耗性向上のための硬度増加をはかるため用いられる。写真 14, 15, 16 に普通鋳鋼ロール、低炭素、高炭素特殊鋳鋼ロールの胴部表面組織を示す。熱処理方法の違いによつて、地組織はいろいろと変化するが、一般に普通鋳鋼ロールはパーライトとフェライトよりなり、低炭素特殊鋳鋼ロールはパーライト主体であるが、高炭素特殊鋳鋼ロールはパーライトと遊離セメンタイトの混合組織よりなつているのが普通である。表 10 に鋳鋼ロールの一般的化学成分の一例を示す。

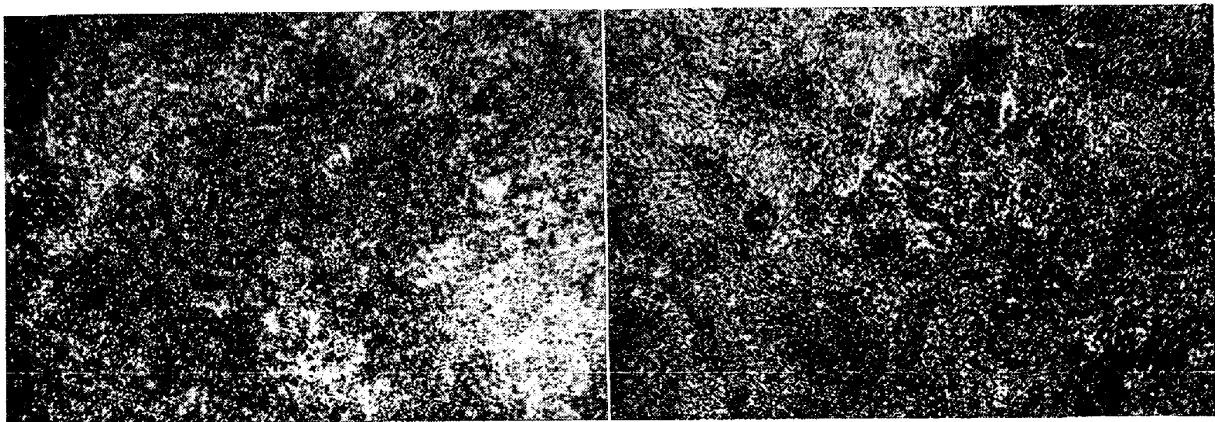
昭和 35 年に開発された球状黒鉛鋳鋼ロールは化学成分上は過共折鋼に属し、組織は鋳鉄と同様に遊離炭化物を有し黒鉛が 20~30 μ の大きさに調整されており、機械的性質も鋼の強度をもっている。製造にあたっては、この黒鉛の均一性を保持させる手段および球状化処理法熱処理法に特別の考慮がはらわれている。これを分塊ロールに用いると、ダクティルロールと同様にファイヤークラックが微細均一に分布し、使用回数が増加しても、摩耗量少なくかつ折損にいたらない。

表 10 鋳鋼ロールの化学成分例

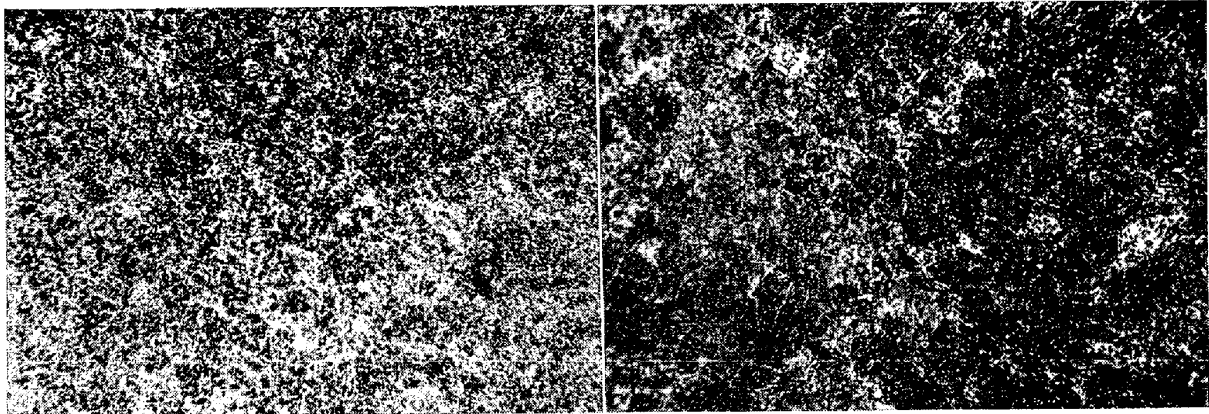
	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%
普通鋳鋼ロール	0.5~0.8	0.3~0.6	0.6~1.0	<0.03	<0.03	—	—	—
特殊鋳鋼ロール-1	0.6~1.4	0.3~0.6	0.6~1.0	<0.03	<0.03	—	0.8~1.2	0.3~0.5
特殊鋳鋼ロール-2	0.4~0.6	0.3~0.6	0.6~1.0	<0.03	<0.03	0.5~1.0	0.4~0.8	0.3~0.5



×100 (1/2) ×400 (1/2)
写真 14 普通鑄鋼ロール



×100 (1/2) ×400 (1/2)
写真 15 低炭素特殊鑄鋼ロール



×100 (1/2) ×400 (1/2)
写真 16 高炭素特殊鑄鋼ロール

5.2.2 機械的性質，硬度

図 16 に鑄鋼ロールの C% と抗張力，伸び，シャルピー衝撃値，硬度の関係を示す。普通鑄鋼ロールは組織中にフェライトが存在するため，伸び，衝撃値が高く，耐熱亀裂性にすぐれているが，硬度が低く耐摩耗性に劣る。特殊鑄鋼ロールは合金元素を含有しているので，適切な熱処理を施すことによつて，強度，耐摩耗性が向上する。しかし炭素含有量が増加すれば，遊離セメンタ

イトが多くなるので，耐摩耗性はよくなるが，伸び，衝撃値が下る。同一の成分でも熱処理によつて硬度を高くすると引張強さはますが，伸び，衝撃値は低下する。

5.2.3 複合鑄鋼ロール

鑄鋼ロールは従来単一溶湯をロール鑄型に鑄込んで製造する一体ロールのみで，一般に鑄鉄糸ロールで採用されている中抜鑄造法は，低炭素溶湯の凝固形態上，採用がむずかしかつたが，鑄造技術の進歩とともに，これが

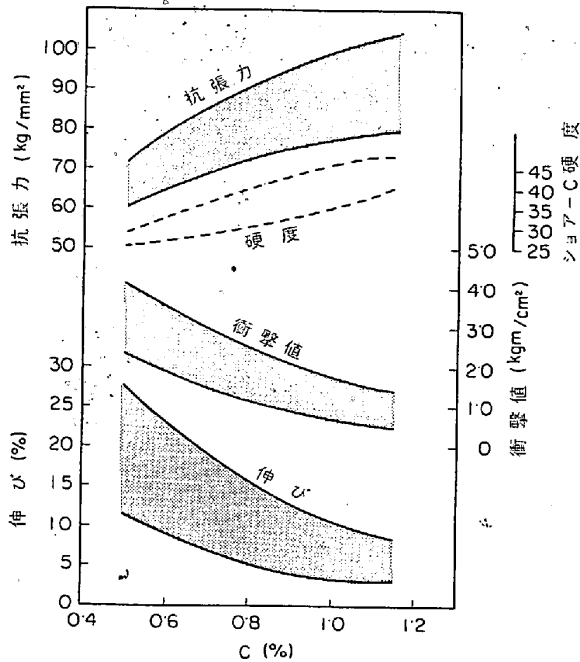


図16 鑄鋼ロールのC%と機械的性質

行なえるようになり、外殻層を特鑄鑄鋼、内部を靱性のある普通鑄鋼とした、複合一体ロールあるいは複合スリーブロールができるようになり、従来の鑄鋼ロール分野の硬度を上回るショアー硬度 60~70 のものができるようになり、熱間用、冷間用補強ロールや、分塊ロール、板圧延用粗圧機ワークロールなどに使用されて、実績ができつつある。最近の高性能圧延機に使用される各種補強ロールは生産効率、原単位の面から、耐久性と安全性に富み、さらに板厚精度の問題から偏心の少ないことが望まれている。従来より、鑄鋼製一体ロールや、鍛鋼製スリーブロールが用いられているが、前者では先述のごとく、材質上の問題から硬度をあげることがむずかしく後者は焼バメ方式の巧拙により、変形スベリ、および応力ワレなどの事故を頻発していた。複合鑄鋼一体ロールは、硬度が高くて耐摩耗性にすぐれ、かつ一体式であるので、変形すべりの心配がない。また複合鑄鋼スリーブロールはスリーブの内面が軟い伸びのある鑄鋼材質となつていたので、焼ばめ率を高くできること、特殊な焼ばめ方法の考案により、鍛鋼一体スリーブに比較して、曲がり方を非常に少なくできること、および原価が安い点で今後とも需要がますます予想される。外殻層材質は高 Cr-Mo-V 鋼が採用されており、高温焼きもどし処理を行なつても硬度がおちず、かつ焼入れ硬化深度が高いのが特徴である。図 17 と図 18 に一例を示す。また写真に低炭素で高合金の特種鑄鋼材を外殻層にした複合ロールのロール表面の組織を示したが、強い熱処理を行なつてあり、地組織がペーナイトとマルテンサイトの混

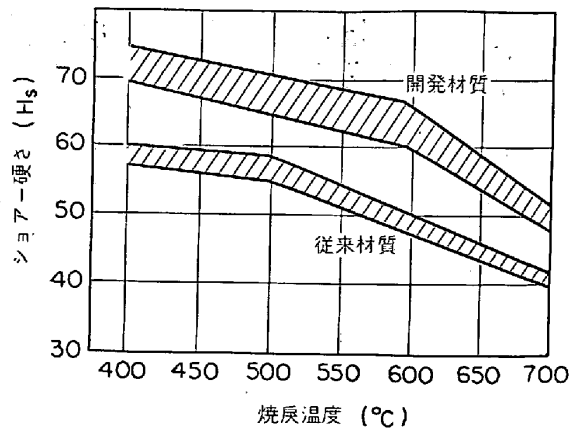


図17 焼もどし性能曲線の比較

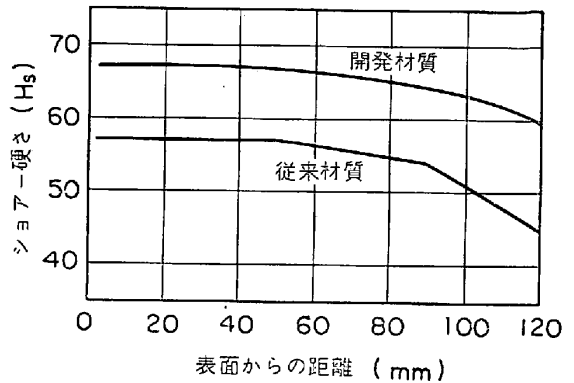


図18 焼入硬化深度の比較

合組織となつている。まだ使用初期の段階にあり、種々未解決の問題も含んでいるが、将来鑄造熱処理両面からの研究によつて飛躍的に伸びてゆくロールといえるであろう。

5.3 アダマイト系ロール

わが国においてアダマイトロールと一般にいわれるロール材質は 1.4~2.4% の炭素含有量の白鉄組織を有するものであるが、特殊鑄鋼ロールの炭素含有量を高めたものとも考えられ、一方また低炭素鑄鉄の部類にも属するものでロールとしての特性もこの両者を併せたものをもつている。国外においてはアロイスチールベースロールという名称で呼ばれ、場合によつては C 1.8% を境として、より低炭素のもの (1.4~1.8%C) をスチールベースアダマイト、より高炭素のもの (1.8~2.4%C) をアイアンベースアダマイトとよばれることもある。

ロールの特性としては白鉄組織よりなるものが一般的であり、ロールの表面から内部にいたる硬度変化はきわめて少ないが、特殊元素を添加した場合を除けば、35~55C ショアー硬度の範囲にあり、鑄鋼ロールよりは耐摩耗性に優れる。しかし表面よりかなり内部を使用する大形形鋼ロールのような場合、他のいかなるロール材質よ

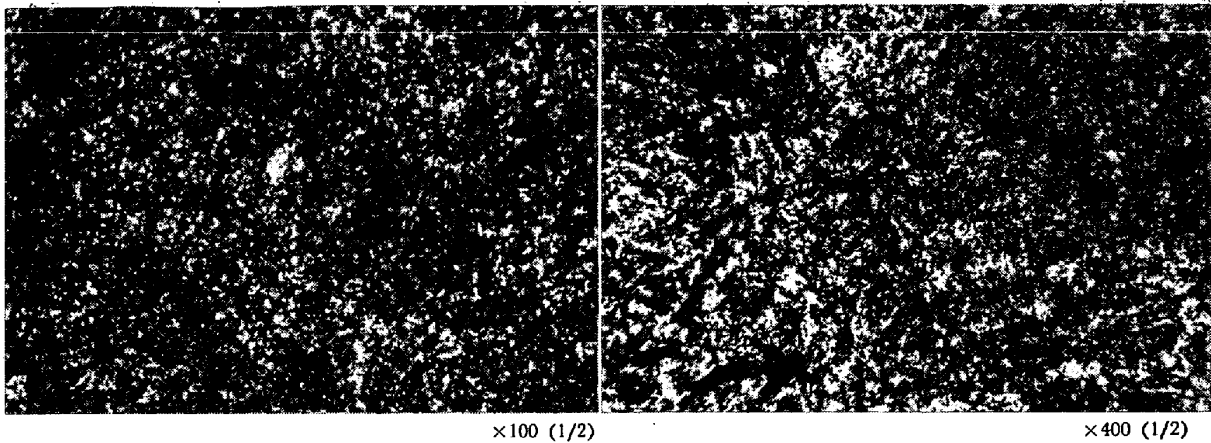


写真 17 複合ロール (低炭素系)

りもカリバー底の耐摩耗性にすぐれ、顕微鏡組織中に存在する遊離セメントの耐焼付性に対する効果と相まって昭和 30 年前後のわが国の大形形鋼の需要増大の期に当たつてこの種鋼材の圧延用ロールとして年々鑄造量も増加し、品質の改善もみるべきものがあつた。

ロールの強度、ならびに耐熱性は炭素含有量の増加とともに低下するが、反面耐摩耐性は向上するため、この両者の要求を考慮しながら用途を決定するが、一般的適用法として、普通 1.8% C 以下の炭素量では強度にすぐれるため粗圧延用 1.8% 以上の炭素量では耐摩耐性を生かして、中間、仕上圧延用として用いられる。

アダマイトロールは入念な熱処理を施すことにより、あるいは合金元素を添加することにより、かなりロールの性質を改善することが可能であり、また溶湯の精錬特殊処理によつて本来白鉄組織であるものに用途に応じて黒鉛を折出させることも可能であつて、アダマイトロールの用途はますます拡大され、従来の特殊鑄鋼ロールの分野にまで進出しつつある。

きわめて最近ではアダマイトロールの特性を生かし、従来の単体鑄造方法ではロールの残留応力が高くなり製

造困難な、いちじるしく耐摩耐性に富む高硬度アダマイトロールの製造技術として、鑄鉄系では一般的に用いられている。中抜鑄造法と同様の原理により製造可能となつた複合アダマイトロールの応用範囲も拡大されつつあり、ようやくわが国のアダマイトロールも新しい転換期をむかえんとしている。

5.3.1 組織

アダマイトロールの鑄造組織は低炭素白鉄であるのでこのままでは非常に脆く、したがつてすでに述べたような複雑な熱処理を行なつて、組織の改善を行ない、強度を出すことが行なわれている。写真 18, 19 に低炭素アダマイトロールと高炭素アダマイトロールの顕微鏡写真を示したが、炭素量が増えるにしたがつて共晶セメントが増加するので、耐摩耗性は向上するが、耐熱性、機械的性質がおちる。したがつて網目状に出るセメントを熱処理により切り、地組織中のセメントの球状化を十分はかつてやる必要がある。とくに強度と耐摩耗性および耐ヒートクラック性を必要とする場合低炭素で Ni, Cr, Mo などの合金元素を含んだ特殊アダマイトロールが使用されるが、この組織を写真 20 に

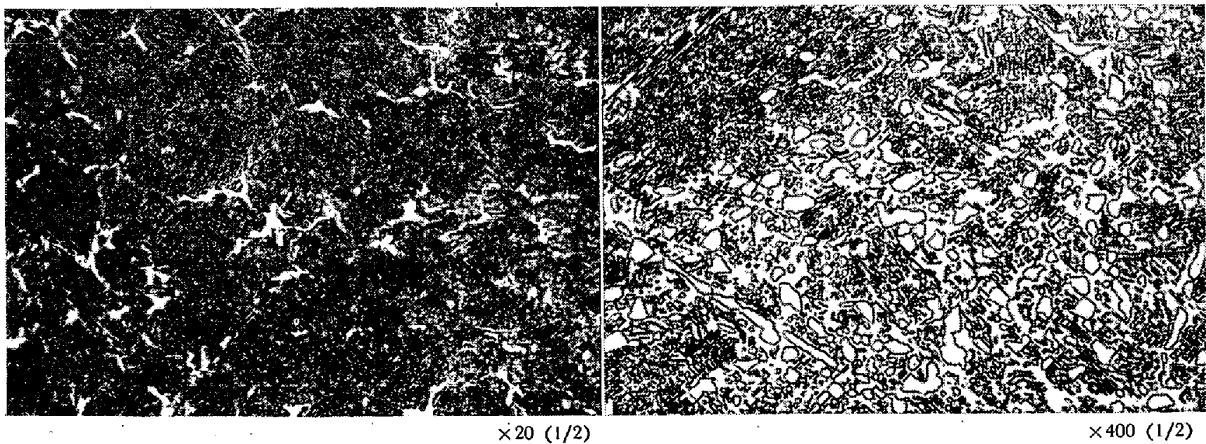


写真 18 低炭素アダマイトロール

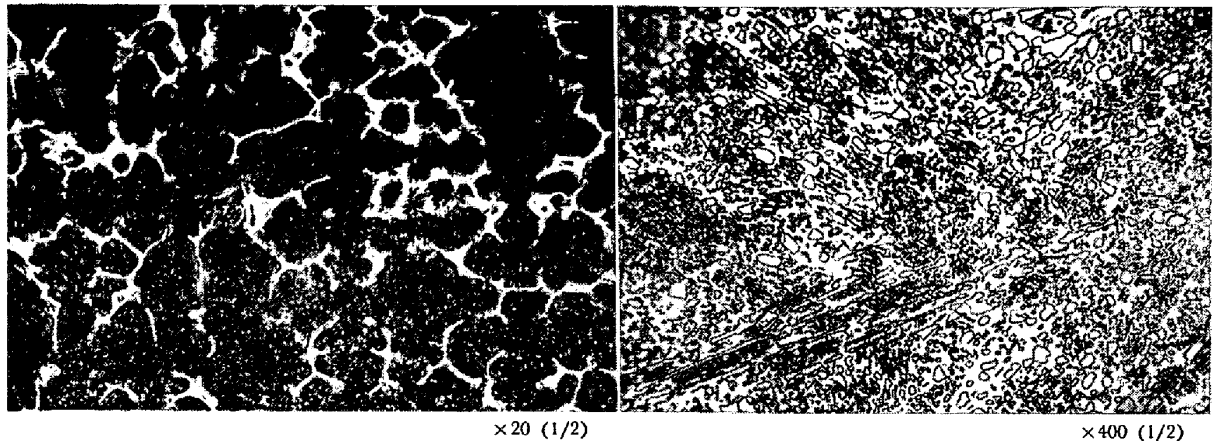


写真 19 高炭素アダマイトロール

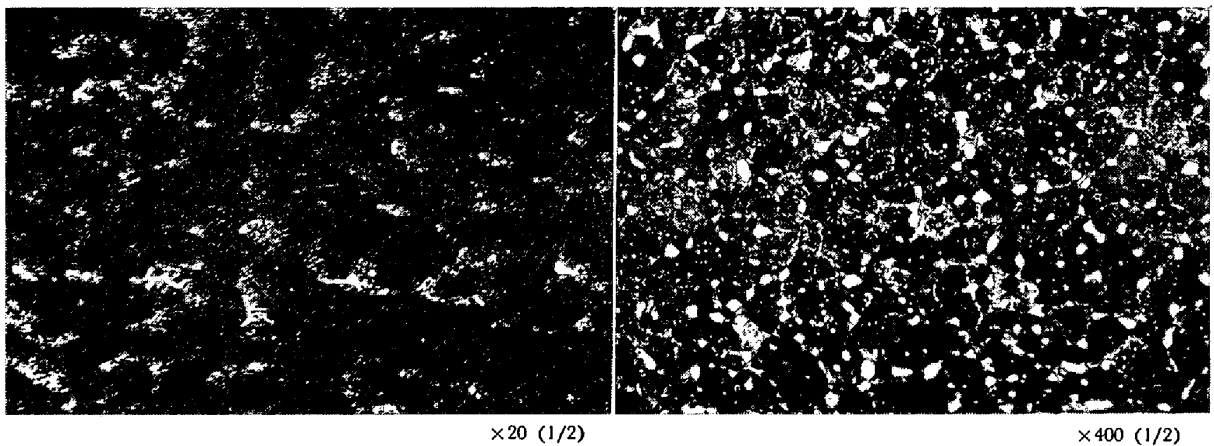


写真 20 特殊アダマイトロール

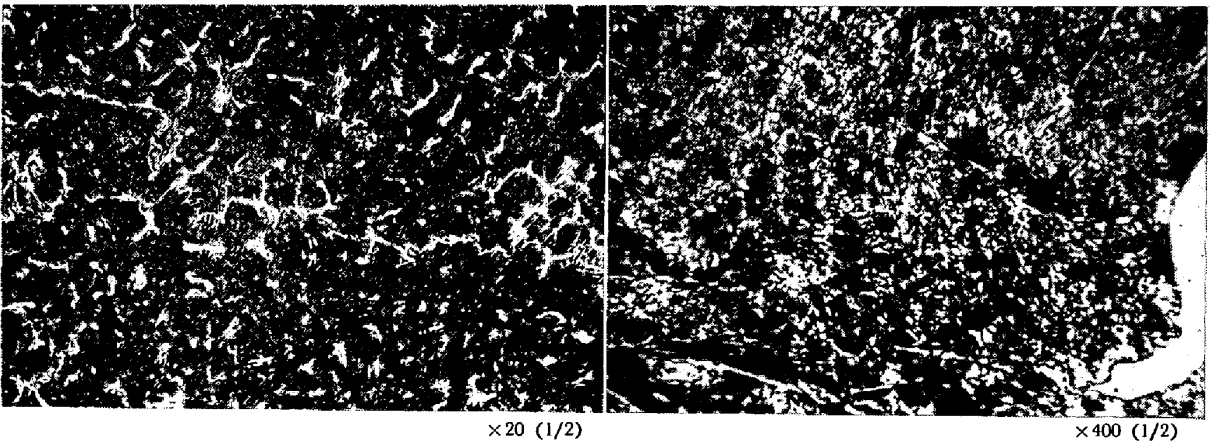


写真 21 高合金アダマイトロール

す示. このロールは拡散-球状化-焼準-焼もどしの 3~4 段の熱処理を補してあるので, 共晶セメンタイトが拡散して少なく, かつ地組織のセメンタイトの均一化や球状化も十分で, しかも地組織が焼もどしによつて細かいソルバイトになっている. また, とくに高硬度で耐摩耗性を必要とするロールには Ni などの合金をさらに加え比較的高炭素にして, 共晶セメンタイトを保ち, かつ地

組織を硬くしてやるが, この代表的な組織を写真 21 に示す.

そもそもアダマイトロールは低炭素であり, 高温鑄込みが行なわれるので, 先述のごとく, 胴体砂巻き鑄型に鑄込まれる. したがつて鑄造白鉄組織粒度は非常に小さい. つまり共晶セメンタイトが粗大であるので, 実際に使用された場合ヒートクラックはこの共晶セメンタイト

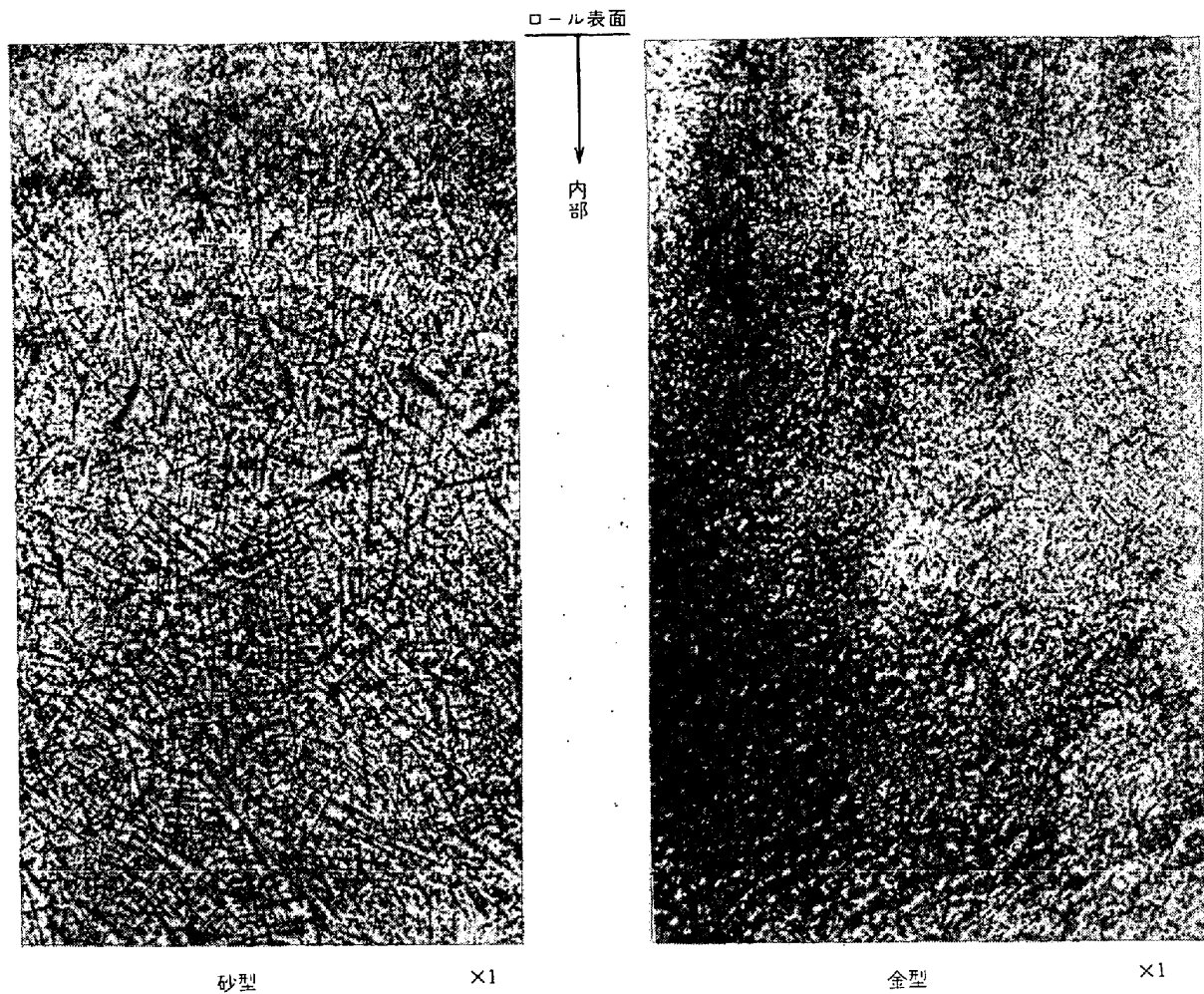


写真 22 砂型，金型鑄造アダマイトロールのマクロ組織

中をぬつて走り，大きい峰巣状クラックとなり，肌荒れの原因となる。これを防ぐために鑄鉄ロールと同様に直接金型に鑄込んでロール胴部を急冷し，鑄造組織を小さくする研究が盛んに行なわれている。写真 22 に同一炭素含有量の溶湯を砂型と金型に鑄込んだアダマイトロールの半径方向断面マクロ写真を示す。金型鑄造を行なうと，組織が細くなるので耐熱亀裂がます。したがつてむしろ同一耐熱性を保つのなら，炭素含有量を0.1~0.2%増加でき，耐摩耗性を向上させうるわけである。これらロールは，すでにいろいろ使用されて好成績をあげている。また球状黒鉛を組織中に折出させ，耐ヒートクラック性を増加させた球状黒鉛アダマイトや，高純度を使用して鑄造後，特殊な熱処理と軽い鍛造を行なつて³³⁾セメントタイトの形状をかえたものなどがあるが，それぞれ使用される場所によつて，すぐれた成績をあげている。

5.3.2 機械的性質，硬度

図 19 にアダマイトロールのC%と引張強さ，伸び，衝撃値および硬度の関係を示す。同じC%の場合でも，

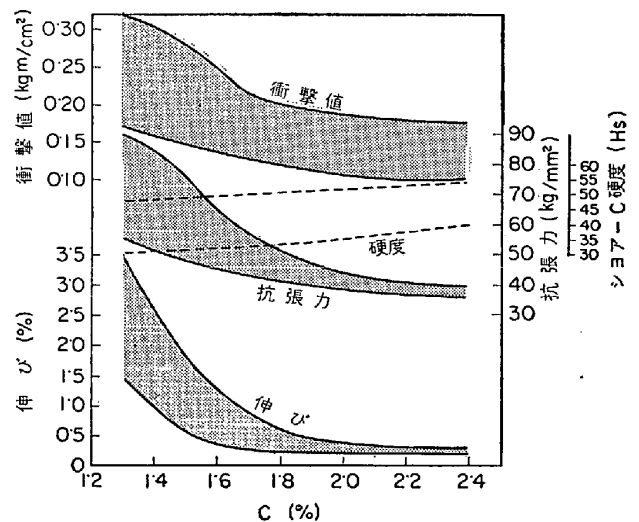


図 19 アダマイトロールのC%と機械的性質

金型鑄造を行なつたものは機械的性質が上限に近くなる。また，軽鍛造を行なつたものではとくに衝撃値，伸びが従来のものより1.5~2.0倍高くなる。

5.3.3 複合アダマイトロール

一体鑄造アダマイトロールでは、耐摩耗性を増加させるためC%を高くし、合金元素を添加して熱処理によつて硬度を高くしようとすれば、残留応力が高くなるとともに、ロール内部の機械的性質が悪くなるので、鑄造時や使用時に折損するという欠点があつた。最近では鑄造技術の進歩から、外殻層をアダマイト材質、内部を伸びのある鑄鋼材質や球状黒鉛鑄鉄材質とした一体ロールまたはスリーブロールができるうよになり、硬度もショアー55~65 と高くしても安心して使用できる、複合ロールが完成し、とくにワイドフランジミルの粗、仕上水平ロールやホットストリップミルの粗スタンドや仕上前段スタンドのワークロールに使用されて、ロール原単位向上にいちじるしい効果を發揮している。まだ完成された段階でなく、鑄造技術、熱処理技術の進歩とともに、今後品質の改良がなされる見通しがあり、アダマイトロールの新分野として将来大いに使用範囲が拡大されてゆくことが期待されている。

6. 結 び

以上、鑄鉄、鑄鋼、アダマイトロールについて製造法と材質特性の概略を述べたが、一般的記述を行なつたにすぎず、各材質共違つた、溶解法、鑄造法、熱処理法などを用いて製造することができ、かつさらに多くの幅広い材質特性をもっているのはいうまでもない。現段階において考えられることは、鑄鉄系ロールはほぼ完成されたものと考えてよく、個々の材質の改善がそれぞれの使用場所に適するように行なわれてゆくにすぎないであろうが、アダマイト、鑄鋼ロールはとくに最近、鑄造法の進歩によつてより高硬度のものができるようになつてきつつあり、今後さらに発展を遂げる可能性を含んでいる、興味あるロールということができよう。

文 献

1) 石野: 鑄造技術講座 3 (日刊工業新聞社編) (昭42), p. 165

- 2) 宮下: 鑄造技術講座 4 (日刊工業新聞社編) (昭42), p. 238
 3) 宮下: 木炭銑の研究 (昭和19年)
 4) 大谷: 鉄と鋼, 4 (1957) 43, p. 444
 同 5 (1957) 43, p. 522
 5) 青木: 鉄と鋼, 3 (1954) 40, p. 271
 6) 大谷: 鉄と鋼, 9 (1955) 41, p. 990
 7) 本間: 日本金属学会誌, 9, 1, 11, 12 (1952) 16, p. 487, 547, 607, 666
 8) 草川: 鉄鋼工学講座 9, 鑄鋼, 鑄鉄, p. 90
 9) 丸山: 低周波誘導溶解法 (日刊工業新聞社編) (昭45)
 10) 多木: 鑄鍛造 (1970) 7, p. 60
 11) 本田: 金属材料, 第9巻, 第3号, p. 71
 12) H. O. Howson: Foundry Trade Journal, Aug. (1969), p. 261
 13) T. WATMOUGH: Foundry Nov. (1961), p. 80
 14) 山本: 特公, 昭27-1264
 15) 山下: 特公, 昭35-5618 (1960)
 16) 山下: 特公, 昭33-6061
 17) 下田: 熱処理技術シリーズ・7 (昭45) p. 198
 18) 佐藤: 日曹製鋼技報, 3 (昭38-12) 2, p. 13
 19) LEWIS: Metal Progress, 9 (1969), p. 92~93
 20) ザハロス: 熱処理技術 (アグネ(株) 1963-9 大和久雄訳, p. 65~66, 21~22)
 21) 佐々木, ほか1名: 非破壊検査国際学会講演集 (カナダ) May (1967), p. 169
 22) 宮下: 鉄と鋼, 47 (昭36-11) 11, p. 1631
 23) 北村, ほか: 日本製鋼所技報, 26 (1969), p. 3085
 24) J. C. THIEME: Climax Molybdenum Company, New York, (1966)
 25) V. H. COEBEL: Stahl u. Eisen, 77(1957), p. 143
 26) F. H. ALLISON: Iron Steel Eng., 31 (1954) 12, p. 68
 27) 森: 鑄鍛造, 19 (1966) 5, p. 6 63
 28) 関本: 日立評論別冊, 第33号 (昭34-12) p. 89
 29) 谷口: 鉄と鋼, 18 (1932), p. 952
 30) 技術成果号: 日立評論, 47 (1965), p. 165
 31) " : " , 46 (1964), p. 153
 特公, 昭 37-28026, 28028
 32) " : " , 49 (1967), p. 134
 33) 佐藤: 日曹製鋼資料 (昭39-6)