



鉄鋼業と鋳物



千々岩 健 児*

Castings Used in the Iron and Steel Industry

Kenji CHIJIIWA

1. ま え が き

鉄鋼業には各種の鋳物がいわれている。表1はその例であるが、高炉、転炉、インゴットケース、加熱炉、圧延機など各所に種々の材質の鋳物がある。それは鋳物が、形状、性能、寿命、価格の点で他に比して優位である場合であつて、なかには溶接構造品や鍛造品などと競合状態にある場合もあるが、鉄鋼業にとって鋳物は重要な材料であることに違いない。

鉄鋼業に用いられる鋳物は比較的苛酷な条件下で用いられる場合が多い。そのため鋳物に対する要求もきつく、例えば高温、高圧に耐え、かつ寿命を要求されるなど、鋳物としては大変難しい分野となる。

従つて鋳造としては要求を満足するような材質の選定と、欠陥のない製品が肝要である。

ここでは幾つかの例をあげて製造上の問題点と対策技術について述べることにする。

2. 高炉の羽口・冷却板

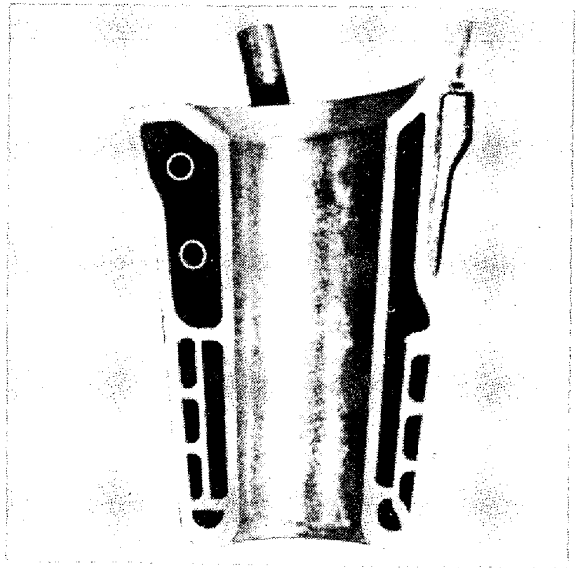
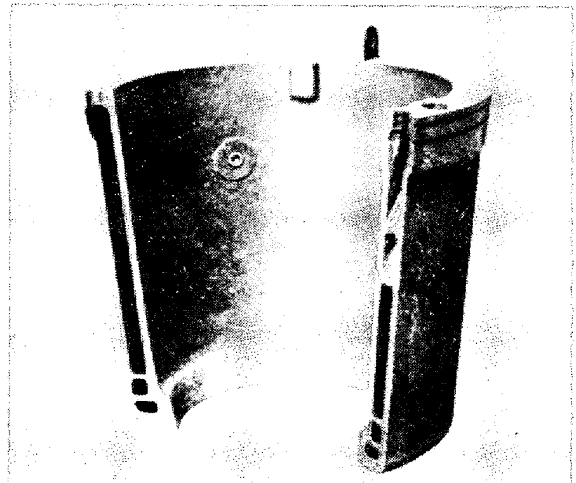
羽口および羽口冷却函(写真1, 2)は純銅鋳物で作られる。単一形状で製作が困難なものでは、複数の鋳物を溶接によつて組み合わせるか、鋳物を銅板や銅管と溶接して製作する。

純銅鋳物はその製造時に泡気を発生しやすく健全な鋳物が得られにくい。この気泡は溶銅中に吸収されていた水素・酸素が凝固過程において放出され水蒸気となる(水蒸気反応)ために生ずる。

また純銅の凝固様式はほとんど凝固温度範囲のないSkin formation typeであり、収縮量も、10.7%(体積)と大きいため、中子による凝固・冷却収縮阻止によつてき裂を発生しやすい。

①溶銅中に脱酸剤を添加して酸素量を低くし、更に真空脱ガスによつて水素量を減らし、水蒸気反応が生じにくいようにする。

②溶銅中に合金元素を添加し、高温強度を高めると同

写真1 高炉の羽口¹⁾写真2 高炉の羽口冷却函¹⁾

時に、凝固温度範囲を広げ、収縮量を少なくする。

③中子にクッション材を挿入し、銅の収縮を妨げないようにする。

昭和56年11月1日日本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演

* 東京大学工学部教授 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku 113)

表 1 鉄鋼業に使用されている鑄造品の例 (補機, 一般構造品を除く)

分類	鑄造品名	材 質	使用される理由	製造上の問題点と対策
高 炉	羽口, 冷却函 冷却板	純 銅 鑄 物	熱伝導率が高く, 水冷特性がよい.	ブローホール, き裂が発生しやすい. 脱酸剤添加や真空鑄造を採用する.
	高炉用ベル	高クローム鑄鉄 (2~3% C 15~30% Cr) 炭素鋼鑄鋼 (SC 46)	アブレーション摩耗に強い.	局部肉厚肥大部の引け巣防止, 鑄造時の浮力に注意する.
	スラグポット	炭素鋼鑄鋼 (SC 42, 46)	熔融スラグ耐侵食性が大きい.	鑄造時の浮力, 鑄込み速度に注意する.
転 炉	ランスノズル	純 銅 鑄 物	熱伝導率が高い, 耐 O ₂ 腐食性がよい	き裂が発生しやすい. 高温強度を高め, 収縮量を減らすため Zr 等微量元素を添加する.
造 塊	インゴットケース	ダクタイル鑄鉄 (FCD 40, 45)	高温耐酸化性, 耐成長性が優れている.	鑄造時の変形が大きい. 逆そりをつける.
		高炭素鑄鉄 (FC 15)	変形が少なく, 耐熱性がよい. 値段が安い.	化学成分に注意する. 設計形状に十分注意を払う.
加熱炉	ハースロール	耐熱鋼鑄鋼 (SCH 21 ほか)	耐酸化性, 耐高温クリープに優れている.	遠心鑄造で製作する. 結晶粒調整の溶解を行う.
圧延機	ロールスタンド	炭素鋼鑄鋼 (SC 42, 46)	値段が安い. 剛性が大きい.	焼着, 偏析, き裂が発生しやすい. 鑄造方案 (振り気, 肉厚部の引け巣防止, 内部チル使用) に留意する.
	ロールショック	炭素鋼鑄鋼 (SC 46)	同 上	肉厚部の引け巣防止の方策
	スリッパメタル	銅合金 (PBC, AIBC)	耐摺動特性がよい	PBC 合金では鑄造時の鑄込み温度, 速度に特に留意する. AIBC 合金は湯口に留意し湯が攪拌しないようにする.
	油膜軸受用 プッシング	Al-Sn 合金	軸受特性がよい	
	圧下めねじ	耐摩耗性銅合金	耐摩耗性がよく, 強度がある	
圧 延 機 用 ロ ー ル	熱間ストリップミル ワークロール 粗スタンド	{ 球状黒鉛鑄鋼 (C 1.4~2.4%) (Si 1.0~1.8%) アダマイト C 1.4~1.8%	耐き裂, 耐摩耗性がよい	溶製 (P スクラップ管理) 鑄造法 (吊り切れ防止) に注意する. 胴部の組織緻密化のため砂型から金型鑄造へ移行
	仕上げ前段スタンド	アダマイト C 1.4~1.8%	き裂, 肌荒れ摩耗に強い	
	仕上げ後段スタンド	Ni グレーン鑄鉄	摩耗, スポーリング, き裂に強い	中抜き鑄造より遠心力鑄造へ移行
	熱間ストリップミル バックアップロール	Cr-Mo 鑄鋼 (C 0.8~1.4%) (Cr 0.8~1.2%) (Mo 0.2~0.5%)	耐摩耗性がよい	内部欠陥のない鑄造法, 残留応力を最小にする鑄造法 熱処理法を採用する
	分塊ミル用ロール	Cr-Mo 鑄鋼 球状黒鉛鑄鋼	熱き裂に強く, 靱性がある	Mg 添加, 鑄造技術の向上をはかる
	厚板ミル用 ワークロール バックアップロール	Ni グレーン鑄鉄 Ni-Cr-Mo 鑄鋼 (C 0.4~1.4%, Ni 0.5~1.0%) (Cr 1~3%, Mo 0.3~0.5%)	耐摩耗性がよく, 靱性がある	中抜き鑄造から遠心力鑄造へ移行 内部欠陥のない鑄造, 残留応力最小の熱処理を行う
	形鋼ミル 大型用 H型用	Ni グレーン鑄鉄 Ni-Cr-Mo 鑄鋼 Ni アダマイト鑄鋼	耐摩耗性がよく, 靱性がある 強度が高く, 耐摩耗性がよい. 靱性がある	カリバー鑄出し技術が重要 遠心力鑄造複合ロールの製作技術が重要

などの注意が必要である.

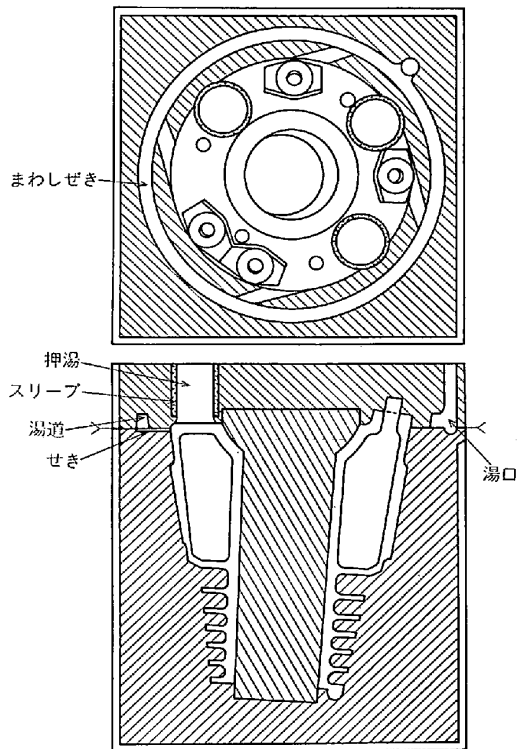
図 1 は羽口の鑄造方案図である. 収縮量が大きいため発熱スリーブ付の押湯を使用し, また, のろかみ不良の防止, 均一温度の溶湯配分のため, まわしぜきを採用している.

写真 3 は高炉の冷却板である. この冷却板は高炉の炉壁のれんがの間にはめ込み, その周辺部を冷却して炉壁の溶損を防止する. 純銅の熱伝導率が他金属に比較して高く, 熱疲労に対して強いために用いられる. 99.5%

Cu 以上の材質で, 冷却水流路を有する複雑形状の鑄物が作られている. この鑄物の鑄造にも羽口同様の注意が払われる.

3. 転炉ランスノズル

転炉のランスノズルは 99.9%Cu 以上の純銅鑄物で, 写真 4 に示すような複雑な形状をしている. このノズルは高温にさらされるので, 溶損を防ぐため, 水で冷却している. そのため複雑な形状になつている. この鑄物も



鋳込み条件：鋳込み温度 1200°C前後、鋳込み時間 10~15 s

図1 羽口方案図

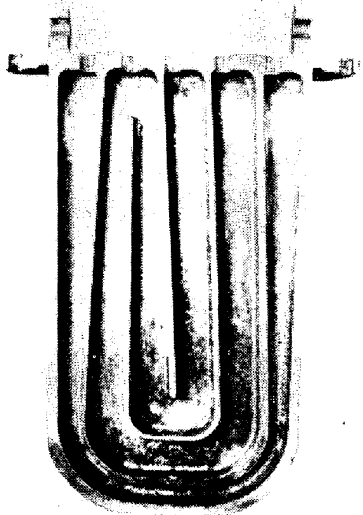


写真3 高炉の冷却板¹⁾

欠陥が生じやすいので、羽口の項で述べたような注意を払って製造する。

4. ロール

鉄鋼の圧延に用いられるロールには鋳鉄、鋳鋼、鍛鋼製などがあるが、圧延の急激な大型化、高速化に伴い新しい材質の鋳造ロールすなわちダクタイル鋳鉄、アダマイト、合金鋳鋼、黒鉛鋳鋼などが開発されてきた。また製造法をくふうして性能の向上をはかった複合ロール、

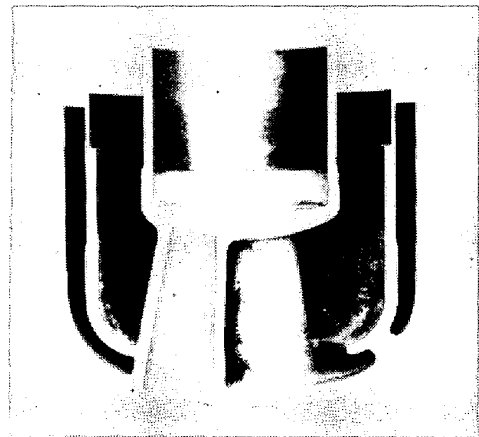


写真4 転炉ランスノズル¹⁾

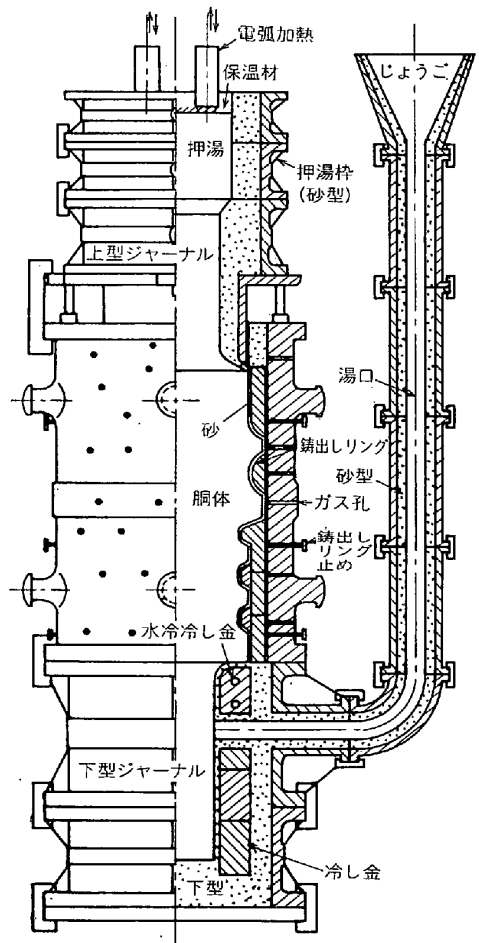


図2 鋳鋼ロールの鋳造法(一体鋳造法)⁴⁾

遠心鋳造ロールなども開発された。

4.1 鋳鋼ロール

鋳鋼ロールは強靱であるが、比較的柔らかいため、圧延荷重が大きく、また熱的負荷の大きい分塊ロールや熱間圧延用粗ロールに多く用いられる。冷間圧延用バックアップロールに用いることもある。製造に当たっては耐摩耗性、耐熱性を保持できるように、配合材料、鋳造欠陥の防止が重要である。低燐、低硫鉄ならびに良質鋼材の

使用, 不活性ガス吹き込み等による脱水素処理, 脱酸, 脱硫による偏析防止などを行う必要がある. 出鋼時の溶鋼中の不純物は $H_2: 0.00026\%$, $O_2: 0.00667\%$, $N_2: 0.006\%$, サンド: 0.02% 以下を目標としている.

鑄造はたて鑄込みで行い, 湯口は押し上げ方式をとっている. 図 2 はその一例であるが, 一般にはチルブロックやチリングを積み上げるか, 金型を用い, その内面に $15\sim 30\text{ mm}$ の砂をつけ, 特殊な塗型を施す. 湯口は切線方向に切り, 不純物を押湯部に浮き上がらせるようにする. また凝固が一方凝固となり, 押湯部が最終凝固位置になるよう押湯の大きさ, チルの配置等を考えている.

最近では有限要素法を用いて押湯やチルを決めるコンピュータ計算が実施されている.

金型を用いると冷却速度が速いのでロール内部の鑄造応力が大きくなる. そのためロールが割れるおそれがあるので, 鑄込み後凝固までは急冷し, その後は緩冷するようにする.

ロールは鑄造後熱処理を行い, 強靱性および硬度を付与する. これにより残留応力が除去され, 鑄造組織が均質化され, ロール胴部硬度分布がショア硬度で 5° 以内になされる.

4.2 アダマイトロール

アダマイトロールは化学成分が $C: 1.3\sim 2.3$, $S: 0.4\sim 0.8$, $Mn: 0.8\sim 1.0$, $Mo: 0.3\sim 0.5$, $Ni: 0.5\sim 2.5$, $Cr: 1.0\sim 4.0\%$ で, 鑄鉄と鑄鋼の中間的成分を有している.

白鉄組織が一般的であつて, ロールの表面から内部に至る硬度変化がきわめて少ない. 耐摩耗性, 耐肌荒れ性が特に要求されるところで使用され, 通常 H_s は $35\sim 55$ であるが特殊元素を添加したものは 70 以上である.

鑄鋼ロールより耐摩耗性に優れていて, 特にカリバー底の耐摩耗性に優れている. 鑄放しのままでは非常に脆いので拡散, 球状化, 焼準, 焼もどしの $3\sim 4$ 段の熱処理によつて組織の改善を行い強度を出すようにする.

鑄造白鉄組織粒度は非常にあらく, ヒートクラックが共晶セメントをぬつて走り, 大きな蜂巣状のクラックとなり肌荒れの原因となる. これを防ぐため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, 鑄造組織を小さくし, マッシュ炭化物の分断, 分散をはかる.

球状黒鉛を組織中に析出させ, 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外殻層をアダマイト, 内部を鑄鋼やダクタイルにした複合ロールまたはスリーブロールも作られている.

4.3 鑄鉄ロール

圧延に用いられる鑄鉄ロールにはチルドロール, グレノロール, ダクタイルロールがある.

チルドロールはロール表面がチル組織であり, 内部は

パーライト組織である. チル層は普通パーライト基地と共晶セメントからなつているが, 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ベーナイト, マルテンサイトなどになつている.

硬度はショア $55\sim 85$ で耐摩耗性に優れ, 圧延鋼材の仕上がり肌が美しい. しかし繰り返し衝撃値が低く, 脆いのが欠点である.

グレノロールはチル層の中に黒鉛の微粒を分散させ靱性を与えたものである. チルドロールに比較して熱衝撃に強く, 熱き裂やスポーリングなどを発生しにくい.

ダクタイルロールは黒鉛を球状化し靱性を持たせたロールである. ロール表面は球状黒鉛と共晶セメント組織よりなつていて, 硬度を高くするためには, Ni , Cr , Mo 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トとの比を変化させる方法ととられている. また特に強靱性を要求される場合には特殊な熱処理を行う.

外周から内部へ向かつての硬度低下が少なく, 機械的性質が優れているので, カリバーロール, 熱間圧延ロールなどに使用される.

4.4 ロール鑄造法

ロールの鑄造には①ロール全体を一体で鑄造する一体鑄造法, ②ロール表層部と内部との成分を変えて鑄造する中抜き鑄造法, ③遠心力を利用する遠心力鑄造法がある.

4.4.1 一体鑄造法

一体鑄造法は鑄型をたて下方より溶湯を押し上げて鑄造する方法である. ロール胴部は金型, ウォブラー部は砂型で作られ, 上部には押湯部を設ける. 湯口は切線方向に切り, 溶湯が鑄型内で回転運動をしながら上昇するようにする. 溶湯の回転によつてのろや不純物を上方に押し上げるためである. 鑄込み速度は溶湯が適当な速度で回転し, のろを浮き上がらせるよう比較的高速にする.

4.4.2 中抜き鑄造法

a. 通常の中抜き鑄造法

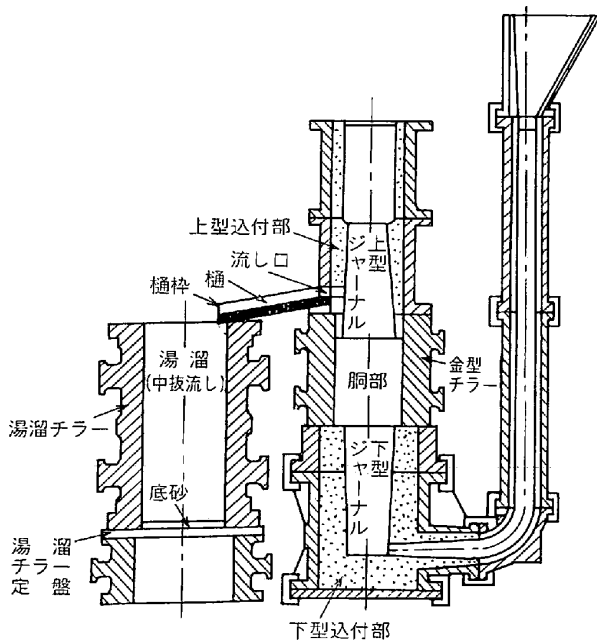
中抜き鑄造法は鑄型はほぼ一体鑄造法と同じであるが, 上部に溶湯流し口, それを受ける湯溜りを設けて鑄造する (図 3). まず, 外殻部に適する溶湯を鑄込み, 胴部が一定厚さ凝固するまで待つ. 次に内部に別の材質を鑄込み, 未凝固の中心部溶湯を湯溜りに流し出す.

一定時間ののち鑄込みをやめ, 流し口を閉じ, 押湯部に溶湯を満たし, 全体を凝固させる.

この方法によれば外周部は高硬質の材質, 内部は靱性のある材質とすることができる. しかし, 内外材質の化学成分, 中抜き量に注意を要し, また, 鑄造歩留りが悪い.

b. ホット・バルブ法

中抜き鑄造法を改良した方法に $H\cdot V$ 法 (ホットバルブ法) がある. この方法は下注ぎ法で外殻溶湯を鑄込

図3 中抜き铸造法⁴⁾

み、外殻層を凝固させたのち、下部バルブを開いて未凝固の溶湯を流し出し、その後再びバルブを閉めて芯材を鑄込む方法である。流し出す溶湯は芯部のみでよく、また、この溶湯は芯材と混合しない。従つて回収することができる。

4.4.3 遠心力铸造法

遠心力铸造法は鑄込みの際鑄型を回転させ、溶湯を遠心力によつて加圧し健全な鑄物とする方法であるが、この方法で外殻部を作り、続いて中心部に別の溶湯を適当な方法で注入しロールを作るものである。

遠心力铸造を行う場合、軸方向が水平、たて、傾斜の3方法がある。

a. 水平型遠心力铸造法

水平型遠心力铸造法は水平軸回転金型で外殻層の鑄込みを行い、完全凝固後、金型を垂直に立てて、その内部に芯材溶湯を鑄込む(図4)。外殻層と芯材との溶着が完全に行われるように、外殻層内面温度と芯材の鑄込み温度との関係が重要である。

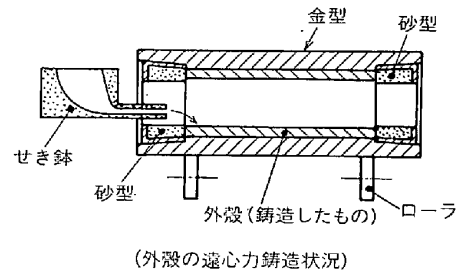
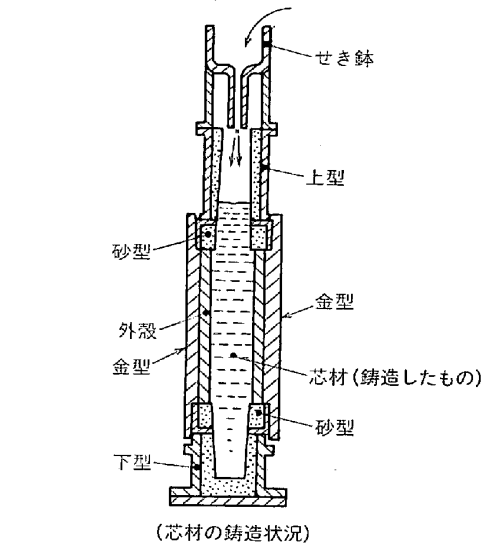
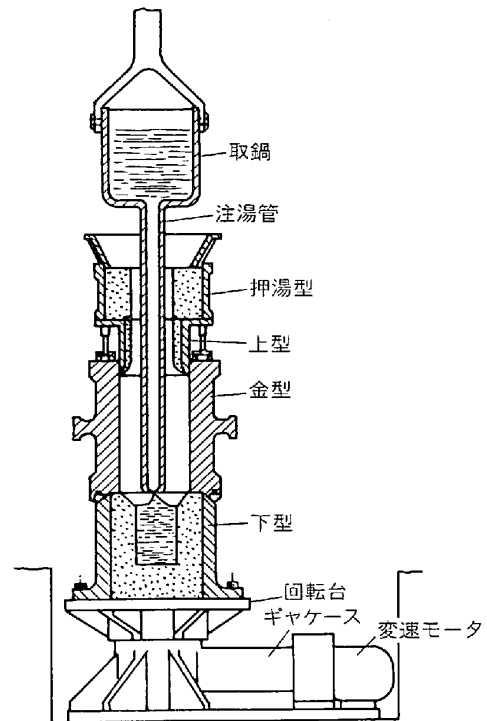
b. たて型遠心力铸造法

たて型遠心力铸造法は垂直軸のまわりに鑄型を回転させ、外殻層の鑄込みを行い、完全凝固または半凝固状態で芯材の溶湯を鑄込み凝固させる方法である(図5)。

胴の長さが短いものに適するが、胴長の長い板圧延ロールも技術の進歩によつて製作できる。

c. 傾斜型遠心力铸造法

傾斜型遠心力铸造法は鑄型を水平に対し $20\sim 30^\circ$ の傾斜状態で回転させ、外殻層を鑄造し、そのすべてまたは大部分が凝固した状態で芯材の溶湯を鑄込み、両者を溶着させて一体とする方法である(図6)。内面が完全に凝固しない状態でも芯材の鑄込みが可能である。

図4 水平型遠心力铸造法¹⁷⁾図5 たて型遠心力铸造法⁴⁾

d. 遠心力铸造ロールの性能

図7は遠心力铸造ロールと中抜き铸造ロールの内部硬度を比較したものである。遠心力铸造の方が使用層部の硬度低下が少なく、小径段階まで耐摩耗を維持すること

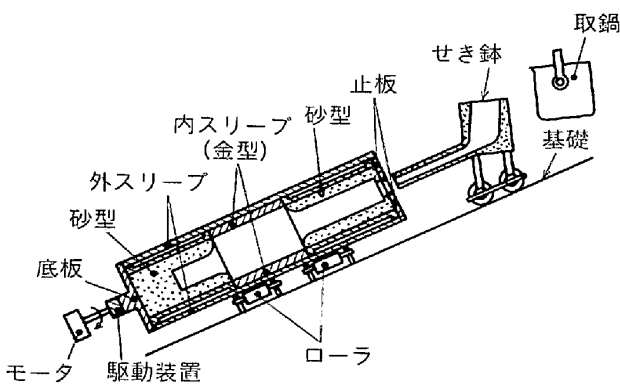


図 6 傾斜型遠心力铸造法¹⁷⁾

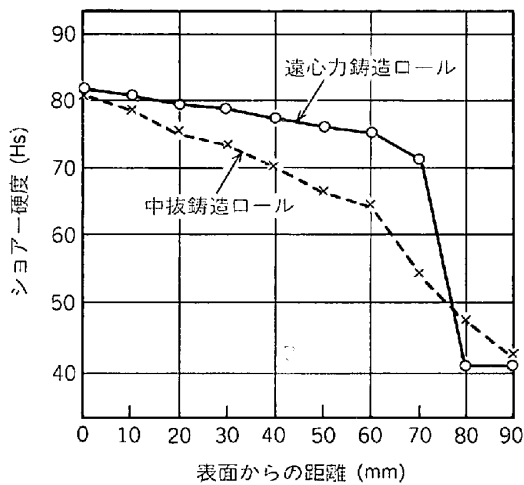


図 7 遠心力铸造ロールと中抜铸造ロールの内部硬度の比較¹⁷⁾

を示している。

遠心力铸造ではその回転数が一定以上であることが重要で、低速回転铸造を行うと炭化物が層状に偏析したり、肌荒れむらを生じたりする。そのためGナンバ(遠心力と重力との比)が管理されている。

また外殻層と芯材の溶着が確実に行われることが重要で、芯材铸込み時期、铸込み温度、铸込み速度などの管理が必要である。水平型遠心力铸造で外殻内面の温度保持、酸化防止にほう砂をフラックスとして使用している。

遠心力铸造ロールはホットストリップミルの前・後段仕上げワークロール、小型形鋼粗ロール・仕上げロールなどに用いられ、外殻層は高合金グレン、アダマイト、特殊アダマイト、芯部は高級铸铁、ダクタイル铸铁を用い、寿命を大幅に伸ばすことに成功している。

5. インゴットケース

インゴットケースはねずみ铸铁およびダクタイル铸铁で作られている。

ねずみ铸铁は安価である割合に高温に耐え、高温変形も少なく、熱伝導率が高く冷却性能がよい。

ダクタイル铸铁はねずみ铸铁よりも耐酸化性、耐成長性が優れているため寿命が長く、かつ機械的強度が高く靱性もあるので肉厚を薄くすることができる。

インゴットケースの寿命はクラッキング、クレージング、溶損、変形などによつて決まる。溶湯とケースとは接触して高温となるためクレージング、溶損などが発生する。また、ケース各部の温度は不均一であり熱応力が生じ、かつ急熱・急冷により繰り返り熱応力が発生することによつて、クラッキング、クレージング、変形などが生ずるとされている。

特にダクタイル铸铁では使用回数が増すにつれて長辺部のケース内面がふくらむ、いわゆる「そり」変形が生じ、引き抜きが困難になる現象が生ずる。

これらの寿命対策としては化学成分の調整、形状、肉厚に対する考慮がはらわれている。

例えばダクタイル铸铁ケースに対して耐熱性を持たせるためCを高めにし、大型ケースでは割れ防止のためフェライト地とする。小型ケースでは耐熱性を重視してパーライト地の多いブルスアイ組織にする。また特殊鋼用としては耐熱性向上のため Ni, Cr, Moなどを添加する。

また形状としては、ケースとインゴットの断面積比および長辺と短辺との肉厚比を熱応力的に最も有利なように選んで形状を求める方法がとられている²⁷⁾。

インゴットケースの製作に際してはたて込めにし、雨堰(せき)または押し上げ堰を用いて注入する(図8, 図9)。铸物の肉が厚いので低温(1200~1300°C)、高速铸込み(大型ケース 130~200 kg/s, 中型ケース 50~130 kg/s, 小型ケース 16~80 kg/s)にする。

雨堰を用いるのは全体が一様に満たされ均質な組織となるようにするためである。一般に押し上げ堰よりも雨堰の方がよいとされている。

6. ロールスタンド

圧延機の大型化に伴い、製品重量 400t 程度の超大型ロールスタンドが製造されるようになってきている。この铸

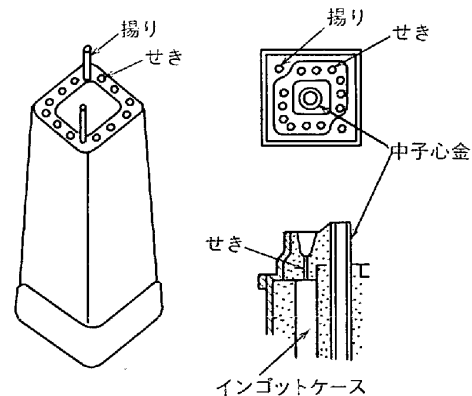


図 8 インゴットケースの铸造方案(雨せきの場合)²⁵⁾

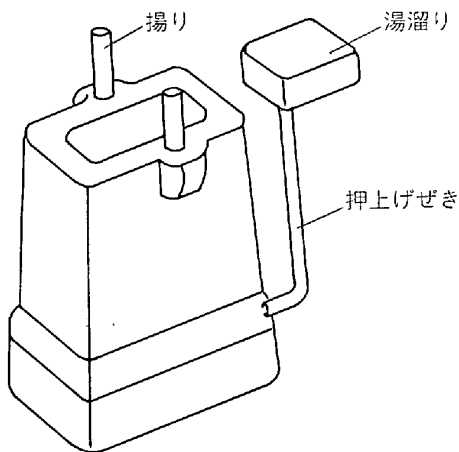


図9 インゴットケースの鋳造方案
(押し上げぜきの場合)²⁵⁾

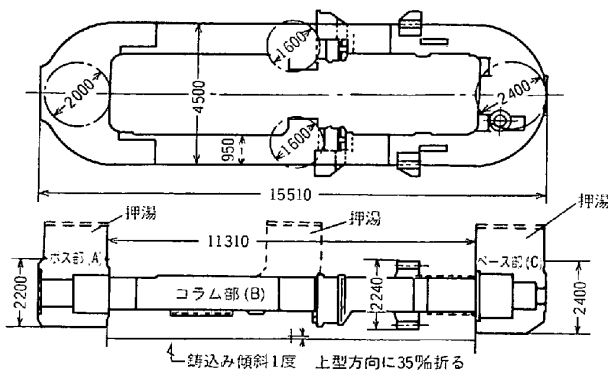


図10 超大型ロールスタンドの鋳造方案²⁶⁾

込み重量は 550t 前後となり、造型、溶解、鋳造各工程において留意すべき点が多い。

図10は超大型ロールスタンドの鋳造方案の一例であるが、余肉、冷金、押湯などの位置・大きさに十分な注意が払われている。すなわち外型および中型型は砂付き25mmの冷し金ではほぼ全周を囲み、ベース部、ボス部、コラム部両側に押湯を設け、凝固のひけを防止している。

また凝固に伴う化学成分や各種ガス類の濃化偏析を、炭素量を低目にした差し湯を行うことによつて防止している。

また上型の肌砂が長い間高温の溶湯にさらされ、弱くなること(照らされと言う)を防ぐため高温に強いクロマイトサンドを主体とする有機自硬性砂を使用している。

注湯は照らされを防ぐため比較的低温(1540~1550°C)の溶湯をできるだけ速く流し込む。

このような大型鋳物になると鋳込み終了時に受ける上型の浮力も非常に大きく(例えば約300t以上)なるので、それに打ち勝つ重錘をのせる必要がある。

またこのような鋳造方案で鋳込んだ場合、両端のボス部およびベース部が持ち上りV字型に変形するので、中

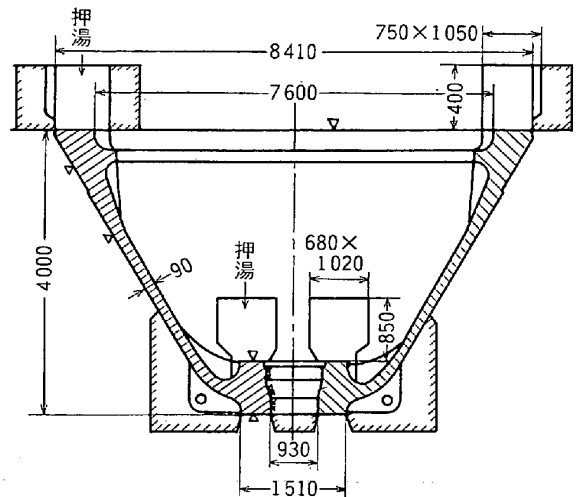


図11 大ペル鋳造方案図²²⁾

央部は両端のボス部およびベース部より約30mm程度凸字型になるように造型し、鋳造後の変形と相殺するようにくふうする。

7. 高炉用大ペル

この鋳物は通常SC46などで作られるが鋳放し重量で120t、鋳込重量170t以上のものもある。そのため大型鋳物としての問題点すなわち、偏析・砂焼着、変形などが問題となる。また鋳造時に大きな浮力が生じ、その対策に苦勞する。例えば図11に示す方案では浮力が1000t以上になり、これを受けるため特別なくふうが必要である。同時に中子の自重も非常に大きくなるので、この保持に考慮が必要である。

8. あとがき

本稿では鉄鋼業に用いられる鋳物の幾つかについて記述した。

鋳物は材質や溶解条件だけでなく、形状や鋳造技術によつて、そのでき栄えが左右される。従つて鉄鋼関係者もこの点に十分な理解を示し、鋳物が十分な性能を発揮できるように、使用面においても設計面においての御支援をいただきたい。

。本稿を草するには当たり、久保田鉄工(株)：広塚堯、後藤合金(株)：上野晴信、新日本製鉄(株)：森本磨瑛雄、(株)日本製鋼所：竹中康雄、(株)日立製作所：清水貞一の諸氏より資料の提供を受けた。厚く御礼を申し上げる次第である。

文 献

純銅鋳物

- 1) 後藤合金(株)カタログ
- 2) 鶴飼直道・上野晴信・塚本 守：鉄と鋼，62(1976)9，p. 1151
- 3) 非鉄合金鋳物(鋳造技術講座，5)(1967)，p. 109 [日刊工業新社聞]

ロール

- 4) 宮下格之助：鉄と鋼，57(1971)5，p. 696

- 5) 中村正則: 日本製鋼所技報 (1959) 1, p. 17
 6) 吉沢 勇: 同上 (1969) 26, p. 3017
 7) 田部博輔, 鈴木是明: 同上 (1969) 26, p. 3024
 8) 鈴木是明: 同上 (1969) 26, p. 3074
 9) 関本靖裕, 福島正武: 日立評論, 56 (1974) 10, p. 989
 10) 蜂須幹雄, 安齊栄太郎, 黒沢忠男, 益子厚美, 根本 正: 同上, 50 (1968) 6, p. 558
 11) 安齊栄太郎: 鑄鋼と鍛鋼 (1978・12) 310, p. 15
 12) 小平 博, 堀 正夫, 矢中棣二, 小西 悟, 齊藤弘道, 木村卓央: 製鉄研究 (1973) 278, p. 10552
 13) 新日鉄報告書: Hot Strip Mill Rolls (1980・4~30)
 14) 同 上: Characteristics of Centrifugally Cast Plate Mill Work Rolls. (1980・5)
 15) 特殊鑄鉄鑄物 (鑄造技術講座, 4): (1967), p. 236 [日刊工業新聞社]
 16) 鉄鋼便覧 第3版Ⅲ(2) (日本鉄鋼協会編) (1980), p. 748 [丸善]
 17) 中村史朗, 福田昌弘, 中川義弘, 加藤正幸, 橋本隆: 第9回日本鑄物協会シンポジウム資料 (鑄造複合材料とその製造技術) (1981・1)
 大物鑄鋼品
 18) 中村正則, 岡島 博, 秋本 宏: 日本製鋼所技報 (1965) 18, p. 1983
 19) 小林啓二, 村田政司: 鑄鋼と鍛鋼 (1976・5) 275, p. 17
 20) 中川義隆: 鑄鋼と鍛鋼 (1975・11) 268, p. 33
 21) 鑄鋼品の方案図集 (日本鑄鋼会編) (1968), p. 139
 22) 真尾健三: 鑄鋼と鍛鋼 (1980・12) 335, p. 16
 23) 呉松 進: 鑄鋼と鍛鋼 (1981・2) 338, p. 15
 24) 日本鉄鋼協会鉄鋼設備分科会資料 (第17回) (1977・12)
 鑄 型
 25) 鑄物便覧, 改訂3版 (日本鑄物協会編) (1973), p. 970 [丸善]
 26) 鉄鋼便覧, 第3版Ⅱ (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 579 [丸善]
 27) 木下晴雄: 学位論文 (1981)