

## 3. 鑄物

### 3.1 鑄物に関する理論と技術の展望

#### 3.1.1 緒言

鑄物は溶解して得た金属溶湯を鑄型に注入して凝固させて製造され、その技術は数千年も前から存在していたことは今さらいうまでもないが、鑄物製造技術の近代的発層は今世紀に入ってからである。機械工業の進歩と並行して鑄物工業も進展し、鑄造品の利用範囲も広汎となり、その生産量も逐年増加の一途を辿ってきた。最近数年間の各種鑄物の生産量は表 3.1.1 に示すようであり、鑄鉄鑄物の如きは年産 300 万 t に近づきつつある。

表 3.1.1 最近の鉄鋼鑄物生産量 (t)

昭和 種類	34 年	35 年	36 年	37 年	38 年
鋼 鑄 物	280,543	362,528	444,802	379,183	392,968
普通鑄鉄	1,358,420	2,053,080	2,403,589	2,119,373	2,114,699
強靱鑄鉄	125,053	182,007	256,588	366,551	422,480
可鍛鑄鉄	100,118	129,044	155,346	161,658	173,472

鑄物技術は広範囲の専門技術の総合されたものであり、金属、機械、応用化学、計測などの各分野に関係するので、鑄物に関する理論、技術は甚だ多岐に涉り、短篇としては盛りにくい。従つてここでは鑄造技術に直接関係の深い分野に限つて層望することとし、鑄造基礎理論、鑄造金属材料、溶解法、鑄型および造型法、特殊鑄造法などに触れたい。

#### 3.1.2 鑄造基礎理論

鑄造に関する基礎理論としてはまず金属および合金の凝固現象に関連するものがあり、融液中の核発生とその成長について理論的考察が最近十数年の間に行われるようになった。すなわち核生成速度と過冷との関係、均質核生成と不均質核生成の機構、核の成長機構などについての理論が Turnbull らによつて層開されている。さらに鑄型内に注入された融液金属が凝固して鑄造組織が生成される金属組織学的な研究も最近漸く盛になり、柱状晶、固溶体合金の粒状晶、共晶組織などの生成現象などに関してもかなり詳細な考案が加えられるようになった。しかし金属融液が不透明であり、高温での現象であることなどにより実際上の組織生成過程の観察はかなり困難であり、この種の研究が今後続けられるであろう。

さらに鑄造工学的な基礎理論分野としては凝固収縮に対する溶湯補給機構、それに深い関係のある引け巣発生機構についての理論が今次大戦後数多く提示され、さらにこれに関連して引け巣発生防止の基礎的な研究も Pellini らの鑄鋼を中心とする成果が示されて以来、指向性凝固実現のための押湯、チル、肉厚勾配などの効果が多

くの研究者により研究され、鑄造工学の進歩に大きく寄与した。これらの課題は合金種別にさらに実際的な多くの研究資料が蓄積されてゆけば鑄物の健全性確保のために貢献することになる。

また鑄型内の凝固過程をマクロ的に考えてその凝固速度を熱伝導論的に求めようとする研究も最近はかなり行われ、とくに電子計算機の利用による解析研究もごく最近行われるようになった。また鑄型の湯口系での溶湯の流体力学的研究もみられ、砂粒のすくわれ防止、溶湯中への空気捲き込み防止、適正鑄込速度の計算などに寄与している。その他溶湯の流動性に関する金属組織学的研究、鑄造時は発生する鑄造歪、それに関連する高温亀裂発生、歪除去などの理論または実験的研究もかなり発表され、これらの分野での最近の理論の進歩もみるべきものがある。

#### 3.1.3 鑄造金属材料

鑄物として利用される鑄鋼、鑄鉄の材質の進歩をごく簡単に触れよう。まず鑄鋼としては一般に普通鑄鋼が使用され、最近とくに注目するほどの進歩が認めら

れないが低イオン、低水素レベルの鑄鋼の開発が企画されている。また低合金鑄鋼では耐摩耗性のすぐれた Mn-Mo 鋼の開発、高張力鋼の鑄鋼としての利用などが最近行われている。高合金鑄鋼としてはステンレス鋼、耐熱鋼があるが、最近は 17-4 pH のような析出硬化性ステンレス鋼と鑄造品用に利用される。

次に鑄鉄の進歩を顧ると、今次大戦後の材質的進歩にとくに著しいものがあり、いわゆる強靱鑄鉄として各種のものが登場した。片状黒鉛鑄鉄でも、溶解炉の進歩と溶湯接種によつて  $\sigma_B$  30 kg/mm<sup>2</sup> 以上のものが安定に生産されるようになった。従来の鑄鉄の 2~3 倍の強さをもつ球状黒鉛鑄鉄が戦後間もなく開発され、その生産量も逐年増加しつつある。その他共軛黒鉛鑄鉄、還元スラグ処理鑄鉄、石灰窒素処理鑄鉄なども強靱鑄鉄として現われ、利用される。可鍛鑄鉄に関しては従来主として黒心または白心可鍛鑄鉄が使用されたが、自動車部品用として強度向上が必要となり、パーライト可鍛鑄鉄も多く利用されるようになり、JIS にも規定された。

#### 3.1.4 溶解法

鑄鉄溶解法で大きな進歩は学振第 24 委員会協力研究として行われた酸素吹精法の採り入れであり、昭和 27 年にはその作業標準で作製され、安定確実な沸騰精錬がこれによりできるようになり、鑄鋼品質向上にも寄与した。その他真空脱ガス法の応用、大型鑄鋼用としての純酸素転炉の利用などが試みられ、また生産されている。

鑄鉄の溶解には現在もなおキューボラが大部分利用されるが、キューボラ構造に比較的最近において大いに改良が加えられ、羽口への送風系構造の改善による平衡送風、

前方除滓口の設置による連続出湯、送風予熱と炉腹水冷の組合せによる耐火物の保護などが主なものである。また最近ではコークス以外の燃料として重油、天然ガスの併用または単独使用についても関心が払われ試験が行われている。キューボラ以外に最近では低周波誘導加熱溶解炉もかなり利用されるようになり、その長所も確認されている。冷材を低周波炉へ直接装入するかわりにキューボラで溶解した溶湯を低周波炉に入れて昇温と成分調整を行う二重溶解法も行われている。

### 3.1.5 鑄型および造型法

鑄鋼は鑄込温度が高く、鑄型に対する要件が多く、鑄鋼を中心とした鑄型の試験、研究が戦後活発に行われ、鑄型の進歩はめざましいものがある。たとえば鑄鋼表面の砂の焼着、鑄型の高温性質などに対して多くの研究成果がみられる。鑄鉄用鑄型は小型品以外は乾燥型を従来使用したが、戦後米国でいち早くかなり大型品にも生型の利用が普及し、わが国でもこれに注目し、学振を中心にして鑄鋼用鑄型の生型化の協同研究が行われ、生型普及が実現されたことは記憶すべきである。

鑄型の種類としては生型と乾燥型の普通砂型が広く使用されてきたが、これらは粘土類を粘結剤とするものである。ところが戦後粘土類以外の粘結剤の研究が盛に行われ、新種の鑄型が開発され実用化された。これらは粘結剤の化学的反応による鑄型硬化現象を利用するものである。戦後いち早くわが国に紹介され注目されたのがシェルモールドで、フェノールレジン粘結剤としてこれを加熱重合させ硬化させた砂型で、鑄肌、寸法精度よく、量産のきく比較的高級品用として大いに普及した。またそれに続いて水ガラスを砂に配合し、造型後  $\text{CO}_2$  ガスを通気して硬化させる  $\text{CO}_2$  プロセスも、その簡便、良好な耐すくわれ性と寸法精度などの理由でたちまち広く利用され好評を得ている。水ガラスとフェロシリコンとの混合物を粘結剤とする砂型は造型後放置すれば化学反応を起し発熱し、硬化するので、これを利用した発熱自硬性鑄型(Nプロセス)も最近開発され、普及しようとしている。その他常温自硬性あるレジンなどを利用するエヤセッチング法なども一部で使用される。他方精密鑄造用としてロストワックス法があり、磁鋼、小型機械部品に利用され、独特の分野を示している。また最近、気化性発泡ポリスチレンを模型として鑄型内にこめて、鑄造するとポリスチレンは気化し、鑄型に湯が満される現象を利用するフルモールド法もドイツから紹介されたが、球形押湯などとして良結果が期待されている。

造型装置の最近の傾向としては寸法精度向上と作業速度増加に着目した改良機が製作され、スピードモルダ、スタックモルディング機、モールドマスタ、スリステーションマスタなどが利用されるようになった。また最近では高圧造型機も実用期に入っている。その他鑄造機械装置に関し大きな進歩は砂処理装置であり、高速化、大型化された鑄物砂プラント、古砂再生装置、集じん装置がそれである。

### 3.1.6 鑄物の検査法

鑄物の欠陥の有無大小を検査する技術も最近では進歩

し、各種の方法が開発された。とくに鑄物内部欠陥の非破壊検査法としては従来のX線透過法以外にガンマ線透過法もかなり利用されている。その他表面欠陥の検査には蛍光探傷、磁気探傷などの方法が採用されるようになった。また戦後は鑄肌測定が要求されることがあり、それについてのJISも規定されている。

## 3.2 鑄鋼技術

### 3.2.1 鑄鋼界の概況

鑄鋼の生産は鋼の溶解が実用的に可能となつて以来のことであり、わが国の鑄鋼は八幡、室蘭の製鉄所の一部門として創業されてより約80年をかぞえる程度で、他種鑄物例えば鑄鉄、銅合金鑄物に比較すれば歴史は浅い、明治の頃は官需、軍需用に生産されたが、明治末期より民需も加わり、鑄鋼工場数も増加し、今次大戦までに約300をかぞえるまでになつた。戦後は民間工場だけになり、今日では104社173工場が操業している。そのうち107工場が兼業工場(鉄鋼、造船、車両など)であり、残41社が専業工場である、これら工場の規模は大体において兼業工場の方が大きく生産も多いが、全体的にみて従業員100~300人程度の工場が約半数を占めている。

工場設備の近代化も近年急激に実施され、炉頂装入電気炉、酸素吹精、鑄物砂の迅速混練機、高性能各種造型機、砂落し機、塵砂回収装置、仕上研磨、各種検査装置、除塵装置など数多くの設備が整備され、成品の品質改善、原価低減に効果をあげてきた。戦前の生産性をみるに1人当り1t/月であつたのが、最近では2t/月に向上した。

次に生産需要の面についてのべると、鑄鋼生産は戦後わが国の工業生産が復興し、発展するとともに大幅な増加を示し、各種機械、土木関係、鑄鋼生産機器、ロール、船舶、車両、窯業、自動車、電力、化学工業など広い需要を有する、鋼種別にいえば約7割が普通鋼であり、その他耐食、耐熱、耐摩耗用などのそれぞれの目的に適合する特殊鋼が3割を占める。さらに最近では機械の性能向上あるいは軽量化のために高張力鋼の鑄造品も製造されるようになり、将来の発展が期待されている。最近の鑄鋼生産量は年間約45万tとみてよく、月別生産実績の推移を図3.2.1に掲げるが、かなり景気調整の影響を受けている。また表3.2.1に最近の各種需要部門別

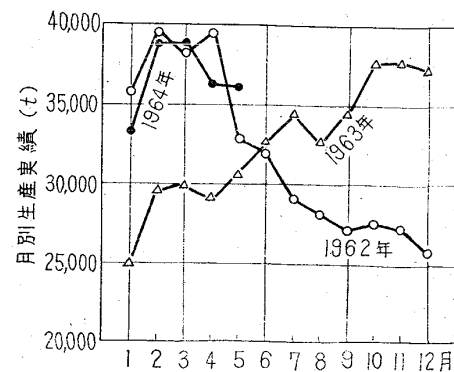


図 3.2.1 最近の鑄鋼月別生産実績

表 3・2・1 最近の鋳鋼の需要 (単位 t)

需要部門	昭和 38 年度	同 39 年度見通し
船舶	45,313	62,600
鉄道	38,522	43,700
自動車	21,482	28,300
鉄鋼	54,983	54,900
ロール	39,901	46,900
機械工業	59,611	62,400
電力	12,329	15,100
土木	76,510	79,700
化学	11,482	12,400
その他	65,587	63,800
合計	425,720	469,800

の鋳鋼需要を示す。

鋳鋼需要面の最近の動向をみるに、溶接技術の発達に伴って鋼材の溶接によるビルトアップ成品が一部の鋳鋼成品を代替し、とくに軽量化の要望される車両、船舶の方面でかなりの影響を受けている。しかし従来一体で鋳造された鋳鋼品を分割して鋳造し、鋳造品同志または鋳造品と溶接構造品とを溶接組立することも可能となつた。こうすることにより、一体鋳造の場合に生じた鋳造品の欠陥を避けることができ、また軽量化を図ることができる。また球状黒鉛鋳鉄の普及により鋳鋼の分野への進出もはじめは予想されたが、その特性の相違によりその代替はそれ程多くはないようである。他方鋳鋼の製造技術の進歩による性能向上は、需要者側の信頼度を高め、鍛鋼品などに代替する例もかなりみられ、最近の鋳鋼需要分野は 10 年前のそれと比較して変化が認められる。

### 3・2・2 鋳鋼の溶解技術

わが国での鋳鋼用溶解炉としては塩基性電弧炉が約 90% を占め、その他とくに大型鋳物の場合には平炉、また小型合金鋳鋼用に高周波誘導炉が使用される。スクラップ事情の良好な米国では酸性電弧炉が多く利用されている。英国では鋳鋼用にキューポラー転炉法がかなり多くの工場で採用されていたが、近年電弧炉へ転換されつつあるようである。その第 1 の理由としては大気汚染防止の義務づけにより除塵設備を転炉に付けるためには大きな経費を要することにある。

鋳鋼に適合する電弧炉精錬法の主要目的は徹底的に脱酸および脱ガスとくに脱水素を行うことにある。電弧炉製鋼の特色はかつてはカーバイド滓による還元期での脱酸にあると思われたこともあつたが、今次戦争中にドイツ式製鋼法がとり入れられ、酸化期での沸騰精錬による脱ガスを重視するようになった。そして還元期では弱カーバイドまたは白滓仕上として極力ガスの吸収を防止する方法をとることになった。戦後、学術振興会第 24 委員会第 1 分科会では改めて電弧炉溶解作業法について検討を重ね、昭和 25 年には「鋳鋼電弧炉溶解作業標準<sup>1)</sup>

を学振法として公表した。この作業標準は前記ドイツ式製鋼法の趣旨をとり入れて決定されたものである。

その頃酸素の鋼溶解への利用が試みられるようになり、溶落を迅速化するために平炉で酸素吹込が行われていたが、電弧炉でも酸化期の鉍石投入の代りに酸素を吹込むと沸騰精錬の効果が安定かつ確実に得られることが認められるようになった。鉍石法での不安定な諸条件の存在する欠点が酸素吹精法によれば解消し、操業が単純化されるとともに製品ばらつきが抑えられることが学振 24 委員会でも確認され、鋳鋼用に酸素吹精を利用する溶解法について昭和 26 年より同委員会で研究が開始された。その結果昭和 27 年 10 月には「鋳鋼の酸素または空気吹精電弧炉溶解作業標準<sup>2)</sup>」が学振法として決定された。以来今日までこの作業標準は各鋳鋼工場で活用されている。

この作業標準は一般的なことを規定してあり、細部に渉る事項は各工場に適合する方法にまかされている。従って各工場での実際操業は多少異なるところがあるのは当然で、また種種改良案が試みられた。例えば通電したままで酸素吹精して、熱効率をよくするとか、溶落期に重油吹込を行って所定温度までの昇温時間を短縮する方法<sup>3)</sup>などが挙げられ、また酸素吹精条件についての研究<sup>4)</sup>もみられる。

出鋼後取鍋中に投入するアルミニウム量は上記作業標準では一応 500 g/t と決められてあるが、溶解条件によつては必ずしもこの数値が適当であるとは断言できないし、またこのアルミニウム添加量が変化すると鋳鋼製品の機械的性質、非金属介在物に如何なる影響を与えるかについては明瞭ではなかつたが、この研究課題についても学振 24 委員会では採り上げて検討を加え、その結果を示している<sup>5)</sup>。

また鋳鋼中に Al および N がある量以上含有すると、一次オーステナイト粒界に AlN 相の析出による脆化がおこることが知られている。低合金高張力鋳鋼物で脆性の現われる限界値は 0.06% Al に対して 0.012% N、0.04Al に対して 0.18% N であることが確かめられ、とくに肉厚 3 in 以上の厚肉鋳物に AlN の生成量が多くなりこの脆性が現われやすいことが判つた<sup>6)</sup>。

大型鋼塊用に確立された真空鋳造法による脱ガス法は現在のところ鋳鋼用には実用されていないが 13 Cr 鋳鋼の高温亀裂発生防止に有効であるとの情報もある。鋳鋼では出鋼量も造塊に比較して少ないので、真空鋳造は技術的に困難であり、むしろアルゴン、窒素などの不活性ガスのジェット吹込みによる脱ガス法が有効で、とくに高周波炉に効果があるとされている<sup>7)</sup>。比較的小規模溶解を行うには高周波誘導炉が利用されるが、この場合の鋳鋼溶解理論は平炉、電弧炉の場合と一般論的には異なるところはなく、ただるつぼとの反応が比較的顕著に現われ、酸性および塩基性ライニングのときの鋼組成の変化傾向、添加元素の歩留、添加方法などについて検討を加えた研究が最近みられる<sup>8)</sup>。

LD 法を開発したオーストリアでは 5 t および 30 t の塩基性純酸素転炉による鋳鋼の製造を行っている<sup>9)</sup>し、またわが国でも 150 t 程度の大型鋳鋼に利用されている。その長所としては設備費および補修費の低いこ

と、脱燐、脱硫の可能なこと、ガス含量の低いことなどあるが、ひとつの話題であろう。

### 3.2.3 鋳鋼の鋳造技術

#### (1) 鋳型

鋳物製造技術の主要目標は、経済的なことは別として、無欠陥の健全鋳物を得ることである。鋳造時発生する諸種の欠陥を防止するためには、かつては主として経済的な要素からの判断に専ら頼るといのが実情であったが、戦後において諸種の欠陥の発生する機構を基礎的に探究し、定量的データに基づく客観的合理的対策を立てようとする努力が払われるようになり、幾多の研究結果が得られた。とくに鋳鋼では鋳鉄に比較して欠陥が発生し易く、製品歩留りも低く、溶接補修は欠くことができない状態であったので、鋳鋼を中心とした基礎的な研究が多くみられ、ここ十数年の間に鋳鋼の鋳造技術は顕著な進歩を遂げ、多くの問題が解決されつつあるといえよう。

鋳造欠陥をその発生時期について分けると、まず注湯作業時、鋳込終了後凝固完了までの期間、および凝固終了後の3つになる。

注湯時に発生する欠陥として、特に鋳鋼で問題なのは砂かみ、すくわれ、のろかみ、吹かれなどであり、それから鋳込み時だけに限定はできないが砂型面への焼着がある。これらの諸欠陥は砂型の高湿性状に密接な関連があり、鋳鋼用鋳型材料の面から広汎な研究が数多くなされた。砂かみの欠陥は溶鋼が湯道、せきあるいは型内を流動するとき砂をすくいとり鋳型内に運び込み、鋳物の上部に現われるもので、従つて急熱された砂型面の強度および安定性が問題であり、砂型の高湿性状に関する研究が各所で行われ、鋳物砂の改善に貢献している。またこのすくわれ、砂かみの欠陥発生の原因は単に鋳型性能だけによるものではなく、溶湯を鋳型内に導入する湯道、せきの設計にも関係がある。溶鋼の鋳型内の注入する速さは可能な限り迅速にすべきであるが、流動速度が大きくなると砂をすくいやすくなり、前記欠陥を生ずる原因ともなるので、適当な流入速度をもつせきの切り方が望ましい。この問題解決のために、溶湯の湯道系内の流動を水力学的にまた模型的に研究し、最適のせきの切り方を決定しようとする努力も戦後盛んに行われている。

このようなすくわれ、砂かみの欠陥対策の要求がとくに強くなつたのには他の理由がある。それはわが国の鋳鋼は従来殆んど皆乾燥型を使用していたが、戦後米国の鋳鋼用生型の普及に注目し、大型鋳鋼以外の場合には生型を利用しようとする気運になり、学振24委員会第1分科会では昭和27年から鋳鋼用鋳型の生型化についての協力研究が開始され、鋳物砂の組成および混練法、生型の性状に関する検討が進み、約2年後には例えば機関車動輪程度の厚肉の鋳鋼まで生型で鋳造できるようになったのである。ところがこのように生型を鋳鋼に実用するようになると、もともと生型は乾燥型に比較して強度が低く、すくわれを起しやすく、また焼着の傾向も強いので、その対策の確立が焦眉の急に迫られたわけである。最近では生型の要件もかなり明確化され、例えば通気度

は肌砂で  $200 \pm 50$ 、裏砂で 150 以上がよく、また抗圧力  $0.4 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 、水分 ( $3.6 \pm 0.2$ ) % が標準とされている。鋳鋼も大型になるとしても、実験的に研究が行われて、従来通気度は 1000 以上必要と考えられていたのが、焼着防止の点から、最近ではその値が 150 以下が望ましいとの結論が得られている。

鋳鋼は高温の溶湯が鋳込まれるので砂型との焼着が従来から問題となつてきた。この焼着には2つの原因があり、溶湯が砂型表面の砂粒子間隙に浸透して差し込む現象が先ずおこり、さらに差し込んだ溶湯が凝固してから高温酸化して FeO 相を形成するとともにこれが珪砂、粘土類と反応して含鉄珪酸塩をつくり、鋳物表面に砂が焼着するのである。この焼着現象については顕微鏡的研究も行われ、焼着部の生成相についても観察が加えられている。前記溶湯の差し込みは砂粒子間隙の大きさと関連があり、従つて通気をある程度犠牲にせざるを得ない。また比較的低い融点を有する含鉄珪酸塩の生成を抑えるには、鋳型表面に珪砂粉で塗型する従来の方法の代りにジルコン砂を主材とする肌砂を使用すると効果があり、鋳肌の要求される場合に利用されている。オーステナイトマンガン鋳鋼ではオリビン砂の肌砂、オリビン細粉の塗型によつて鋳肌改善に効果的なことが認められ、その普及することが期待されている。また鋳鋼用砂型の塗型剤の懸濁剤としてアルギン酸ソーダ、セルローズ材料などがよいとの報告もある。

次に鋳鋼用鋳型の種類について付言すると、従来の珪砂に粘土、ベントナイトなどを粘結剤として添加した鋳物砂を使用する生型と乾燥型が現在なお広く利用されているが、戦後新しく開発された造型技術による砂型も広く鋳鋼に採り入れられている。その最も顕著なものは  $\text{CO}_2$  プロセスによる砂型(俗にガス型と称せられる)であり、既に10年以上の実績があり、有効に使いこなされている。とくに中子へのこの  $\text{CO}_2$  プロセスの利用は最も普及している。最近  $\text{CO}_2$  プロセスと同じ水ガラスを粘結剤とするが  $\text{CO}_2$  吹き込みを要しない自硬性発熱鋳型をつくる N プロセスがわが国で開発され、普及しようとしている。この N プロセス鋳型は鋳鋼の鋳肌改善にとくに効果的である。なお水ガラスの代りに  $\text{CO}_2$  硬化レジンを利用する Peugeot  $\text{CO}_2$  法が仏国で開発され、鋳鋼にも適するといわれている。この方法に利用するレジンはアルカリ土類金属で処理した Novalac phenol-formaldehyde resin であり、 $\text{CO}_2$  を通ずるとレジンの析出とアルカリ土類金属の炭酸塩の生成がおこり硬化するもので、寸法精度のよい中子成型に好適のようである。

また鋳鋼鋳型用中子には前述したように従来の油中子に代つて  $\text{CO}_2$  プロセスによる中子が広く採用されているのが現状であるが、air-setting 粘結剤 (urea formaldehyde と furfural alcohol を主原料とし、触媒として燐酸を添加する) を利用する中子も最近利用されている。なお鋳型に関しては 3.4 鋳物砂の項を参照されたい。

#### (2) 引け巣対策

次に鋳型内で凝固が進行する過程で発生する鋳物欠陥としては引け巣と気泡巣とがあるため、主として水素に起因するもので、溶解作業と直接関係があり、その対策

としては鋳込以前の熔解工程で処置を施すべきである。しかし引け巣は融液の凝固収縮に起因するものであり、その収縮に応じて溶湯を補給することにより防止することが可能である。それがためには押湯、チル、肉厚傾斜などを適当に設定する方策が採られる。しかし凝固機構の明確でなかつた以前には、これらの設定に当つて専ら経験に頼り、合理性を欠いていた。ところが約 10 年程前から鋳型内での凝固現象に関する基礎的な課題について内外で研究が行われ、押湯、チルなどの機構が実験的、理論的に解明され、それら設計が合理的に行われるようになり、引け巣欠陥の防止、重量歩留の向上などに大いに寄与し、鋳鋼技術の進歩に大きな足跡を残したといえよう。

鋳物の鋳型内での凝固機構についての研究は種々の観点からなされたが、先ず鋳型との熱的性質に関連して熱伝導論的に鋳型の熱吸収速度がしらべられ、熱吸収量は時間に対して拋物線関係にあることが結論されたが<sup>10)</sup>、砂型では大体これが成り立つことが確かめられた。次に鋳型壁から凝固層の成長する速さについては、以前から 2, 3 の関係式が求められていたが、仮定が多く、はん雑で実際の鋳物への利用性に乏しかつたが、上記研究から凝固層の厚さも時間の平方根に比例することが結論された。

さらに凝固の進行についての鋳物形状の影響があり、同一鋳造条件下では、鋳物の凝固時間は鋳物の(容積/表面積)比の自乗に比例することが導かれた<sup>11)</sup>のはかなり以前のことであるが、この関係は簡単ではあつてもかなりの合致性があり、その後の押湯の定量的取扱ひ方の基礎を提供し、押湯算定式として 2, 3 の発表<sup>12, 13)</sup>がその後なされている。しかしこれら押湯の関係式は多くの仮定があり、具体的数値に欠くところがあつて、実際への応用に便利とはいえない。

ところで理論的よりはむしろ実験的に押湯とかチルの効果を求め、実測値に基づく押湯、チルの設定基準が提唱されてより、鋳鋼の鋳造方案の設計が非常に簡便となり、実際の中心線引け巣防止に基本的根拠が与えられたことは重要である。この研究が契機となり、学振とか鋳物協会鋳鋼部会などでわが国の鋳鋼技術に即した押湯、チルなどの協同研究が多く行われ、中心線引け巣に関する問題は解決された部分が多い。

さらに押湯を積極的に加熱し、押湯の大きさを節減し重量歩留をよくするために発熱剤の使用が最近普及した。この発熱剤はアルミニウム粉末、その他の金属粉、硝酸ナトリウム、酸化鉄粉、弗化物、粒状耐火物、粘結剤などを混合したもので、その使用方法としては押湯の周囲に発熱スリーブとして利用するものと、押湯表面に発熱剤をふりかけて同時に輻射熱損失を少なくすることを狙うものがあり何れもよく利用される。鋳鋼ではとくにこの発熱剤の効果が大きく、押湯は  $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$  程度に小さくすることができる。発熱剤の他の利用方法としては指向性凝固を促進するために鋳型内に発熱剤をおき、凝固中に適当な温度勾配を保持させて中心線引け巣の発生を防止することも行われる。

鋳鋼押湯に関する他の技術的進歩としては、通気性コアを盲押湯に挿入利用し、大気圧を押湯の溶湯補給作用

促進に利用することとか、鋳造後押湯切断が鋳鋼ではかなりコストの掛るものであるが、押湯を簡単に折除することができるように押湯下をくびらせる方法が採用され、そのために適当に設計されたネックダウンコアの利用もかなりみられるようになった。その他、押湯表面を電弧により積極的加熱を行い、発熱剤と同じ効果をあげるいわゆるホットトップ法は鋼塊、大型ロールにすでに広く利用され、歩留向上に寄与してきたが、鋳鋼品にも最近是一部で応用され、100 kg 以下の小物鋳鋼に利用して重量歩留を 85% に向上した例もある。さらに最近ソ連では鋳鋼や鋼塊の押湯表面にかなり厚く導電性溶滓を造成し、これに黒鉛電極を挿入通電する溶滓加熱法が行われ、前記電弧加熱法よりも加熱効率がよく、効果的に押湯温度を上げることに成功している。この方法のさらに進んだ方法としては黒鉛電極の代りに消耗電極を利用し、同一材質の電極を溶解しこれで溶湯補給を行い、押湯をなくする試みがなされ、かなりの好結果を得ているし、英国でもこの方法の試験が行われ検討されている。

実際の鋳造品では歩留の点から理想的に多数の押湯を設定することは望めないことがしばしばあり、その場合に中心線引け巣の発生を一部にみることになる。この種の引け巣が鋳造品の実体強度にどの程度影響するかは設計上重要な問題であるが、学振 24 委員会 1 分科会ではこの課題の協力研究を行い、かなり定量的結果を得ていて、中心線引け巣の強度に及ぼす悪影響については比較的軽少であるとの結論が得られている。

### (3) 遠心鋳鋼

鋼鋳物の遠心鋳造は鋳巣防止、歩留および生産性向上に有利であり、鋳鉄管メーカーによりその製造技術が研究されてきたが、1951 年にいたり実際に生産が開始されるようになった。この遠心鋳鋼管に現われる欠陥の主なるものは横および縦の外表面われ、内面われ、成分偏析などであり、これら欠陥も防止されるようになり、径 800 mm、長さ 5 m 以上の大口径管も製造され、建築構造用の鋼管柱として最近は利用されるようになった。その他耐熱、耐食用の合金鋼の遠心鋳造品も製造され、加熱炉用ラジアントチューブ、硝子ロールなどに利用されている。

### 3.2.4 鋳鋼の検査<sup>15)</sup>

鋳鋼の製造技術もここ 10 年来著しい進歩をとけ鋳鋼の品質も大いに向上したが、その背後にはこれに伴う検査技術の発展が重要な役割を果していたことは忘れてはならない。実際の検査としては「鉄道の車両用鋳鋼検査要領」とか「鋳鋼製スタンフレーム検査基準」などが作成され、工程検査と成品検査によつて品質保証が行われている。

工程検査は各工程ごとにそれぞれ特定の管理項目について行い、例えば化学成分、表面キズ、寸法、材料試験、補修キズ、加工面キズ、外観などを検査する。また要求により超音波探傷、放射線透過などの検査を行う。鋳鋼で検査を目的別に分けると欠陥の有無、寸法、鋳肌の 3 つの検査に大別することができる。

欠陥検査 広く一般に行われてきたのが目視検査であ

つたが、内部欠陥には役立たず、そのため1950年頃から非破壊検査法が採り入れられ、最近は大に普及している。鋳鋼品に対しては非破壊検査として、浸透探傷検査、磁気探傷検査、放射線透過検査、超音波探傷検査が行われる。鋳鋼品の大型化とともにX線およびγ線を利用するベータトロンも開発利用されている。放射線検査による欠陥検出で品質を判定する基準としてはASTMの標準ボタンがふつう利用されるが、ベータトロンではその高感度のためそのままでは使用できないので実際には適当に考慮が払われている。

内部欠陥検査法として従来より落下試験、槌打試験があるが、その作業は荒く試験場付近に震動をおよぼし、また危険でもあるので、前述の非破壊検査によりおきかえられる傾向にあるのが現状である。その他溶接補修を施した部分に対しては目視、浸透または磁気探傷による検査が行われている。

寸法検査：黒皮寸法については日本鋳鋼会および日本機械学会でそれぞれ制定した寸法判定基準があり、それぞれの寸法範囲について1級および2級の公差が表示されている。しかしまだ規格化されたわけではなく、現在検討されつつある段階である。

鋳肌検査：製品の用途によつては鋳物のでき栄えである鋳肌よりも内部欠陥の有無が重要である場合が多いが、鋳肌も品質上のひとつの要素であり、鋳肌の検査が行われることがある。鋳肌の基準としてはJIS規格(BO 601)と鋳物協会鋳鋼部会制定とがあり、前者は鋳肌の凹凸の粗さで示す簡易な方法であり、後者は1~5級に分けた標品と実物とを比較する方法であり、車両部品に適用されている。

### 3.2.5 最近の鋳鋼材質の種類

現在生産されている鋳鋼材質には普通鋳鋼、低合金鋳鋼、高合金鋳鋼がおもなもので、その他磁石鋼、工具鋼などが挙げられる。これらのうち、普通鋳鋼は全生産量の約 $\frac{3}{4}$ 程度を占める。普通鋳鋼には低、中、高炭素鋼があり、JISでは炭素鋼鋳鋼品として規定されているが、そのなかで最も多く生産されるものはSC 46、で、次いでSC 42、SC 49が多い。電気炉鋳鋼では0.02~0.03% S程度で比較的低いが、最近ドイツではスチームタービン用鋳鋼としてとくに強靱性を向上させるために脱硫剤粉末吹込法によりSを0.01%以下に、また水素レベルの低い鋳鋼が製造されているが、コスト的問題があるとしても注目すべきであろう。

低合金鋳鋼ではJIS構造用合金鋼鋳鋼品として規定され、Mn, Si, Crがおもな強靱化元素として添加され、耐熱性の必要なものにはMoが添加されたSCA 41, 51, 52が利用される。また建設機械などの歯車などのような耐摩耗性をとくに要求される鋳鋼品に対しては、SCA 22, 23のようなMn-Cr鋼を使用し、表面焼入して使用されている。しかし2~3m径の大型歯車になると表面焼入も困難であり、そのために焼準焼戻し処理によつてショア硬さ30~38程度の良好な耐摩耗性の得られる鋼種として低Mn-Mo鋼(1.1~1.5% Mn, 0.1~0.3% Mo, 0.4% C)が開発され実用されている。他方高張力鋳鋼の利用も最近はみられ、特に低炭素、低合

金鋼を調質して強靱性、溶接性のすぐれた鋼種が開発された。例えば高張力鋼管用のパイプコネクション鋳鋼品に実用された鋼種としてはNi-Cr-Mo-V系低合金鋳鋼(0.1~0.15% C, 0.3~0.45% Si, 1~1.3% Mn, 0.9~1.1% Ni, 0.3~0.5% Cr, 0.5% Mo, 0.05% V)がある。

高合金鋳鋼としてはステンレス鋼、耐熱鋼、高マンガン鋼などが主である。ステンレス鋼鋳鋼品のJISとしてはクロム・ステンレス鋼(SCS 1~2)とクロム・ニッケル・ステンレス鋼(SCS 11~18)が規定され、そのうち生産量の多いものはSCS 1, 13, 14であり、また最近では17-4 pH ステンレス鋼も使用されている。耐熱鋼鋳鋼品JIS規格は高クロム系と(SCH 1~2)と高クロム・ニッケル系(SCH 11~15)が規定され、主として利用される鋼種はSCH 1, 12, 13, 14, 15である。耐摩耗用として利用される高マンガン鋼はJISでSCMnH 1~2が規定され、履板、レールクロッシングなどに多く利用されている。この種のオーステナイト鋳鋼は鋳造組成の粗大化を避けるために鋳込温度は1460~1420°C程度に低く抑える必要があり、このように鋳込温度が低いと湯廻りの点で流動性のよいことが望ましいが、0.2~0.4% Siでは湯流が悪く、これと0.6~1.4%に増すとそれが改善されるとの研究結果<sup>18)</sup>があり、Siを比較的多く含有する高マンガン鋳鋼が製造されるようになった。1% Si程度までならば靱性に大して悪影響が認められないことも確かめられている。高マンガン鋳鋼はオーステナイト組織のため、非磁性鋼として利用されることもある。また同じく耐摩耗性の高い高炭素高クロム鋳鋼(例えば1~2% C, 24% Cr, 或いは2~3% C, 27% Cr)も用途によりよく採用される。ただし炭素含量が高く鋳鉄の部類に入れられることがある。

以上鋳鋼界の概況、溶解技術、鋳造技術、検査技術、鋼種などについて概略をのべたが、紙面に制限があり具体的なデータを省略したので適確な解説ができなかつた点をおわびしたい。

### 文 献

- 1) 学振第24小委員会報告XX VIII (昭和25年9月)
- 2) 学振第24小委員会報告XX IX (昭和27年10月)
- 3) 葉師寺, 羽田: 鋳物, 34 (1962) 2, p. 89
- 4) 宮川, 阿南: 鋳物, 36 (1964) 6, p. 533
- 5) 学振第24委員会報告: 鋳鋼の脱酸剤に関する研究(1), (2), (昭和35年1月及び2月)
- 6) R. F. HARRIS, G. P. CHANDLEY: 第29回国際鋳物会議講演論文集(1962)
- 7) B. SWEENEY: J. Brit. Cast. Res. Ass., (1962), p. 6
- 8) F. RUBENS DÖRFFER, H. M. KÜHN: Giesserei, (1963), No. 1, p. 41
- 9) R. RINESCH, H. NEUDECKER, J. EIBL: 第28回国際鋳物会議講演論文集(1961)
- 10) R. W. RUDDLE, A. L. MINCHER: J. Inst. Me., 76 (1949~50), p. 43
- 11) N. CHVORINOV: Found. Trad. J., (1939), 10.



Aug., p. 95

- 12) J. B. CAINE: Trans. A. F. S., 46 (1948), p. 492
- 13) C. M. ADAMS, H. F. TAYLOR: Trans. A. F. S., 61 (1953), p. 686
- 14) 安達, 菊池, 篠原: 鑄物, 35 (1963) 3, p. 51
- 15) 横山: 鑄物, 35 (1963) 3, p. 170
- 16) 宮崎: 鑄物, 35 (1963) 3, p. 137
- 17) 中村, 山下: 鑄物, 35 (1963) 3, p. 149
- 18) 大同製鋼提出資料: 鉄道施設協会, MC 委員会 (昭和 38 年 2 月)

### 3.3 鑄鉄溶解技術

#### 3.3.1 概 説

近年、鑄物技術の発展に伴って鑄鉄溶解の分野においてもまたいろいろの進歩がみられた。いまその跡を振り返り、将来の発展への足固めをすることも意義あることであろう。

すでに昔語りとなつたが、太平洋戦争の後半から戦後にかけて、原材料の粗悪なためにより材質の鑄物が得られず、悪戦苦闘が続けられた。この間二三の改善策が試みられたが、根本的な解決は得られぬままに時は過ぎ昭和 25 年頃にいたつて原料事情が好転し、ようやく戦前の状態に復したのである。そしてその頃海外よりミーハナイト鑄鉄が導入され、また球状黒鉛鑄鉄が登場し、これらに刺戟されて溶解法の研究が活発となり始めた。この研究成果が溶解作業の面にとり入れられ、キューボラの構造や操業法に多くの改善が行なわれて今日に到っている。さらに近年はキューボラ以外の炉として低周波炉の利用が注目されつつある。

これらの進歩の中に流れている考え方の根本は、まず良質健全な溶湯を得ること、さらに操業中溶湯材質の変動を防ぐこと、諸作業を機械化して近代化した姿に脱皮させること、などに置かれている。この線に沿って将来も一段の進歩がみられるであろう。

#### 3.3.2 キューボラ構造の改善

キューボラは円筒形の単純な形の炉であつて、その基本の形状はいまも変つていない。しかし炉の各部分においていろいろの改造がなされてきた。

戦後のコークス事情の悪いときに脚光を浴びたのは多段羽口キューボラであつた。この炉はベッドコークス部各位置から空気を送つてコークスの燃焼を活発にし、燃焼ガス中の  $\text{CO}_2$  割合を高めて高熱を得ようと試みたもので、かなりの成果を取めたが、コークスが良質となるにつれて、この方式では逆に  $\text{CO}_2$  が多く発生し過ぎて材質上好ましくないものとして影をひそめた。

ミーハナイト鑄鉄が導入された頃、やかましく論議されたのは平衡送風 (Equi-blast) ということである。炉況の安定を計るために各羽口から一様に風を送るべしというのがその主張で、風箱に仕切りを入れたりして送風の均等化を計ろうとした。しかしこの平衡送風は喧伝され過ぎた嫌いがあり、炉況の安定には他の因子も大きく影響することがわかつてきたので、いまでは風箱にこう

いう面倒な細工をすることは流行していない。ただ、羽口を風箱の下に置き、風箱から 1 個 1 個導管で連結する方式が広く採用されるようになったが、これでかなりの程度平衡送風の目的は達せられている。

炉況の安定により多くの効力を発揮するものとしてつぎに現われたのが前方除滓樋 (Front Slagging Spout) である。その構造を第図 3.3.1 に示すが、この樋は炉

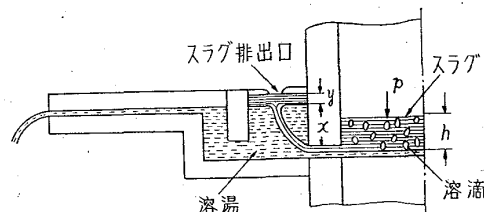
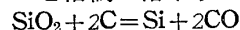


図 3.3.1 前方除滓樋

内ガス圧を利用して溶湯とスラグを同時に流出させ、ダムでスラグと溶湯を分離して連続出湯出滓を行なわせるものである。炉内と樋側の圧力のバランスは

$$p(\text{風圧}) + h(\text{スラグ圧力}) = x(\text{溶湯圧力}) + y(\text{スラグ圧力})$$

のように保たれ、 $p$ ,  $x$ ,  $y$  が一定であるから、炉内スラグの高さ  $h$  も一定となる。ここに溶湯の材質を安定化するかぎがある。すなわち炉内スラグ層の厚さが一定であればここを溶湯が落下するとき両者の間で起こる



のような反応の進み具合も同じとなつて、溶湯中の C, Si などの成分の変動が防がれる。従来の間歇的な出湯出滓ではスラグ層の厚さが常に変動するので、こういう点での溶湯成分の安定化が得にくかつた。またこの樋は一度溶湯を出し始めれば人手が不用となる。この経済的な利益も見逃すことができない。

このように連続出湯方式が採用された結果、溶湯を溜める前炉にも変革があつた。すなわち回転式前炉がそれである。この前炉は溶湯が必要量溜められたとき回転してどびん式の口から溶湯をとりべに流出させる方式のものである。溶湯を受けるための口が蓋にスリット状にあげられており、溶湯の温度を少し低下させるが、鑄込み作業に支障を呈するほどのことはない。

引続いての大きな改良として炉腹の水冷方式があげられる。昭和 33 年頃わが国に紹介されたが、その利点が認められて急速に普及された。炉腹の水冷によつて耐火物の侵食が著しく減少するので、スラグの成分が一定し、これが溶湯成分の安定化をもたらす。また炉修の時間が省けて経済的にも有利であり、操業時間も、非水冷の場合に 5~6 時間程度であつたのを、その倍ぐらいまで延長できるようになった。さらに、操業後ベッドコークスを落さずにおいて翌日再び操業を続けるいわゆる連続操業も可能となり、これを実施する工場も現われてきた。

水冷部の裏張りは並形あるいは半丁レンガをひらに張る程度で十分であるが、さらに裏張りなしで水冷する方式も注目されてきた。この場合スラグは装入材料だけで作られるので、その成分は自由に調節でき、したがつて溶湯の成分が一層安定化する。ただ、冷却効果が大きくな

り、炉内雰囲気も酸化性の強いものとなりやすいから、これを防ぐため送風を予熱する熱風方式を併用する必要がある。わが国では失敗を懸念してこれに踏み切った例はまだ少なく、ごく最近2社(1社は大型炉、1社は中型炉)で操業を始めた程度であるが、好調であると聞いている。小型炉では危険性があるが、中型炉以上ではもつと普及されてよいと考える。図3・3・2はドイツの裏張りなしの水冷キューボラの例である。

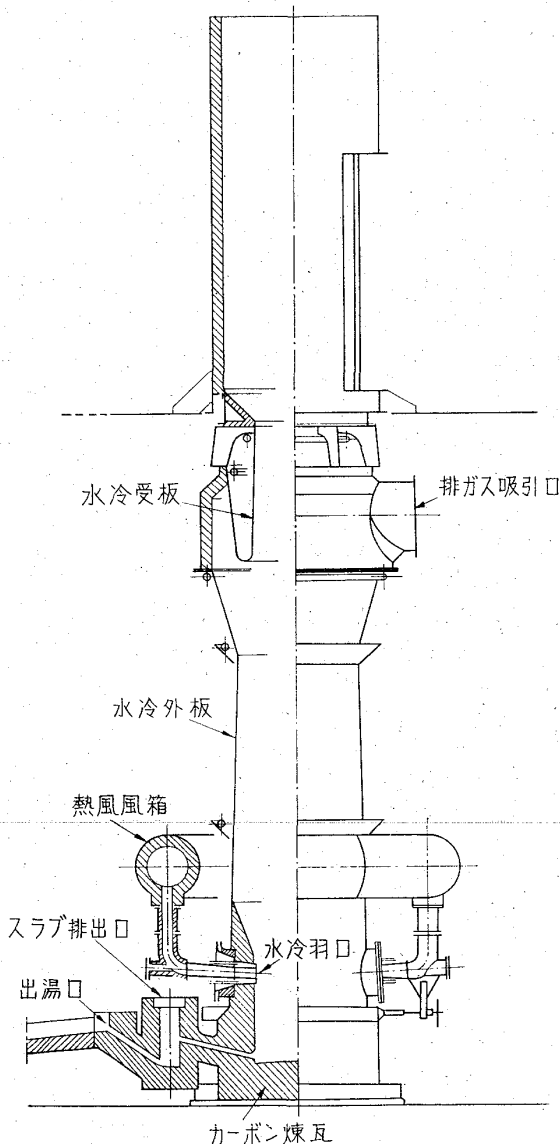


図 3・3・2 裏張りなし水冷キューボラの例(独.G.H.W.社)

### 3・3・3 キューボラ操業法の進歩

つぎにキューボラ操業法の進歩に目を移そう。以前のキューボラ操業は目標成分の溶湯を得るために配合に気を配るだけで、だいたいは地金を再溶解するくらいの単純な考えで行なわれていた。しかし幸か不幸か材料粗悪時代の苦い経験から、もつと冶金学的な理論を背景とした合理的操業を行なうべきであるとの考え方が広く浸透するようになってきた。すなわち、強い酸化性雰囲気中で溶解すれば铸件不良が発生しやすくなるとか、高温溶解

を行なえば材質が健全化するというような研究結果に基づいて、コークス比と送風量を適正に定め、装入材料の品質や粒度を吟味し、計量も厳重に行なうなど、細かい点に管理の目を光らせるようになり、铸件の品質は一段と向上した。

これに伴って操業を支配する諸要素、例えば送風量、送風圧、排出ガスの組成、炉頂における装入物の高さ、などの計測が実行されるようになり、合理化の促進に大きく貢献している。とくに送風量の自動制御は炉況の安定化に重要な役割を果たしたといつてよい。さらにはγ線レベル計を利用してのベッドコークスの高さの判定も試みられ、カントメーターによる溶湯の迅速分析を行なう工場も出現した。今後も新しい計測器具が取り入れられるものと期待され、完全自動化操業の夢の実現する日も遠くないであろう。

鑄鉄の材質面からみて、強力な材質を得るための操業法が確立されたことも、材質の健全化と並んで大きな意義がある。FC 30, FC 35 の品種の開発がこれであり、ミーハナイト鑄鉄の出現に刺戟された結果ではあるが、いまではさほど困難を感じることをなしに溶製可能となった。その方法を要約すれば、鋼屑を半量以上配合して、1520~1550°C 程度の高温溶解を行ない、溶湯にカルシウムシリサイドあるいはフェロンリコンを少量添加するいわゆる接種を行なうことであるが、その前提として前述した炉況の安定化にとくに留意することを忘れてはならない。

接種のほかにも溶湯にいろいろの物質を添加して、成分調整を行なつたり材質を健全化強力化することが一部で実施されて成果をあげている。例えばカルシウムカーバイドなどの脱硫剤を添加して球状黒鉛鑄鉄製造用の溶湯を作ること、石灰窒素を添加して材質の強力化を計ることが、などがそれである。いずれも窒素ガスで噴射するのが、有効であるといわれるが、攪拌効果をよくするために、揺動トリベの利用も注目されている。

球状黒鉛鑄鉄製造のための塩基性操業もキューボラ分野での進歩として見落すことはできない。溶湯を連続的に多量に必要とする場合に塩基性操業が適用されるわけであるが出湯後脱硫作業を行なわないで済むという利点もある。この操業も水冷その他の処理によつて炉況の安定化が計られた結果に負うところが大きい。

鑄鉄材質の健全化は前述した基本作業を忠実に守れば一応達せられるが、なお積極的にこれを推進し、併せて経済性を計ろうとする方法も活発に研究され実行に移されている。その第一にあげられるのが熱風操業である。熱風操業の歴史は古く、目新しいものではないが、その生命とする熱交換装置の進歩改善が目立っている。とくにドイツ、ベルギーなどヨーロッパにおける発達が目ざましく、輸出攻勢が盛んでわが国にも何基か輸入されて成果をあげている。

熱風操業の利点の第一は炉内雰囲気はCO豊富となつて還元性に近づきながら、送風の持つている熱が加わつて十分に高温の溶湯が得られるところであり、そのために铸件の材質は一層健全化する。そして熱的余裕はコークス比の低減を可能とし、溶解速度を速めるといふように好循環する。ヨーロッパ製の熱交換装置によれば



500°C以上の熱風が得られ、ますます好都合という次第であるが、性能のよい熱交換器はそれだけ高価であり、一般の鋳物工場ではこれを備えられぬところが多い。国産の熱交換器もしだいに改善され、400°Cくらいの熱風温度が得られるようになったが、わが国ではこの程度のものが普及している。

さて、熱風操業で高温の熱風によつて還元性の雰囲気を得られ、炉体は水冷によつて長時間の操業に耐えらるれば、こういうキューポラは高炉的な性格を帯びてくることに気づく。ヨーロッパでは Metallurgical Blast Cupola と称して、安価な鋼屑を主原料として連続作業で溶銑を作り、これを製鋼用原料に供するという行き方が流行のきざしをみせ、わが国でも二三試みられていると聞く。キューポラがこういう方面に発展してゆく一方において、普通の高炉の溶銑を成分調整してインゴットケースその他の鋳物を直接鋳造する動きもみられるようになったことは興味深い現象である。

積極的な材質改善策としてつぎにあげておきたいのは送風の脱湿である。送風中の湿度が増すと出湯温度が低下して材質を損傷することが経験され、わが国のように夏期に湿度の高くなる場所ではこの悪影響を無視することができない。一般にはコークス比を少し高める程度で逃げているが、重要品を鋳造する場合あるいは材質の均一性を望む場合には脱湿送風を行なう方が安全であつて、これを実施する工場がふえている。この脱湿には送風を吸湿剤のシリカゲル層に通ずる方法が多く採用されている。

以上がキューポラ操業法における主たる進歩であるが、まだいろいろの面から検討が加えられている。最近話題に上っているのはコークスを他の燃料に置きかえられぬかという問題である。その一つとしてカルシウムカーバイドを補助燃料として使用することが試みられ成功を取めた。工業用のカルシウムカーバイドは  $\text{CaO}$  をかなりの量含み、そのために 1700°C くらいの温度で溶融する。このとき酸素が存在するとこれと反応してかなりの発熱をみる。ベッドコークスの下部ではこの程度の温度に十分上り、コークスと未反応の酸素が存在するから、 $\text{CaC}_2$  の酸化が起こつて発熱し、燃料としての役割を果すようになる。これの地金に対する比 1% はコークス比 2% くらいと同じ効果があり、燃料費の点ではとくに有利とはならないが、コークス比の低減は硫黄の吸収を減じ、溶解速度を速める結果となる。 $\text{CaC}_2$  の装入量は地金に対し 2% が限度である。

重油あるいは天然ガスなど固体でない燃料をコークスと併用するか単独に使用する研究も開始された。燃料が流体であれば取扱いが便利であり、価格も安く、成功すればいろいろの面で有利となろう。

コークスと併用する場合はキューポラのベッドコークス部外側にバーナーを設置し、燃焼ガスを吹込む方法がとられている。ヨーロッパ方面で試験が行なわれているが、まだ検討の余地を残しているようである。

重油単独の溶解炉としては図 3-3-3 のような炉が紹介されている<sup>1)</sup>。地金は耐火物の塊を積んだベッドの上に連続的に装入され、下方から燃焼ガスを通じて地金を溶かす。溶湯は炉の下部の反射炉状の部分に溜められ、

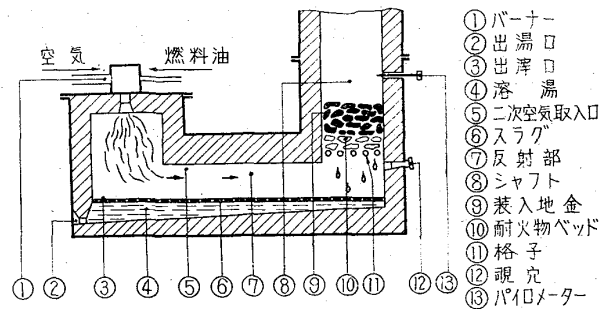


図 3-3-3 鋳鉄溶解用重油炉の例(ベルギー)

ここでさらに昇温する。これの操業法について種々実験した結果は、地金を高く積み過ぎたり、燃料使用量を減ずると棚吊りを起こして操業不能に陥るが、地金を適度の高さにして燃料使用量を地金に対し 8% とすれば順調な溶解が続けられるという。

流体燃料はコークスに匹敵する、あるいはそれ以上の発熱量を持つており、これを利用して鋳鉄を溶かすことは熱的にみればたやすいことといえる。上述した実験例がそれを証明している。それにもかかわらず、こういう溶解炉があまり広まらず、コークス使用のキューポラによつて代わるような気配はいまのところみられない。その理由は、炉内雰囲気がキューポラと異なるため溶湯の材質面に不安があるからではなかろうかと推測する。材質に触れた発表がないので断言することは差控えるが、流体燃料の使用にはまだ打開すべき問題が残っているようである。

さて、本来のキューポラ操業に戻つてつけ加えておきたいのは、作業の機械化の促進である。キューポラ作業には炉修、炉前での出湯、出滓、材料の準備、運搬、秤量、投入などいろいろあり、これらを人力で行なうとすれば大変な重労働であり、近代工業の姿からはほど遠い。当然これらを機械化しようとする気運が高まつてきた。炉修にはレンガを人力で張る代りに、パッチングガンによる粉状炉材の吹付けがとり入れられて作業を能率化したし、材料の投入にはバケットを炉頂に運ぶ機械投入が広く行き渡つた。最近では材料の運搬、配合の準備、秤量など、投入バケットに諸材料が揃えられるまでの工程を機械化した工場もふえてきた。例えば秤量つきのリフティングマグネットを使つて 1 回分の地金の秤量と運搬を行ない、コークスや石灰石は秤量機つきのホッパーによつて 1 回分を自動的に取出し、コンベアで投入バケットまで運ぶ、というような方式が採用されている。このようにしてキューポラは炉前に 1 人、材料準備に 2 人程度の人員で操業可能となつた。原始的といわれたキューポラ作業もこれで近代化の仲間入りができたとはいえよう。

### 3-3-4 低周波誘導炉

鋳鉄の溶解は電気炉によつても可能であり、コークスが粗悪であつた時代にはエルー式電弧炉が鋳鉄溶解用にかなり使用されたこともある。その際無造作な操業をやつて鋳物の材質を損じたという例も耳にしたが、良質コークスが出廻るようになって、特殊鋳鉄の溶解を除いては電弧炉の使用は影を没した。

一方キューボラは前述したように材質の健全化と均質化を目標としているいろいろの改良が加えられ、そのために種々の計測器や機械設備が附属するようになって、その設備費がしだいに増加してきた。

こういう情勢の中に低周波誘導炉が鋳鉄溶解に適用できるように改良されて出現した。低周波炉は高周波炉と違って、炉体のほかに変圧器、コンデンサー、三相平衡装置程度を備えればよいので電気炉としては安価であり、十分な装備を施したキューボラに比べれば大差のない金額で入手できる。そして容量も大きいほど有利で10数トンのものも製造できるようになった。電力消費量は冷材溶解で溶湯1t当り550~700kWh/t程度で、電力費もキューボラのコークス費と大差ないといえる。

このように両者の経済性が接近してきたことに加えて、低周波炉には成分調整が思う通りにできること、電磁誘導作用によつて溶湯がよく攪拌されて添加物の歩留りがきわめてよく、不純物の除去などの精錬効果もあること、ドライ粉などの粗悪地金の利用も可能であること、熱効果がよく、とくに地金溶け落ち後はわずかの電力で速やかに昇温することなど、キューボラのおよぼぬ利点がある<sup>2)</sup>。こういう技術の面からの価値も認識されてきたのである。

しかしキューボラにもなお棄てがたい良さがある。すなわち、その固体地金の詰つている上部の雰囲気中にCOを含んでいることが材質向上に役立つこと、連続的に出湯するので流れ作業に都合がよいこと、地金が固体のときの熱効率はかなり良いこと、などがそれである。そこで両者の長所を組合せて、キューボラで溶かした溶湯を低周波炉に入れて昇温と成分調整を行なうという方式がとり入れられるようになった。

むろん低周波単独での冷材溶解が都合のよい場合もある。例えばロール鋳造のための溶解にはこの炉が好適であるとのことであり、また粗悪地金を用いて安価な鋳物を作るという行き方もあるであろう。しかし、材質に重点を置いての流れ作業の場合には、キューボラとの二重溶解がもつとも適するものと考えられ、この方式が鋳鉄溶解の主流を占めるであろう。

## 文 献

- 1) H. D. RYCKER: Modern Castings, 42 (1962) 1 (July), p. 459
- 2) 佐々木祐太郎: 鋳物ダイジェスト (日本鋳物工業会), No. 96 (1964), p. 3

## 3.4 強靱鋳鉄の技術

強靱鋳鉄とは我国においては引張り強さ 30 kg/mm<sup>2</sup> 以上の鋳鉄を称えている。第二次大戦前においてもすでに引張り強さ 30 kg/mm<sup>2</sup> 以上のものも一部にはあつたが、一般には 15~25 kg/mm<sup>2</sup> 程度のものが多く、規格の最大においても 27 kg/mm<sup>2</sup> であつた。戦後は急速に進歩し、片状黒鉛鋳鉄で 30~40 kg/mm<sup>2</sup> 程度、球状黒鉛鋳鉄の発達とともに 40~70 kg/mm<sup>2</sup> のものも造られ、従来の鋳鉄の 2~3 倍程度の強さのものまで発展して来ている現状である。これら鋳鉄の発展の過程を振り返って見るとともに、わが国において発展した各種強靱鋳

鉄についてその概要を述べる。

### 3.4.1 発展の過程

世界的に見て、強靱鋳鉄として最初に唱えられたものは 1916 年 (大正 5 年) 前後ドイツにおいて A. Diefenthaler および Sipp<sup>1)</sup> によつて造られたランツパーライト鋳鉄である。本鋳鉄の改良の着眼点は従来は地組織がフェライトパーライトとの共存組織であつたがこれを強度のあるパーライト地のみにするのであつた。そのためには化学組成として、T. C=2.8~3.0%, Si=0.8~1.0%, Mn=0.7% 程度にして、低 Si による白銹化を防ぐために、鋳型中の冷却速度を調整し、すなわち、100~300°C の加熱鋳型を用いる方法を案出した。これによつて 30 kg/mm<sup>2</sup> 程度の引張強さを得たのである。

これらの強靱鋳鉄は内燃機関の発達とともに、研究改良が行われた。すなわち 1920 年前後には析出黒鉛の量を減少しその均一化の目的でドイツではエムメルの方法<sup>2)</sup>、アメリカではミーハナイト鋳鉄<sup>3)</sup>が生れた。

エムメルの方法とは、上記の目的のため、鋼屑 50~70% をキューボラにて溶解し、吸炭調整して、強力鋳鉄を得たのである。化学組成としては C=2.8~3.4%, Si=1.25~2.25%, Mn=1% 程度のもので、黒鉛組織も均一で、質量効果も少いことが特徴である。日本においては通常セミスチールと呼ばれ多く用いられた。

またミーハナイト鋳鉄は 1923~1926 年に研究より実用化が行われた。本鋳鉄は初期に低炭素鋳鉄にカルシウムシリコンを 0.3% 程度添加して、黒鉛化させ、すなわち接種 (Inoculation) という技術を開発して、強力な鼠籠鋳鉄を得た。これは今日多く用いられている強靱鋳鉄の基礎になつたものである。やはりその当時 1918 年 (大正 7 年) に石川登喜治<sup>4)</sup>は、諸外国に先がけて、彎曲微細黒鉛の析出とその分布の均一化した組織すなわち菊目組織を有する鋳鉄は強力であることを提唱された。

これは T. C=2.8~3.3%, Si=1.5~2.0% とし、化合炭素 0.8~1.0% 程度になるように調節する。また溶解温度も 1450°C という高温溶解温度を要求されている。このような鋳鉄は強力であるとともに質量効果の少い鋳鉄であるといわれている。これこそ日本での最初の強靱鋳鉄である。

その後 1925 年頃ドイツで E. Piwowarsky<sup>5)</sup> は、鋳鉄を 1500°C 以上に過熱すれば、微細な黒鉛が均一に分布して非常に強力な鋳鉄を得られることを提唱した。化学組成は大略 T. C=2.8~3.0%, Si=1.7~2.2%, Mn=0.8~1.0% 程度で引張強さ 30 kg/mm<sup>2</sup> 以上のものが得られる。これは鋳鉄の高温溶解によつて、黒鉛核が消失したことにより、微細黒鉛が析出する結果となると理論づけられ、いわゆる高温溶解説なるものが生れた。

この 1916~1926 年頃の 10 年間にはその他にも種々の強靱鋳鉄が生れたが、上記の方法は今日の強靱鋳鉄の発展に著しく影響をおよぼし、現在の強靱鋳鉄は以上の総合的な技術の結果の賜と考えられる。

その後 1929~1936 年間に英国の Norbury<sup>6)</sup> が共晶黒鉛鋳鉄の製造方法として Ti を添加して後 CO<sub>2</sub> ガスを通じるという方法を唱えた。当時は余り実用化されなかつたが、今日日本でその改良方法が行われている。

その後10年間は余り発展もないが、1947年(昭和22年)英国でH. Morrogh<sup>7)</sup>が鋳鉄中に鋳放し状態で球状黒鉛が存在することを認識し、翌1948年には脱酸脱硫した鋳鉄にCeを添加し、後Si-Mn-Zrを接種することにより鋳放しで強力かつ伸のある球状黒鉛鋳鉄を得る方法を発明した。また一方米国では殆んど時を同じくして鋳鉄にMgを添加し、Ferro-Siで接種を行って得る球状黒鉛鋳鉄がA. P. Gagnebin<sup>8)</sup>等によつて発明された。この文献は日本にも昭和24年4月頃入り、その後各所で実験が行われた。我国の鋳鉄界もこのころから第二次世界大戦による遅れを認め、諸外国の新しい技術の消化に努力し始めた。世界的に見ても、この研究が核になつて鋳鉄の研究が著しく進歩し、種々の新技術が生れている。

わが国ではこの球状黒鉛鋳鉄の研究、技術が核となり、また刺戟となつた。これも昭和26年には正式に技術導入になつた。またミーハナイト鋳鉄も再認識され、26年に矢張り正式に技術導入されている。その後多くの方々が諸外国を視察され、あらゆる方面に鋳鉄の改善が行われ、今日一般に著しく研究技術が進歩した。それに伴つて各会社、研究所でおのおの特長ある鋳鉄も生れ、実用化されている。特に球状黒鉛鋳鉄は年間20万t以上の生産量で、世界的にもその技術は最高の折紙がつけられている。

一方片状黒鉛組織の強靱鋳鉄も非常に普遍化し、日本各所でも製造されるようになった。次に近年日本に発達した代表的な強靱鋳鉄の研究並びに技術について述べる。

### 3.4.2 接種鋳鉄

近年製造されている非合金の片状黒鉛組織を有する強靱鋳鉄はこの接種鋳鉄である。すなわち主として上記したミーハナイトの技術が一般に普遍化したものである。

本鋳鉄の製造に当たつての要点は概ね次のようである。

- 組織 黒鉛組織として析出黒鉛の量を減少し、また分布を均一化し、かつ形状を微細化。また先端が丸味を帯びた厚みのある黒鉛組織にする。一方地組織は細かいパーライト組織またはソルバイト組織にして、かつ非金属介在物の少ない綺麗な組織にする。
- 製造方法 この点より考えれば次のようである。

(i) 化学組成を調整する。(主としてC, Siの量を調整するがC.E (Carbon Equivalent) = 3.5~3.9がよい。)

(ii) 鋼屑を多量に使用する。(少くとも装入材料の60~80%)

(iii) 高温溶解する。(1450°C以上)

(iv) 接種(Inoculation)を行う。

これらの強靱鋳鉄を得るための諸条件のうち、接種の方法はミーハナイト鋳鉄のみが初期から行われていた方法であるが、(i) (ii) (iii) の項目は上記の他の方法に概ね共通的に用いられていた。

接種とは、鋳鉄溶湯に添加して、化学的組成は余り変化させず、物理的性質を変化させる操作をいつている。

通常は0.1~0.4%程度のフェロシリコン、カルシウムシリコンを添加して、引張り強さが添加前に比較して5~7 kg/mm<sup>2</sup>程度上昇が見られる。もちろんこれは片状黒鉛組織に対して云えることであつて、球状黒鉛鋳鉄に対しては、一種の黒鉛化促進の意味がつよい。この操作はわが国においては、一般に球状黒鉛鋳鉄の製造時の方法として最初に知られ、後に片状黒鉛組織の鋳鉄に用いられた。

鋼屑を溶解時の地金として多量に用いることは1925年(大正14年)にドイツのEmmelが唱えたが、その効果として、強靱なかつ質量効果の少い鋳鉄が得られることである。これには当然高温溶解をしなければならぬ。

高温溶解は少くとも1450°C以上で、通常1500°C以上が望ましい。高温溶解は従来よりPiwowarsky、石川登喜治などによつて必要条件と呼ばれていたが、さらに昭和26年Heine、飯高一郎の論文などにより、一段とその理論が明かにされた。すなわち高温溶解によりSiO<sub>2</sub>+2C=Si+2COなる反応により、溶湯が脱酸される方向にあることが明かにされた。

これは従来の製法とは余り違わなくても、その考え方はさらに進歩し、酸化、脱酸の問題を大きく考えなければならぬことを示唆した。またこの高温溶解の問題はキューボラの構造の改善、コークスの品質の改善を相俟ち、実に速かに改善され、これが実用化された。もちろん鋳込方案鋳型およびその材料の進歩もあり、高温溶解、高温鋳込に適するようになった。その結果、従来多く見られた内ひけ巣、気泡巣も少くなり、鋳鉄鋳物の信用度も上昇したように思われる。

接種鋳鉄に用いられる、接種剤(Inoculant)は通常8メッシュ程度のカルシウム・シリコン、フェロシリコンが用いられている。一般には出湯時キューボラの樋の処で添加されていることが多い。表3.4.1に接種鋳鉄の実例を示す。

表 3.4.1 接種鋳鉄の実例

接種の有無	化学組成					引張り強さ kg/mm <sup>2</sup>
	C	Si	Mn	P	S	
無	3.09	1.66	0.74	0.06	0.06	27.4
カルシウム・シリコン 0.25%	3.09	1.80	0.80	0.05	0.06	33.5
フェロシリコン0.05%						

### 3.4.3 球状黒鉛鋳鉄

3.4.1に示したように現在発展している球状黒鉛鋳鉄は昭和23年に発明されたものであるが、24年の4月頃文献がわが国に届いた。当時は第二次大戦後の占領下であり、C.I.E.の図書館にて見られたA. P. Gagnebin, K. D. Millsの文献<sup>8),9)</sup>などが恐らく最初であろう。現在に比べると想像もつかないことである。その後約15年を経た今日は生産量も著しく増加している。表3.4.2は1953年以後の生産量を示している。

本鋳鉄はわが国においてはノジュラー鋳鉄(Nodular Cast Iron)ダクタイル鋳鉄(Ductile Cast Iron、又は

表 3.4.2 Mg 処理球状黒鉛鑄鉄の生産量<sup>10)</sup>

年 度	生 産 量	年 度	生 産 量
1953	1,458	1959	58,641
1954	3,418	1960	104,229
1955	9,216	1961	176,312
1956	17,998	1962	174,463
1957	33,754	1963	225,560
1958	35,106	—	—

D. C. I (これは商品名) とも呼ばれるが、学問的または一般には球状黒鉛鑄鉄と云われている。

わが国においても昭和 24 年以後 Mg 処理以外に前川<sup>11)</sup> は Zn, 山木<sup>12)</sup> は Sb, 草川<sup>13)</sup> は Ca, 音谷, 丸山<sup>14)</sup> は Ferro-Si の添加によつて球状黒鉛を得る実験が行われた。後者の Ca と Ferro-Si 処理は工業化にまで発展している。しかし大半は Mg 処理球状黒鉛鑄鉄である。

本鑄鉄の実験ならびに実用化に当つてまず問題になつたのは原料銑鉄である。当初最も黒鉛球状化しやすい銑鉄は鋼に加炭した合成銑, またスエーデン木炭銑であつた。何れも高価にして実用的なものではなかつた。その後各方面においても多く研究され、各製鉄所においても球状黒鉛鑄鉄用銑が生産され、均質で安価な銑鉄が多量に供給されるようになった。昭和 31 年には JIS G 2202 として定められている。この銑鉄は特に S は 0.035 以下で P (0.12%) も低く、また含有酸素量も低い。その他黒鉛球状化阻害元素として Ti, As 等も低い。今日においては当初大きな問題として取り上げられたものも、多くの研究の結果一応解決されている。最近になつて特に Mn を 0.4 % 以下に低くして鑄放しで伸のある球状黒鉛鑄鉄を得ようとするための銑鉄の研究も行われている。

一方溶解には一般に初期においては塩基性エルー式の電気炉、高周波電気炉が用いられていたが、生産性の目的から酸性キュボラ溶解を行い、炉前においてカルシウムカーバイドの N<sub>2</sub> ガス噴射による脱硫方法の併用によつて、脱酸、脱硫 (S < 0.02 ~ 0.03%) された溶銑を得る方法が確立された。また反射炉とか塩基性水冷キュボラ溶解も実用化されている。最近においては低周波変気炉も相当用いられて来た。

次に添加合金であるが、初期においては純 Mg, Cu-Mg (50:50, 70:30, 80:20), Ni-Mg (50:50, 80:20) が用いられた。純 Mg は添加時における爆発程度が激しく、主として Mg 合金が用いられていたが Cu, Ni などの合金成分が残る関係から Fe-Si-Mg<sup>15)</sup> (45:45:10, 30:50:20 など), Ca-Si-Mg<sup>16)</sup> (30:55:10, 20:45:20 など) などが用いられるようになった。また一方経済的理由から純 Mg の使用が要求され、耐圧力容器としての取鍋を用い、純 Mg を添加し、Mg 濃度の高い溶湯を造り、これと脱酸脱硫した溶湯を混合する方法が用いられている。純 Mg 以外の合金の場合は、その添加法として少量処理する場合は取鍋への表面添加、数 t 以下の処理の場合には置注法、同時注入法、プランジャ

ーによる挿入法が一般に用いられている。

性質として特に機械的性質が優れ、従来のネズミ鑄鉄の 2~3 倍程度になつている。初期より今日までこの面においては余り進歩なく、製造経験を積むと共に初期不安定だつた機械的性質も比較的安定してきた。昭和 36 年には表 3.4.3 に示すように JIS G 5502 として定められた。片状黒鉛鑄鉄に比較して衝撃値も高く、耐熱

表 3.4.3 球状黒鉛鑄鉄品の規格 (JIS G 5502)

種 類	記 号	引 張 試 験		
		引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	耐 力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %
1 種	FCD 40	40 以上	28 以上	12 以上
2 "	" 45	45 以上	30 以上	5 以上
3 "	" 55	55 以上	38 以上	2 以上
4 "	" 70	70 以上	48 以上	1 以上

性、耐蝕性もあることが明かになり、用途もその方面にも開けた。また本鑄鉄の内ひけ巣の大なることは大きな欠点であるが、初期においてはこのために本鑄鉄が発展しないかのように思われたが、方案の研究、鑄型の硬さを 80 以上にすると小になるという解決策も見出された。またピンホール発生も多かつたが、これも過共晶組成にすると殆んど無くなるのが解つた。今日ある程度欠点も克服し、生産も向上した。

わが国では諸外国と異り、Mg 合金添加処理以外に Ca 合金添加処理法が実用されている。これはカルシウムシリコンを主体としてこれに希土類元素の塩化物<sup>17)</sup>、弗化物<sup>18)</sup> を混合したものである。Ca 処理のものは黒鉛球状化は少し低下するが、鑄放しでフェライト化が進み、ひけ巣の少い特徴がある。

本鑄鉄の最近の用途とその比率を表 3.4.4 に示す。大半が鉄管の製造である。

表 3.4.4 球状黒鉛鑄鉄の用途とその比率

用 途	比 率 %
鉄 管	70.0
自 動 車 部 品	6.8
ロ ー ル	7.4
インゴットケース	6.4
工 場 設 備 用	0.6
耐 熱 鑄 物	0.8
土 木 機 械	3.2
織 機 農 機	1.7
造 船 造 機	1.0
一 般 機 械	2.1
	100

### 3.4.4 石灰窒素処理鑄鉄

久恒<sup>19)</sup> の発明にかかるもので、接種剤として石灰窒素を用いたものである。石灰窒素は 1400°C 以上で溶湯

中に押込めば、 $\text{CaCN}_2 + \text{CO} = \text{CaO} + 2\text{C} + \text{N}_2$  のごとき反応によつて、 $\text{N}_2$  を分解するが、その際発生機の N が窒化物、窒素固溶体を生成するばかりでなく、脱酸、脱硫作用も顯著に現われ鑄鉄の材質を改善する。その化学組成と機械的性質の一部を表 3.4.5 に示す。

表 3.4.5 石灰窒素処理鑄鉄と機械的性質の一例

処理方法	化学組成		機械的性質	
	T.C%	Si%	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	硬さ R <sub>B</sub>
無処理	3.34	1.75	26.3	92.2
石灰窒素 0.5%	3.36	1.58	31.1	97.0
" 0.8%	3.12	1.91	37.3	—
無処理	2.80	2.05	32.0	—
石灰窒素 0.5%	2.78	1.99	41.0	—

### 3.4.5 共晶黒鉛鑄鉄

前記したように Norbury が Ti の少量添加と CO<sub>2</sub> 吹込によつて共晶黒鉛を得たが実用化はされなかつた。沢村<sup>20)</sup> は昭和 14 年 TiO<sub>2</sub> を含有するスラグを鑄鉄溶湯に接触させることにより、共晶黒鉛組織が現われることを見出され、23 年には再確認された。さらに研究を続けられ、工業的には TiO<sub>2</sub> を 10~15% 含有するスラグを用いることにより安定した状態で共晶黒鉛組織を有する鑄鉄を得られることも解り 28 年に、日本特許<sup>21)</sup> をとられた。その後 Cr, Mo などを添加して強靱にして耐摩耗性のあるものも得られ、シリンダーライナーなどに用いられている。

表 3.4.6 に化学組成、スラグ組成等の一例を示している。

表 3.4.6 含 Ti スラグ処理鑄鉄の化学組成<sup>22)</sup> 並びにスラグ組成

化学組成			
C	Si	S	Ti
3.67	1.27	0.033	0.210
スラグ組成			
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
42.53	34.53	13.57	8.75
最高加熱温度	脱硫率	ブリネル硬さ	
1,470°C	41	202	

### 3.4.6 還元スラグ処理による強靱鑄鉄

本間<sup>23)</sup> は 1952 年頃より鑄鉄中の含有酸素と黒鉛組織との関係について研究された。その多くの基礎的研究に基づいて、鑄鉄を還元精錬することにより強靱鑄鉄が得

られることを提案された。これによつてアルカリ、アルカリ土類金属またはその化合物を含む還元性スラグに鑄鉄溶湯を接触させることにより、共晶状黒鉛、微細黒鉛、芋虫状黒鉛、球状黒鉛組織を有する強靱鑄鉄が得られることを発明し、特許<sup>24)</sup> を得られている。さらに黒鉛鋼にも有効であることを提案され、各種の機械部品に実用化されている。

### 3.4.7 その他の強靱鑄鉄

最近には強靱鑄鉄としては普通鑄鉄に Cu, Mo, Ni, Cr などを少量添加して強靱にする方法も一部には用いられている。また鑄鉄の真空溶解によつて引張強さ 40 kg/mm<sup>2</sup> 以上のものが得られるという研究もあるが、現在では実験室的なものである。

また可鍛鑄鉄においても地をパーライトにした可鍛鑄鉄も生産され引張強さ 40 kg/mm<sup>2</sup> 以上で著しく強力になつた。また Overum steel と呼ばれ、スエーデンにて発明されたものであるが、C=2.3~2.4%, Si=0.9~1.0%, Mn=0.1~0.2%, P=0.02~0.03% で、特に P, Mn が低く、これを熱処理すれば 130~140 kg/mm<sup>2</sup> のものも得られている。これは日本特許もとられ、これに刺戟されて低 Mn, P の熱鑄鉄の処理による強靱化の研究も行われようとしている。

### 3.4.8 結 言

以上世界的に見た強靱鑄鉄の発生の中においてわが国の強靱鑄鉄の発展の過程と、特に戦後球状黒鉛鑄鉄の発明とともに、わが国独特の種類の強靱鑄鉄が生まれ、実用化されているものについてその概要を述べた。わが国においては特に戦後鑄鉄材質の発展が著しいことは注目に値する。

### 文 献

- 1) A. DIEFENTHALER u. K. SIPP: Stahl u. Eisen 40 (1920), 1141
- 2) K. EMMEL: Stahl u. Eisen 45 (1925), 1466
- 3) マテリアル 1 (1953) 4, 17
- 4) 石川登喜治: 日本機械学会誌 22 (1919) 39
- 5) E. PIWOWARSKY: 高級鑄鉄 (訳本) 370
- 6) A. L. NORBURY: J. I. S. I II (1936) 327
- 7) H. MORROGH: J. I. S. I 155 (1947) Marhc. 321~371
- 8) Iron Age (1949), Feb. 17, 77
- 9) Iron Age (1949), Feb. 24, 97~99
- 10) A. P. GAGNEBIN: ダクタイル鑄鉄 (日本ニッケル情報センター) (1964) May 13
- 11) 前川静彌: 日本特許 201136
- 12) 山木正義: 日本特許 昭 28-204
- 13) 草川隆次: 鉄と鋼 38 (1952) 6 16~22
- 14) 音谷登平・丸山益輝: 鑄物 36 (1964) 4 161~165
- 15) E. T. MISKOWSKY, R. P. DUNPHY: Iron Age (1949) Sept. 8, 78~79
- 16) 草川隆次・松浦義昌: 日本特許 昭 28-2207
- 17) 草川隆次・松本 弘: 日本特許 242497  
葛西豊治 昭 34-9562

- 18) 日下和治：日本特許 昭38-7106
- 19) 久恒中陽： " 200933  
強靱鑄鉄 (日本強靱鑄鉄協会編) (1961)  
154~178
- 20) 沢村 宏他：水曜会誌 9 (1939) 809
- 21) 沢村 宏他：日本特許 200325
- 22) 沢村 宏：強靱鑄鉄 (日本強靱鑄鉄協会編) 400
- 23) 本間正雄：日本金属学会誌 16 (1952) 487, 547, 607, 666
- 24) 本間正雄：日本特許 昭29-5858

### 3.5 造 型 法

溶けた金属を流し込んで、所定の形状にするための鑄型の造型法には、金属、黒鉛を用いる方法と砂を各種粘結材で結合させて作る方法がある。金属を用いるのを金型、黒鉛を用いるのを黒鉛鑄型と呼称し、砂を用いるものを普通は砂型と呼んでいるが、この場合には粘結材はベントナイト、粘土、水を用いたものに限っている。

最も広く用いられているのは、砂に各種の粘結材を用いて、これを固化、硬化して作る造型法である。粘結材は、その硬化の過程より、次のように分類することが出来る。

1. 物理的な結合によるもの粘土、ベントナイト
2. 化学的な反応により結合力を得るもの
  - a. 常温硬化によるもの  
セメント、けい酸ソーダ (CO<sub>2</sub> プロセス, N プロセス) エチルシリケート、シリカゾル、磷酸塩、石膏、常温硬化性レジン。(フルフリール・アルコールなど)
  - b. 熱硬化によるもの  
各種乾性油類、フェノールレジン、フラン系レジン、尿素系レジン、粘土 (焼型)

#### 3.5.1 物理的な結合によるもの

表 3.5.1 に示すような配合砂を使用し、手込め、また

表 3.5.1 鑄物砂の配合例

鑄 鉄 用

生砂型	油砂型	乾燥型	CO <sub>2</sub> 型
珪砂 100	珪砂 100	珪砂 100	珪砂 100
ベントナイト 2~3	アマニ油 3	木節土 5	水硝子 5~6
澱粉 1~2	澱粉 1	(400~450°Cにて乾燥)	ピッチ 1
石炭粉 1	酸化鉄 (0.5)		(CO <sub>2</sub> ガスを吹き込み硬化を行なう)
木粉 2			
水分 3~4			
セメント型	天然砂		
珪砂 100	山砂		
セメント 8~10	野間砂のような粘土を含んでいる天然砂		
糖蜜 0~4			

### 鑄 鋼 用

生砂型	油砂型	CO <sub>2</sub> 型	乾燥型
珪砂 100	珪砂 100	珪砂 100	珪砂 100
ベントナイト 5~6	ベントナイト 3	水硝子 5~6	ベントナイト 5~6
澱粉 1	アマニ油 3	ピッチ粉 1	木節土 2
水分 適当	澱粉 1~2		澱粉 1~2

### 非鉄金属用

生砂型	CO <sub>2</sub> 型
珪砂 100	珪砂 100
ベントナイト 5	水硝子 5
澱粉 1.5	
水分 適当	

シエルモールド用砂 混合砂またはレジンコーテッドサンドとして用いられる。

普通 3~5% 程度のフェノールレジンが添加される。

セメント鑄型用砂の配合について

珪砂が粗いと硬化は遅い。

水分が多いと硬化がおそいが成型後鑄肌のポロツキは少ない。

糖密を入れると高温崩壊性を増すがこの場合は水分を少なくする。

通常硬化は 2h で完了するが海砂を使用すると硬化が促進されることがある。

常温硬化レジン

(コールドセットレジン)

(ノーベークレジン)

(コールドキュアレジン)

珪砂に 2% 程度のレジンを加え、硬化のために酸またはその他の促進剤が添加される。

は機械を用いて造型される。主として、ベントナイト、粘土、が粘結材として用いられ、生砂型とよばれ、最も広く用いられている。機械力を用いて締めつけるには、ジョルトとスクイズが用いられるが、回転翼を利用して砂を投射し造型する方法 (サンド・スリンガー)、砂を鑄型内に空圧を用いて吹き込みのち加圧する方法 (ブロー・スクイズ法)、隔膜を用い高空気圧を作用させて締めつける隔膜造型法などがある。最近、造型速度の向上と、鑄物寸法精度の向上を目的とした高圧造型法が発達し利用されることが多くなつて来た。この方法はスクイズ圧力が非常に高く、砂型表面に 15~20 kg/cm<sup>2</sup> の力を加え、生型硬度を 90 以上とするものである。この機械の利用は 1956 年頃より注目されはじめた。砂の配合、抜き勾配、鑄枠の強化、スクイズ時に加える振動の可否または程度、空気の排除法など目下解決を望まれている点もあるが、今後生砂型の造型は次第にこの方向に向うものと考えられている。高圧、高速造型の一つの形式として、ブロー、スクイズ方式による造型も進歩し、フラスコレス鑄型造型法も注目されつつある。



3.5.2 化学的な反応により結合力を得るもの

(1) 常温硬化によるもの

1) セメント型

非常に古い歴史を持つ造型法である。すでに欧米では使用されなくなつたが、わが国では、再び使用されつつある。建築に用いられるものと同種のセメントを砂に8~10%、水とともに加え、比較的短時間のうちに造型を完了するもので、セメント鑄型とよばれている。その特色は次のごときものである。

- a. 鑄物砂の流動性が良好で造型が容易である。
- b. 硬化後の硬度が大きく変形が少ない。
- c. 常温で硬化するので大型鑄型に適している。
- d. セメントは粘結材として安価である。
- e. 砂の再使用が可能である。
- f. 鑄型表面の亀裂の発生が少ない。
- g. 鑄枠が不要である。

しかし、耐火性に乏しく鑄鋼の鑄造には不適當である。可使時間(ベンチ・ライフ)が短かい、鑄造後の鑄型の崩壊性が劣り、鑄物凝固中の鑄型亀裂が発生しやすいなどの欠点がある。最近開発されつつある常温硬化性レジンと競合する立場にある。

2) CO<sub>2</sub> プロセス。(ガス型、けい酸ソーダー—炭酸ガス法)

鑄物砂にけい酸ソーダーを5%程度添加した混合砂で鑄型、中子を造型し、これに炭酸ガスを吹き込み硬化させる鑄造型法である。この方法も非常に古くから紹

介されており、一時全くかえりみられなかつたものが脚光をあびたものである。わが国では、ほとんどすべての鑄物工場で使用されており、けい酸ソーダーの使用量は年間3万tに達している。炭酸ガスの使用量は、理論的には、使用けい酸ソーダー量の数分の一で足りるはずであるが、現在のところ全国平均するとほとんど同重量となつている。造型が容易であるが鑄造後の崩壊性が悪いことが最も大きな欠点となつている。したがつて、崩壊性を良くするための多くの考案がなされているが、いまだ充分満足すべき結果を得ていない。この方法の改良されたものにNプロセスがある。発明者西山のNをとり、Nプロセスとよばれている。本法は、特許が登録されているが、すでに10数社が本方法の実施権を得て作業を行なつている。この方法は、砂に「けい酸ソーダー」を加えさらにCa-Siのようなけい素合金を加えると発熱反応を起し化学反応が促進されることに着目し、造型法に適用したものである。たとえば、珪砂に「けい酸ソーダー」を加えさらにFe-Si粉末を加えた混合砂で造型すると直ちに発熱しつつ硬化をはじめめる。(表3.5.2参照)この主要原価比較を表3.5.3に示す。すなわち、この方法は、コールドセットレジンの使用の場合と比較されるべきものである。利点とするところは次のようである。

- a. 多種少量生産品に対し、著しく生産性を増す。
- b. 鑄肌が改善される。なぜならば、発熱反応に伴い鑄型内の水分が蒸発され、鑄型水分量が低下するためである。
- c. 乾燥型に比べて概略40%造型原価が低下する。

表 2.5.2 鑄物砂の配合とおもな性質 (宮崎勢四郎)

名称	配 合 割 合 (重量%)								通気度 (AFS)	抗压強度 kg/cm <sup>2</sup>	乾 態 剪断強度 kg/cm <sup>2</sup>	適用部品
	筑摩珪砂	三河珪砂	水洗砂	Nフラー	Nセット	ベント ナイト	オーゾン	水分				
N1号	—	—	100	2.0	4.0	—	—	—	180	15	—	T. A. C
N2号	—	60	40	2.0	4.0	—	—	—	200	30	—	T. A. C
N 特	100	—	—	2.5	5.0	—	—	—	220	40	—	B. F
乾燥型	—	100	—	—	—	6	2	5~7	170	(湿態) 0.68	5	一 般

表 3.5.3 CF 部品のNプロセスとエアースセット法との主要原価比較 (宮崎勢四郎)

原 価 要 素	N プロセス合計を 100とした構成比 (%)		N プロセスに 対するエアース セット法の比率 (%)	増 加 率
	N比プロセス	エアースセット法		
主 要 材 料 費	39.5	39.5	100	0
鑄型費(芯金,湯道,レンガ等を含む)	1.4	1.4	100	0
乾燥費(重油及び工賃)	0	1.5	—	100
調砂費(材料及び工賃)	9.8	17.5	553	453
造 型 工 費	21.6	22.9	106	6
清浄費(材料及び工賃)	13.8	6.6	48	⊖ 52
熔接費(同上)	14.0	14.0	100	0
合 計 (経費等小項目で比較 増減なきものを除く)	100	103.4	103.4	3.4

d. 芯金の使用が少なくなる。

などの利点がある。しかし可使時間が短い、作業が複雑である、改良されたとはいえないまだ崩壊性が劣る、特許イニシャルペイメント、ローヤリテーなどを勘案した経済性などを考慮に入れて、急激な発展は見えていないが諸外国間でも注目されているわが国独自の方法として賞讃されている。

また最近ソ連で開発された FM 法は炭酸ガスを使用することはないが、けい酸ソーダに霞石スラリー、酸、アルコール、活性剤などを配合した流動性を帯びた混合砂で、つき固めることなく造型し得、さらに 40 分程度で固化する極めて画期的な方法であると伝えられているが、その詳細は秘密とされており、したがって、その真価を評価するまでにはいたっていない。米国、フランス、英国、ドイツなど数ヶ国がその技術導入を計っていると伝えられている。

3) コールドセット鑄型

鑄型の硬化に加熱を行なうことなく常温で硬化する、レジンを使用して作る鑄型である。この種のレジンにコールドセットレジン、セルフ・キュアリングレジン、またはノー・ベークレジンと呼んでいる。

この種レジンには硬化促進剤として酸が加えられる。促進剤の量は、硬化時間の長短、砂の性状、鑄型の大きさ、気温の相違などにより適量を加える。硬化時間は通常 40~60 分である。混合砂は混合後直ちに反応を開始し、やがては鑄型造型が不可能な状態となる。混練後の砂が、混練直後の強度の 80% あるいは 70% を発揮し得るまでの許容保存時間を可使時間 (ベンチ・ライフ) と仮定して、レジン性状を示すことが多い。しかし、この%は、今のところ定義されてはいない。このレジンを使用によつて得られた鑄型は多くの利点をもっている。その利点は、

- 焼成を必要としない。いかなる材料も鑄造可能である。
- 混合砂の流動性が良好で造型が容易である。
- 芯金を必要としない。
- 鑄造後の鑄型崩壊性が良好である。
- 特許に関係がない。

欠点とするところは

- 硬化促進剤の添加量の決定がむずかしい。
- 可使時間が短い。
- レジンが高価である。

国産の珪砂は、比較的酸消費量が多いか、あるいは産地間の差が多く、とくに促進剤の添加量の決定がむずかしい。強度が出で難いため、レジン添加量が大となり経済的に不利であるなどの点があるが、造型の容易なことと崩壊性の良好なことから今後急激な利用拡大が期待されている。連続混練機も開発され使用が多くなつて来た。

4) ロストワックス法

ロストワックス法には、シェル法とフラスコ法の 2 つがある。この造型法に使用される粘結材は無機質の常用硬化型の粘結材が使用されることが多い。鑄型の製造は次のようにして行なわれる。まず作ろうと希望する形状

の蠟型を金型とワックス・インデクションマシンを用いて作られる。このワックスは灰分がなく、硬度が高く、変形の少ない、溶接が容易で熱膨張量の少ないものが用いられる。最近では、鑄物が大きくなり精度も高いものが望まれているために高圧インデクションマシンが開発されつつある。水銀を蠟の代わりに用いたものは、マーカスト法と呼ばれているが、その後の発展は見られない。

これらの蠟型は、同じく蠟材料で作られた湯口に接着されたものに第一次のコーティングが施される。このコーティングが乾燥しないうちにサンディングが施される。

レインフォールサンディング、またはフルイダイズトベッドが利用される。このサンディングは、コーティング材より粗い砂で、第一次コーティングの亀裂を防止し、次のコーティングの密着性をよくするためである。この操作を 6~7 回繰返し、鑄型の厚みを数耗とする。この繰返しを 1~2 回に止め、フラスコの中に置きエチルシリケートまたはシリカゾルを利用して作った泥状物を充填する方法をインベストメントフラスコ法と呼称されているが、材料が大きいために次第にこの方法はすたれ、現在 50% 程度になつている。軽合金の鑄造には、石膏が用いられている。さて厚み数耗とした鑄型はシェル鑄型と呼ばれ、次の工程に移る。鑄型は穏やかに乾燥され、さらに温度を上升させて脱蠟させる。脱蠟には、亀裂の発生を防ぎ、蠟の回収率を高めるためオートクレブ法などをはじめ急熱脱蠟法が採用されつつある。脱蠟の終わった鑄型は焼成され、充分な鑄型を持たせるとともに蠟の完全焼成を計る。鑄造には吸引鑄造、加圧鑄造、遠心鑄造、などが用いられる。鑄造されたものは、湯口の切断、サンドブラスト、エンドレスサンドペーパーその他によつて仕上げられる。ロストワックス法は非常に精度の高い鑄物を作ることが出来るが最近セラミックコアの開発が行なわれ、さらに精度の高い複雑な鑄物が作られるようになった。表 3.5.4~3.5.5 にそれぞれ蠟型の代表的組成、インベスト材の組成を示した。

表 3.5.4 蠟材料の成分例

	高 熔 点 パラフィン	脂 肪 酸 アマイド	硬化蠟	松 脂	ガルナ パウ蠟	ヌカ蠟
1	20	30	50	10	—	—
2	5	20	50	25	—	—
3	40	—	—	10	5	45

- ロジン誘導体、エチルセルローズの混合物など。特出公。昭 28-1856
- 鑄物用模型 " 昭 35-3754  
結晶炭酸ソーダー 60~80% と無水炭酸ソーダーとの熔融混合物を型に入れて凝固させ鑄物用模型とする。

(2) 熱硬化によるもの

1) 油 砂 型

極めて古い歴史をもっている。あまに油、または変性品、レゾール型フェノールレジンなどが粘結材として用

表 3.5.5 インベスト材の組成

シェル, ロストワックス法に用いられる珪酸エチル 40 の使用例

珪酸エチル 40+変性アルコール+3%塩酸+耐火物, ゲル化促進剤としては, 炭酸アンモニアを使用する。

コロイドシリカの適用例

コロイド状シリカに酸性リン酸塩を加え pH の調節により硬化の時間を調節する。

最近開発された酸性シリカゾルは酸化マグネシウムを添加することによりゲル化を調節する。

インベストメントには, アルミナ・セメントが用いられることもある。軽合金用には石膏が用いられる

いられるが, 造型後の生型強度を持たせるために, ベントナイト, 澱粉などが加えられる。造型後 120~130°C 程度の温度で, 鋳型の大きさに応じた時間だけ加熱される。最近では, 焼成時間を短縮することの出来る各種レジジンが開発されて来た。エアーセットレジジンと称されるのはこの種のものである。油砂型は極めて簡単なしかも手なれた造型法であるが, 粘結剤としての油は次第に改変されつつある。中子の造型にとくに多く用いられる。

#### 2) シェルモールド法

クローニングによつて発明された鋳型造型法である。加熱された金型の上に, あるいは中に, ノボラック型フェノール粉末レジジンと混合した砂を吹き込み, 適当時間後, 余分の混合砂を排砂したのち, 再び充分キュアリングし, 硬化の完了した鋳型を金型より離すことによつて造型される。正確な金型に模した鋳型が出来るので精度の高い鋳形が出来る。精密鋳型と呼ばれている。いかなる金属の鋳込みにも耐える。実質的な大きさの制限はない。鋳型の崩壊性は良好である。しかし, 鋳型製作費が高い欠点がある。レジジンと砂の混合物を用いる代わりに, あらかじめ砂にレジジンを被覆した, レジンコートサンドが用いられることが多くなつた。吹込による造型は, 中子にのみ限られていたが, 次第に大型のものまで吹込み造型が可能となつて, 現在では大型の主型も吹き込み方法によつて製作されている。したがつて現在のシェル鋳型造型法はダンプ造型方式, ブローイング造型方式の2つに大別されている。レジジン価格を安くする目的からリグニンの利用が考えられ, さらに最近では, 1. ステップタイプのレジジンの利用も進むものと思われる。生型造型法の高速化に伴い, さらに硬化の早い速硬性レジジンの開発が望まれている。また, 経済性, 精度向上のためXプロセスが注目されている。

#### 3) ホットブローイング法

加熱された金型に配合砂を吹き込んで短時間で中子を製作する方法はホットブローイング法と呼ばれる。シェル中子造型法と異なつて, 中空とすることが出来ないが, マンドレルを使用すれば可能である。これに用いる粘結材は, フラン系レジジンであることからFプロセスとも呼ばれる。ホットボックス法とも呼ばれている。

粘結剤は, フルフリーアルコールに酸を加え, 発熱反応を伴つた反応を起こすことを硬化に利用したものである。硬化が早いばかりでなく, 発熱反応を伴うので, 離型後も, 鋳型内部は自然と硬化が進行する。したがつて金型の占有時間を短かくする便利がある。フラン系レジジンとしては, 尿素変成されたもの, フェノール, 変性されたものなどが使用されるようになった。

フラン系常温硬化レジジンの場合と同様に, 使用される砂の性状に敏感で, 国産珪砂では, このレジジンに適したものが甚だ少ない。またわが国の大気湿度が高いために焼成後の経時変化による強度劣化が甚だしい不利がある。したがつてこの種レジジンの利用が米国ほど発展をとげるか, 疑問とするところであるが, 極めて崩壊性のすぐれていることから薄肉鋳鉄, 鋳ぐるみ中子, 軽合金用中子としての用途は広いと思われる。ホットブローイング法に使用される粘結材は一般に粘性に富んでいる関係上吹込造型は, シェルモールド法より困難である。吹込圧力を高め, ブローヘッド下のプレートの水冷を施すとか, 作業後のブローヘッド内の掃除しやすくするための考慮がなされなければならない。フェノール系レジジンで高速熱硬化性のものが要望されている。

### 3.5.3 その他

#### (1) ウォーターレスボンド (モイストチュアレスボンド)

鋳物の鋳造には鋳型の水分が害を与えることが多い。石油化学副産品とアルコールを粘結材とし生砂型造型法と同様な方法で作られる方法が開発されている。

#### (2) フルモールド法

気化性発泡ポリスチレン模型を生砂型あるいは, 常温硬化性鋳型砂にて充填し, 湯口より溶金を鋳込み, 鋳込金属の熱にてポリスチレンを燃焼させつつ金属で置きかえる方法はフルモールド法と呼ばれる。鋳肌の改善が望まれているが, 少種生産の大物鋳物の生産には好都合である。

#### (3) ショープロセス

エチルシリケートのゲル化現象を利用した鋳型の硬化造型法で, 大型の鋳物も可能である。精密な鋳物を作る方法で, 模型, 部品の製造に用いられている。

## 3.6 遠心鋳造法

遠心鋳造法は別に新しい鋳造方法ではないが, ここ 10 年間における進歩は特に顕著でその応用範囲は非常に広められて来た。

その理由は健全な鋳物の製作が容易であるばかりでなく, 製造方式の改良が多量生産を可能ならしめたことと, 遠心鋳造の持つ特長などが広く認識されて来たことによる。

従来の遠心鋳造法は給水用鋳鉄管を除いて鋳型の主体は砂型遠心鋳造であつたが, 砂型の場合造型に比較的工数を要することと, 金属の冷却速度が遅いために理論的な冷却進行状態を示さずそのためになる内外面の組織, 機械的強度の差および内面における肌の粗雑さに基づく歩留りの低下などを起し易く種々の欠陥も多かつた。

しかるにここ数年間における遠心鑄造法に対する研究と工夫ならびに外国の技術導入などによつて鑄型と造型が改善されて、その進歩普及には目覚しいものがある。

### 3・6・1 鑄 鋼

遠心鑄造法による鋼の生産は鉄鋼関係の中でも最も進歩が著しい。鑄鋼への利用は鑄鉄、銅合金に比べると非常に遅れていたが、先づ最初炭素鋼の遠心鑄造に成功して炭素鋼の排水管、発電所の灰流管、タンカーの油送管などを実用化し、その実績によつて急速にその他地下街地下鉄の支柱、各種テーブルローラー、ガラス用マシンローラー、高圧管等の応用範囲が広まり生産工場も数多く見られるようになった。

炭素鋼特に低炭素鋼の遠心鑄造は鑄鉄と異つて熱間割れや偏析を生じやすく、生産には幾多の困難が伴うのが普通である。その点では落合<sup>1)</sup>の詳細なる鑄鋼の遠心鑄造についての論文発表がありその普及に寄与するところが少なくなかつた。

多くの用途の中でも建築物用としての低炭素鑄鋼管は特殊な形状をしたもので SM-50 鋼材と同じ化学組成、強度と溶接性を有しており、現在では各種の高層ビルに採用されている。遠心鑄鋼管でビルディングが建設されることは世界最初の試みであり世界の注目を浴びている。この建築用遠心鑄鋼管を写真 3・6・1 に示す。

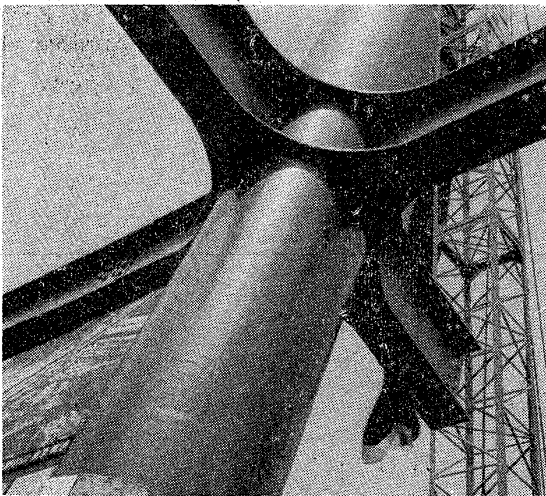


写真 3・6・1 建築用コラム (遠心鑄鋼管)

また特殊鋼では炭素鋼よりも早く実用化されている。しかし特殊鋼の応用もここ 10 年間のもので最初は製紙機械用のロールに用いられた。従来製紙機械のプレスロール、サクショクローラーなどには主として青銅ロールであつたが遠心鑄造の進歩にともなつて 13Cr ステンレス鋼によるロールに置換せられつつある。現在では製紙機械用の各種ロールは殆ど遠心鑄造である。その一例としては写真 3・6・2 に示すように、ステンレス鋼サクショクローラー (直径 1,100 mm, 長さ 7,000 mm, 前後厚さ 45 mm) で非常に大型のものまで生産されている。

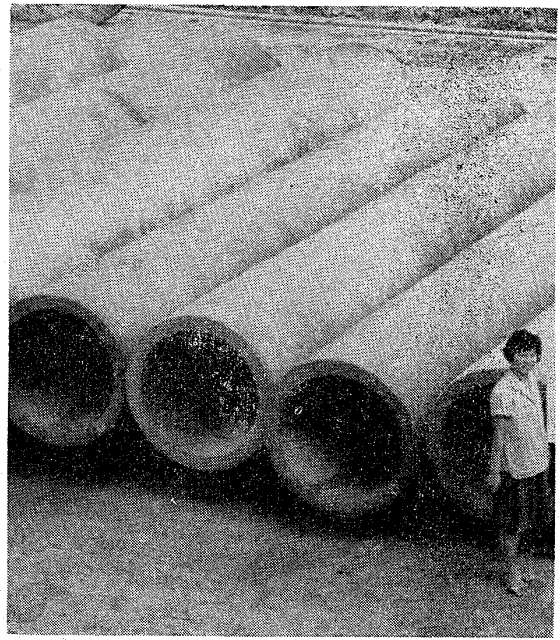


写真 3・6・2 製紙用 13Cr ロール

その他の遠心鑄造で作られるものを列記すると次のごとくである。

石油化学のリホーマーチューブ

25Cr-20Ni 鋼, 22Cr-12Ni 鋼

熱処理炉のファーネスローラー

25Cr-20Ni 鋼, 25Cr-12Ni 鋼

光輝焼鈍炉のラヂアントチューブ

35Ni-15Cr, 25Cr-20Ni 鋼

硝子製造用ロール

60Ni-20Cr 鋼

レトルト

35Ni-15Cr 鋼, 25Cr-13Ni 鋼

以上のようにその用途は広く一般化しつつある。写真 3・6・3 はラヂアントチューブを示しているが直線部は全て遠心鑄造されたものである。また写真 3・6・4 はファーネスローラー; 写真 3・6・5 はガラス用ペンディングロールである。

### 3・6・2 鑄 鉄

鑄鉄は比較的実用化も古くここ 10 年間の進歩としては生産量が著しく増大したことが挙げられる。ビルディングなどに用いられている排水管 (長さ 1,600 mm, 直径 75~150 mm) はその肉厚が 6 mm で、従来は可成り普通鑄造法で生産されていたが現在では肉厚が 4.5 mm 長さも 2,350 mm 程度になつたため殆ど全量が遠心鑄造に置換されている。また発動機のシリンダーライナーも遠心鑄造で造られ一部では一般的な横型でなく堅型遠心鑄造機で作られて多量生産方式として成功している。

普通鑄造によつて作られたものとの耐摩耗性の比較についての発表論文もあり実際に運転した結果も優秀であるといわれている。

普通鑄鉄ばかりでなくナイハード鑄鉄、ニレジスト鑄鉄も遠心鑄造によつてさらにその用途が増加しつつある。すなわち粉送管や耐酸性を要求する管などに用いられ、酸を使用する場所の排水管に高珪素鑄鉄が用いられ

輸出も行われている。

### 3-6-3 球状黒鉛鋳鉄

球状黒鉛鋳鉄は鋳鉄に比べて鑄造性が劣り普通鑄造法では色々問題もある。しかし遠心鑄造ではこの問題もほぼ解決され給水管鋳鉄管では球状黒鉛鋳鉄に置き変わりつつある。

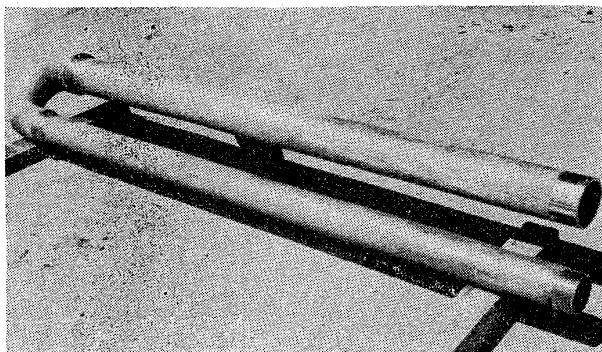


写真 3-6-3 ラジアントチューブ

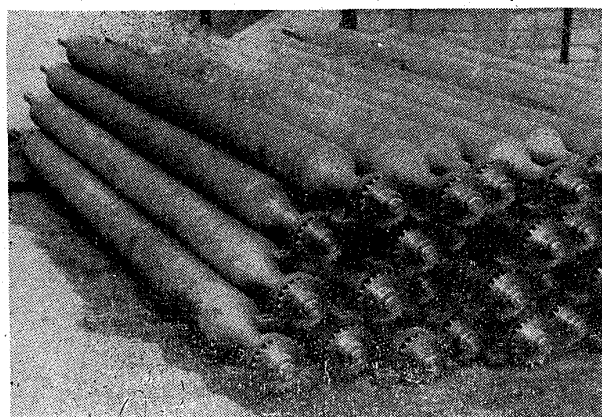


写真 3-6-4 ファーネスローラー

現在では口径 330 mm 以上の鋳鉄管の殆どが球状黒鉛鋳鉄で生産され、鋳鉄に比べて肉厚は 60% 程度に薄くなっている。すでに口径 2,400 mm, 長さ 4,000 mm の極めて大型のものが生産されている。現在では全鋳鉄管生産量の 70% 近くは球状黒鉛鋳鉄管となっている。

また球状黒鉛鋳鉄の持つ強度、耐摩耗性などが重視された結果圧延機用テーブルローラーには非常に多く使用されるようになったが、これらは全て遠心鋳鉄法によるものである。また、ガラスのテーブルローラーにも用いられつつある。

### 3-6-4 造型その他

遠心鑄造の発達には造型方法の発達によつて促進されたといつて過言ではない。すなわちシェルモールド法の導

入、CO<sub>2</sub> プロセスの発展、金型法の改良が品質の向上、多量生産を容易ならしめたわけである。球状黒鉛鋳鉄管の量産はシェルモールド法によるシェルライニング法で行われており、米国よりの技術導入によつて実用化された。またシリンダーライナにおいては CO<sub>2</sub> 法の活用によつて新しく多量生産方式が見出されており、塗金型も

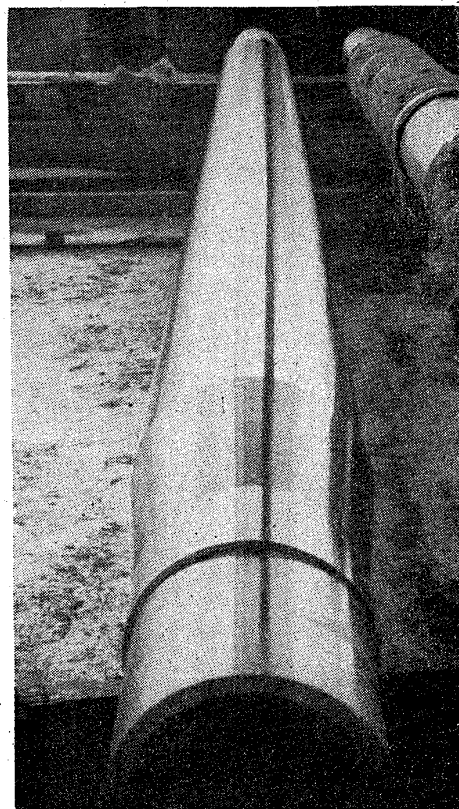


写真 3-6-5 ベンディングローラー

型材料の改善とスプレー法の改良が極めて平滑な鋳肌の実用を可能としている。一例としてステンレス鋼によるファーネスローラーは鑄放しのままで使用されるが、その鋳肌は 50 $\mu$  以下のものの生産も可能となつている。

建築用鋳鋼管も金型による多量生産方式をとつており、小口径の鋳鉄管もドラボアの金型水冷遠心鑄造機によつて生産されている。

またその他の方式による金型遠心鑄造法も行われており、今後ますます用途の拡大も行われ、大いに発展するものと思われる。

### 文 献

- 1) 落合：鋳物，36 (1964) 1, p. 48