

4. 加工・システム

4.1 鑄物

4.1.1 展望

鑄物工業において過去 10 年間の技術変化は大きなものがあつた。変化をもたらした原因は主に外的なものであつた。エネルギー多消費型の産業である鑄造業界にとって、石油危機以来の省エネルギーの方向は、溶解、造型、熱処理の各分野において積極的に取り組まれた。環境対策も初期には外的な因子によつて影響されたが、ほぼ目標を達した。省力化、システム化の方向は一般と加速されてきた。これらの個々の具体的技術は、鑄鉄、鑄鋼の項で与えられるので、ここでは生産量の推移について述べる。

図 4.1.1 は昭和 45 年から 58 年までのわが国の鑄物生産量の推移を描いたものである。変化を大きく表すために、生産量を対数グラフで示した。鑄物合計の生産量は昭和 48 年をピーク（約 780 万 t）にして急減した後、昭和 50 年頃より徐々に回復してきたが、現在でもピーク値には達していない。鑄鉄系材料はねずみ鑄鉄鑄物、球状黒鉛鑄鉄鑄物（両者を合わせ銑鉄鑄物と総称される）、鑄鉄管（材質的には球状黒鉛鑄鉄がほとんどである）、可鍛鑄鉄鑄物を合計すると、鑄物全生産量の約 8

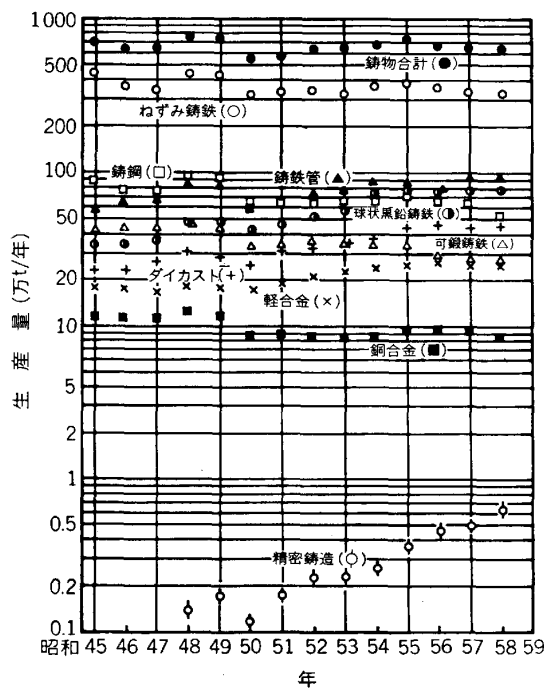


図 4.1.1 わが国の鑄物生産量の推移

割を占めることがわかる。

鑄物全体の伸びは停滞しているが、球状黒鉛鑄鉄、軽合金、ダイカスト、精密鑄造の伸びは著しい。軽合金鑄物、ダイカスト製品はその 8 割が自動車向けであり、自動車工業の伸長と共に、生産量が成長した。

図 4.1.2、4.1.3 に銑鉄、鑄鋼鑄物の需要部門別生産量の推移を示す。銑鉄鑄物においては、自動車部門の比率が約 10 年前の 1/4 から 1/2 に大きく上昇していることがわかる。また、かつて、ねずみ鑄鉄鑄物の大きな分野を占めていた鑄型部門が連鑄比率の増加に伴い激減した。球状黒鉛鑄鉄鑄物は自動車部門のみならず、他の産業機械部品に他の材料の代替として広く使われている

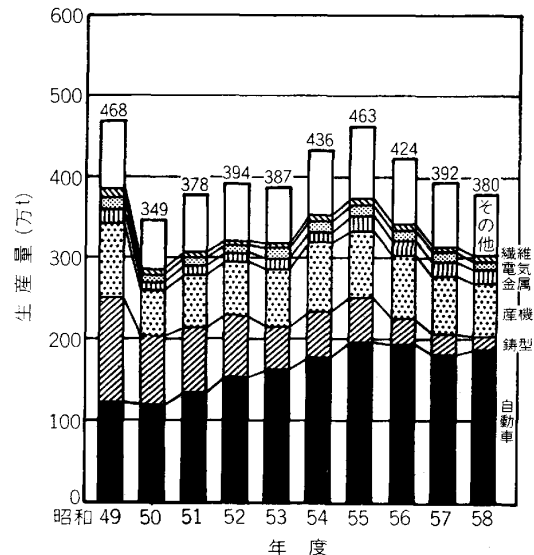


図 4.1.2 銑鉄鑄物需要部門別生産量の推移 (鑄物年鑑(昭和 58 年版), p. 38)

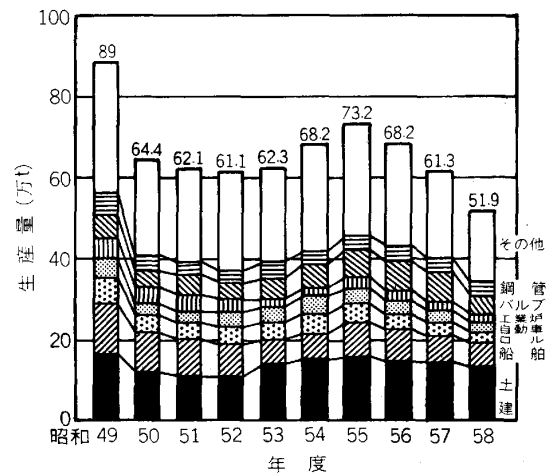


図 4.1.3 鑄鋼需要部門別生産量の推移 (鑄物年鑑(昭和 58 年版), p. 78)

様子がわかる。ねずみ鋳鉄鋳物も自動車部品の生産量は増加しているが、鋳型に替わる有力な需要先が見出されなかつた。

鋳鋼は鋳鉄鋳物と同様の推移であるが、近年の減少率が大きい。土木建築部門は安定した需要先であるが、建設機械の伸長を考えると、この部門でも需要割合は減少していることがうかがわれる。他の部門も傾向的に減少している。

4.1.2 鋳鉄技術

(1) 原料鉄と溶解

鋳鉄鋳物の需要は近年自動車 46%、産業機械器具 18%、鋳型、鋳型定盤 7% となり自動車向が伸びている。また可鍛鋳鉄は管継手 47%、自動車 34% で 10 年前と比べるとやや自動車向が後退している。

原料の鋳鉄生産量は昭和 48 年 21 万 t あつたものが、57 年に 82 万 t に落ちこんできているが、これは鋼屑、返り屑等の使用比率が増加したためで、原料鉄中の鋳鉄 18%、鋼屑 37%、返り屑 30% となり鋳鉄は約半分の比率となつた。とくに自動車工業では鋳鉄原料として車体用極軟鋼板屑が得られるので、鋼屑の配合率は、低周波炉で 80%、アーク炉で 70% という高率の例もある。自動車の軽量化にともなう薄肉化と鋼板素材の製品歩留向上により鋼板屑の台当たり発生量が減少し、一時自動車鋳鉄源の自給不足となつた。一方鋳物用鉄は鋼用鉄に比べ、成分調整上高価となる。そこで、より安価な鉄源利用の検討がなされた。低 Si 鋳物用鉄、粒鉄、還元鉄、カーシュレッダー屑等はそれぞれの長所短所があるが、今後検討が必要であろう。近年車体用鋼板に防食用の亜鉛被覆鋼板が、また軽量・安全対策用に高強度鋼板が使用されつつある。これらの鋼板に含まれる Zn, Mn, P, Ti, Nb 等の元素は鋳鉄溶解や製品品質に影響を及ぼすので取扱いに注意を要するようになった。

溶解炉はスクラップの処理や操業の安定性からキューボラが減少し低周波炉が伸びてきた。しかし昭和 48 年末のオイルショック時の電力事情の悪化からキューボラの見直しがなされるようになった。熱風水冷キューボラの発展

表 4.1.1 各種鋳鉄溶解方式に及ぼす亜鉛被覆鋼板屑

項目	低周波炉	キューボラ	アーク炉
亜鉛鋼板配合割合	>10%	>10%	>10%
製品中の亜鉛量	0.0×%	0.00×%	0.000×%
材質への影響	FCの硬さ、強度低下	なし	なし
設備への影響	炉コイルセメント面に金属亜鉛析出	とくになし	なし
環境上の問題	工場内雰囲気悪化	とくになし	とくになし

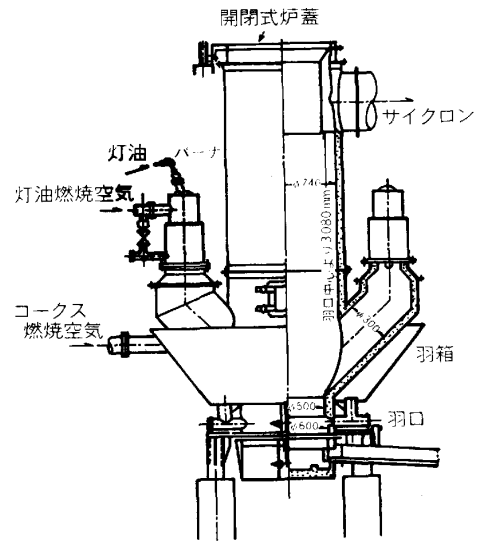


図 4.1.4 クリーンキューボラの構造
(阿部：総合鋳物センター研究調査報告 278 号 (昭和 56 年 9 月))

はその所産であろう。キューボラの大気汚染と省資源・省エネルギー対策から、クリーンファンドライシステム開発の一環として総合鋳物センターのクリーンキューボラが検討された。液体燃料をバーナーで燃焼しコークス比を下げ、溶解効率は 40% を超え、排ガス中の S, NO_x の極めて少ない結果を得ている。キューボラの大形化と共に省エネルギー面では、分別送風、酸素富化等の方法を適用する方向に進んでいる。キューボラの再認識と共に、電気効率の高いサイリスタ式インバーターを利用した高周波炉の使用が始まっている。低周波炉に比べて、同一炉容に対して高入力が得られるので、同一溶解量に対して炉体からの熱損失が小さく、周波数変換効率を加味しても操業条件によつては省エネルギー対策に効果がある。炉容が小さくなることから、操業が容易になり、炉材消費量が低減され、夜間休日の保温は不用になる。スクラップ、リターン材でスタート可能で、毎回空炉にできるので、成分変更が容易となる。電力調整が容易で、通電中無段階調整ができるので、将来温度センサーが確立された場合、自動温度制御運転が可能となる。一方炉容が小さくなるため、投入材料が制限され、場合によつては材料コストが高くなる；昇温速度が大きいので、成分分析時間とタイミングが合わない場合、無駄時間が生ずる；毎回空炉からの溶解をした場合に成分変動が起こりやすい等の欠点がある。低周波炉も電氣的効率向上のくふうがされており、また大型化の傾向がある。従来操業性から、溶解にはるつぼ型炉が使用されているが、電力原単位の低いチャンネル型炉を使用することが進められている。さらにインダクターの改良により、休止時チャンネル内に溶湯を凝固させるくふうがされている。またマイクロステップコントロールによる单相送電が採用される

ことにより、パワースイッチは簡単となり、設備のコストダウンが可能となっている。

(2) 鑄型造型

(a) 生砂型

もつとも安価なしかも製品の大きさに左右されることの少ない生型は、この10年鑄鉄用鑄型の主流であるが、粘結剤の製品品質への影響等を考慮に入れば、添加量を極力少なくした方が良く、また型の精度を上げるためもあつて高圧造型が普及した。生砂造型は、ジョルトとスクイズが主体であるが、ブロースクイズあるいは、砂をブローしたあと、バイプレートスクイズする方法もとられる。またジョルトやブローイングとは異なり、枠の中に砂を入れ、圧縮空気をごく短時間吹き込み、砂を固める静圧造型法がある。砂の中に気流を透過すると、砂の一粒一粒に下向きの力がかかり、砂は下から蓄積圧力によつて締め始める。これにスクイズを組み合わせると上部の砂をしめる方法である。近年図4-1-5に示す無枠方式の大型自動造型機が急速に普及した。表4-1-2に無枠造型機の種類を示す。図4-1-6は静圧スクイズ方式無枠造型機で、砂は重力またはブローイングで行い、流気加圧でパタン面をジョルト以上に締めた後ス

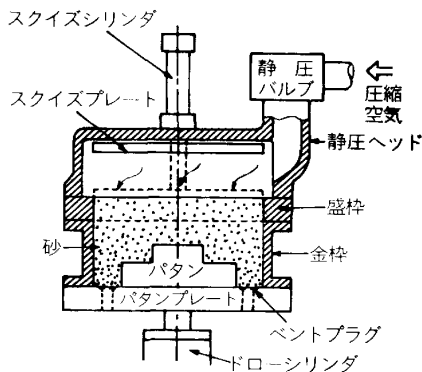


図 4-1-5 静圧造型機
(志村：鑄型造形法概説(昭和56年11月), p. 20 [鑄造技術普及協会])

表 4-1-2 無枠造型機の種類
(志村：鑄型造形法概説(昭和56年11月), p. 22 [鑄造技術普及協会])

1. 水平割造型機
 - 1 スクイズ方式
 - 2 ブロースクイズ方式
 サイドブロー方式、上下ブロー方式
 - 3 静圧スクイズ方式
 - 4 シングルステーション機とマルチステーション機
2. 垂直割造型機
 - 1 モールドチャンバ固定型
 - 2 モールドチャンバ移動型
 - 3 シングルトラック型とダブルトラック型
3. 縦型造型・横型注湯方式

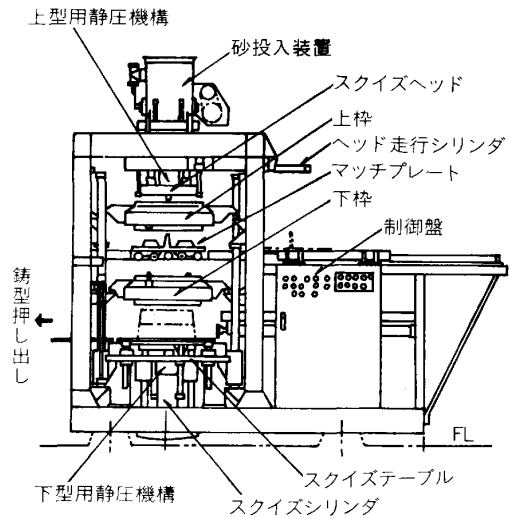


図 4-1-6 静圧スクイズ無枠造型機
(志村：鑄型造形法概説(昭和56年11月), p. 23 [鑄造技術普及協会])

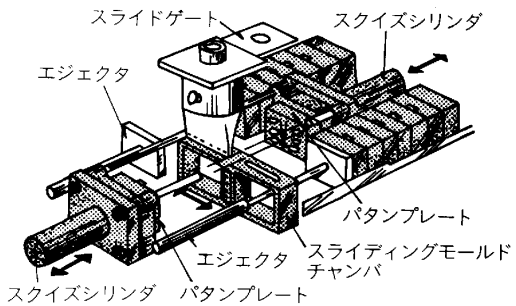


図 4-1-7 ツイントラック垂直割無枠造型機
(志村：鑄型造形法概説(昭和56年11月), p. 25 [鑄造技術普及協会])

スクイズする方式である。下枠に砂を重力で投入後、マッチプレートを装入し、上枠を緊着して、上枠に砂を投入する。下枠にプレ静圧をかけて砂をパタンに密着させた後、上下から同時に圧縮空気を作用させ、パタン面を流気加圧で砂締めした後、上下から同時スクイズを行つて均一な鑄型を成型する。垂直割造型機は垂直割の鑄型をブロースクイズで造型し、しかも鑄型を垂直のまま押し出して、移動する間に型合わせして注湯するもので高い生産性をもっている。図4-1-7はツイントラック型垂直割無枠造型機を示す。

(b) 熱硬化性鑄型

我が国の経済成長、とくに自動車産業の急伸と共に発展したシェルモールド法も今や安定期に入つた。そして昭和48年のオイルショック以降、省資源、省エネルギー化の動きは、加熱硬化エネルギーの消費低減、硬化速度の向上、鑄物の薄肉化、複雑化に対応する寸法の安定性の向上すなわち低膨張化、あるいは作業環境改善のための低臭化等が進められた。レジシンバインダーの性能、混練技術、砂質等の向上により添加量は減少しており、速

硬性レジンの開発はとくに添加量低減に効果がある。低膨張化は基材によるところが大きい、選択にも制約があり低膨張化レジンの開発を促したのである。造型時のヘキサミン分解時の余剰アンモニアガスがフェノール臭と共に環境を悪化させるので、対策として発生源のヘキサミンを使わないレゾールレジンの使用が有効である。ノーヘキサレジンとノボラックレジンと組み合わせたものが作られ、造型性もほとんど問題が無くなり、ノーヘキサレジンが普及した。さらにノーヘキサレジンがガス発生量が少ないため砂の粒度を細かくしてもガス欠陥が発生し難く、したがって塗型を少なくすることができ、両々あいまって品質の向上も期待できる。

(c) 有機粘結自硬性鋳型

近年、無機系自硬性鋳型に比べ、手軽な造型、良好な崩壊性、簡便な砂再生などの利点のある有機系自硬性鋳型が増加してきた。これには、フラン系とフェノール系が多い。フラン系は石油系ではないので資源的には有利であるが、各年の天候等に影響する収穫量の多少により価格の変動が多いため、フェノール系の開発が進んだ。当初はウレタン結合によるもの、次いで酸硬化によるものが使われてきている。比較的大物の鋳物にはフラン系が、また量産鋳物にはフェノールウレタン系（ペブセット類）が好んで使われている。フラン鋳型は一般には尿素-ホルムアルデヒド変性フラン樹脂であるため、樹脂中に窒素分を含み、この窒素が鋳造欠陥を発生させる可能性をもつ。したがって、樹脂は窒素分の多い低級フラン樹脂から窒素分の少ない高級フラン樹脂へと移行してきた。硬化触媒も回収砂に残留しやすく、したがって回収砂の劣化に影響するりん酸をやめ、有機酸系が使われ、最近ではキシレンスルホン酸が主に使用されている。

ペブセット法は、フェノール樹脂、ポリイソシアネートおよび塩基性液体触媒の3液を砂に混合して、2液のウレタン化反応により迅速に砂を硬化させる方法で、中～小型の主型あるいは中子の量産に適している。米国から技術導入されてから、我が国の国情に適した方向への改良が加えられてきている。

リノキユア法は油変性アルキッド樹脂を本剤とし、促進剤のナフテン酸金属塩と硬化剤のポリイソシアネートの混合によりウレタン化反応を生起させ、さらに乾性油内の不飽和結合物が空気中の酸素で酸化され架橋し硬化するものであり、砂についての選択性は少なく、混砂の流動性が良く、型のしみつぎが無く、抜型しやすいし、再生砂は90～95%使用できる等の利点があり使用の範囲が拡大している。

(d) ガス硬化鋳型

CO₂鋳型の鋳造後の鋳型の崩壊性と砂の回収再生の困難さをカバーする有機鋳型が発展した。

コールドボックス法は通常鋳型造型後に通ガスすることにより硬化させるもので、CO₂プロセス、イソキユア法（アシュランドプロセス）、SO₂法などが代表的である。イソキユア法は米国よりの導入直後は装置上の不慣れから普及に時間がかかったが、硬化に熱エネルギーを必要としない。シェルモールド法の造型速度の3倍の高速性、高寸法精度等の利点から最近の伸びは大きい。とくに我が国の事情に合わせた材料、装置の改良、くふうがなされた。最近、シンコアプロセス、HV（Hot mold Vacuum）プロセス等のように揮発性の高い溶剤に粘結剤を溶かしたもので造型した後、鋳型内に多量の空気を通したり、減圧排気して溶剤を揮散させ硬化する方法もある。最近、少量の水ガラスとCO₂で硬化させるために、減圧排気して、空気と硬化剤を置換させるVRH（Vacuum Replacement Hardening）プロセスが開発され、実施試験が行われつつある。

(e) 減圧造型鋳型（Vプロセス）

1971年に発明されて以来、著しい進歩発展をとげているVプロセスは、その製品の範囲は広い。装置上の発達には、高速自動化である。熱線吸収の良いフィルムを使用することで、フィルムの加熱成形時間を短縮し、また鋳込方案の研究により塗型を省略し、さらに特殊バルブの開発により吸収装置の着脱を自動化することなどにより、生型自動造型速度にはほぼ匹敵する120枠/hの装置が開発された。また生型造型では不可能な大物鋳型の造型や砂処理装置を必要としない乾燥砂使用の利点など長所が多く、高速造型法として発展するものと見られる。

(3) 鋳鉄材料

(a) コンパクトバーミキュラー黒鉛鋳鉄（CV 黒鉛鋳鉄）

近年バーミキュラー（Vermicular）黒鉛鋳鉄、あるいはコンパクト（Compacted）黒鉛鋳鉄と呼ばれ一般にCV黒鉛鋳鉄で表現される片状黒鉛鋳鉄と球状黒鉛鋳鉄のほぼ中間に位置する新しい鋳鉄材料が検討されている。片状黒鉛鋳鉄よりすぐれた強度、じん性、耐熱性を期待し、球状黒鉛鋳鉄よりも良い鋳造性、熱伝導、減衰能をうる事が狙いである。

製法としては、従来の黒鉛球状化剤を使用する方法、とくにMg合金の量を狭い範囲で使用する方法と黒鉛球状化剤に適切な球状化阻害元素を配合したCV黒鉛化処理剤（たとえばMg：4～5%、Ti：8.5～10.5%、Ce：0.20～0.35%、Ca：4.0～5.5%、Al：1.0～1.5%、Si：48～52%、Fe：Bal.）を添加する方法などが試みられている。

熱伝導性は片状、球状両黒鉛鑄鉄の間に位置することが確認され、機械的性質については Ti-Mg, Mg-Si 合金添加により、黒鉛平均球状化率 0.35~0.55 の範囲で引張強さ 35~40 kgf/mm²、耐力 20~30 kgf/mm²、伸び 7~11% の値が得られている。また含 Ti 処理剤の溶湯の熱分析により、共晶反応は 2 段に現れ、1 段目は球状黒鉛晶出、2 段目は CV 黒鉛の晶出に関連していることが示された。光学顕微鏡で球状黒鉛が伸びたと思われる CV 黒鉛をいくつか観察し、さらに CV 黒鉛は各方向に屈曲して連なり、さんご状の複雑な形状をとるので、片状黒鉛と大きく異なる。Ca 添加剤による CV 黒鉛鑄鉄について、Mn 量と注湯後の型ばらし時間すなわち冷却速度を変えて得た基地組織の異なるものの引張特性、衝撃特性は基地のパーライト量により変わるが、いずれもパーライト量 40% 付近で曲線に遷移現象が見られた。これは CV 黒鉛の存在形態とパーライト組織のマクロ的な連続性に起因するものと考えられた。鑄放し完全パーライト基地の CV 黒鉛鑄鉄を得るために、Si の高い溶湯への Sb の添加と、黒鉛形状をととのえるための Ce 添加が比較的良い結果がえられた。酸性キュボラの高 S 溶湯に中国産の高稀土類元素含有の合金で CV 黒鉛鑄鉄の製造に成功している。CV 黒鉛化処理剤で得た CV 黒鉛鑄鉄のもどし材への影響を調べ、処理剤の残量の影響は小さいことがわかった。短時間高周波焼入処理を施し、ハードアイ組織を与えたものは、耐摩耗、強度向上に役立つ。

(b) ベイナイト鑄鉄

球状黒鉛鑄鉄をさらに強度向上させるために、基地をベイナイト化する方法が、あらためて検討されるようになった。とくに球状黒鉛鑄鉄をオーステンパーによりベイナイト化する方法が進んでいる。成分は一般の球状黒鉛鑄鉄の組成に、少量の Cu, Mo, Mn, Ni 等を添加したものである。オーステナイト化にはオーステナイトに C が過剰に溶け込むことを避け、また添加元素の A₁ 点降下の働きもあつてその温度は低目にとる。また事前にフェライト化しておくことも良法である。オーステンパーの浴温は、製品の大きさにより 300~375°C がとられている。オーステナイト化したあと、A₁ 点直上の 800~820°C に下げて浴に投入し、1~2h 保持するのが通常であるが、200°C 前後の浴に急冷したあと引き上げて目標温度の浴に移し変態を完了する方法もある。フィンランドのキュミン、キュメネ社のキメナイトは Mn, Mo, Cu を添加し、900°C 2h 加熱後 370°C で 10 min ~4h 塩浴保持し、上部ベイナイトと残留オーステナイト (20~50%) の組織とし、引張強さ 98~110 kgf/mm²、伸び 5~6.5%、疲れ強さ 46~50 kgf/mm² 硬さ HB 311

~312 を得るといふ。西独の GGG 100/BA は、Mn, Ni, Mo, Cu を含み、上部ベイナイト (60~70%) とオーステナイト (40~30%) の組織で引張強さ 100 kgf/mm² を得る。この処理は 820~830°C に 10~60 min 保持してオーステナイト化した後、375°C に 2 min 以内に急冷、その温度に 5~60 min 保持する。これら 2 例は、上部ベイナイトと残留オーステナイトの混合組織を狙うものであるが、一方オーステンパー温度がやや低目の 230~290°C で処理して、針状の下部ベイナイトの強度や耐摩耗を利用する自動車用歯車向け熱処理が米国等で検討されている。また Mo, Ni を添加したフェライト地の球状黒鉛鑄鉄を短時間オーステナイト化温度に保持し α+γ 共存の状態に 300~400°C でオーステンパーし、フェライト、ベイナイト 2 相混合組織で強靱化する検討もされた。

(4) 自動化、エレクトロニクス化

昭和 48 年のオイルショック、それに続く長い不況は、新しい技術を積極的にとり入れる鑄物業界の体質からかえつて省エネルギー化、省資源化の指向から、自動化、エレクトロニクス化が進められている。

(a) 生産管理

財務関係の OA 化はもちろん、月度、日々の生産計画さらに時間的在庫管理まで、早くかつ正確に行われるようになってきた。

(b) 鑄造方案

従来、鑄物技術者の経験により設計された方案も、数値解析法により、引け菓子測が可能となりつつある。さらに大型機からマイクロコンピュータ使用へと改善くふうが続けられている。

(c) 砂処理

我が国特有とも言うべき砂処理は無人化され、生砂についても、砂温、水分量の計測技術の向上と共に自動調整が可能となつている。

(d) 造型

高速大量生産の大型造型機では、多種類、多数個込めが必要であり、このためパターンのセグメント化が計られる。しかも製品在庫を最小限にするためには、ロット数を減少することが重要で、そのため型替え回数は増大するので、型替えの自動化、高速化が進んでいる。

(e) 注湯

鑄物品質上、重要な要素として、注湯の高速、安定化がはかられている。自動化が進み、作業者のばらつきは防がれる。とくに連続造型、注湯ラインの無人化が進んでいる。ストッパーロッドのない注湯機は、注湯口の断面積と湯のレベルで注湯速度を一定にしている。また窒素ガスで湯面加圧し湯を押し上げて注湯する方式では、

注湯口の圧力をモニターしたり、自動加圧の場合は注湯量は赤外線計で計量されるものがある。またインダクターを内蔵し、保持炉をかねてガス加圧注湯する方式もある。注湯技術はますます発達するものと思われる。

(f) 仕上げ

堰折り、ばり取りの自動化はもつとも必要な工程である。堰折りに一部 NC 制御が行われている例もあり、またばり取りでは 5 軸の自由度をもち、可搬重量 60 kg のばり取りロボットも検討されている。

(g) ハンドリング

注湯後の枠ばらしで、製品の位置や方向を正しくそろえるには、枠ばらしの前に製品をクランプする必要がある。そのため鑄型の中にクランプ装置を押し込み製品を取り出す工夫をした装置がある。これはクランプ位置を記憶させ、鑄型停止位置を造型機側からの信号で判断させる方法がとり入れられている。

4.1.3 鑄鋼技術

(1) 材質・用途開発

昭和 47 年頃より低炭素 Mn-Mo 系のボロン鑄鋼 (63 kgf/mm² 級高張力鑄鋼) が建設機械の溶接一体構造用鑄鋼品として生産されてきたが、焼入性と耐衝撃性の安定性が不十分であつたため、より広範囲な用途への利用が阻まれていた。ところが、オイルショックを契機として資源ナショナリズムが台頭し、戦略資源としての Mo が高騰した。一方、建設機械などでは次第に大型化の傾向が強まり、苛酷な条件下で使用し得る高級鑄鋼品をより安価に製造できる技術の開発が必要となつてきた。

このような背景をうけて、Mo を含有しないか、必要最小限度の添加にとどめた新鋼種を開発し、安価でかつ焼入性が高く、高い強度と良好な耐土砂摩耗特性を備えたボロン鑄鋼製造技術を確立する必要性が高まつた。

これらの技術的課題を解決するため、大気中でのアーク炉溶解でボロン鑄鋼の焼入性を高いレベルで安定させ製鋼メーカーに比べて少量 (5~8 t) の溶鋼ボロン処理法として、Fe-B 合金鉄鑄ぐるみ Al 塊によるブランジャー添加法による溶湯処理技術を確立した。また、Mo を添加した場合と同等の焼入性および焼もどし軟化抵抗性を満足し得るボロン鑄鋼としての合金設計と最適化学組成範囲を設定した。

以上により、ボロン鑄鋼の基本製造技術が確立され、溶接構造用高張力鑄鋼部品から、強靱耐摩耗部品および重衝撃荷重のかかる耐摩耗部品へと、ボロン鑄鋼の使用が拡大されている。今後は、さらに耐久性の向上と薄肉軽量化をねらいとし、苛酷な土砂摩耗にさらされる部品

への適用拡大と、ボロン鑄鋼の材質特性を最大限に発揮した部品への適用が期待されている。

(2) 溶解

電力費は鑄物の鑄放原価全体の 10% 弱であり、このうちの約 50% を溶解電力が占めている。したがって、近年省エネルギーの観点から、鑄鋼の溶解電力の節減が重要度を増してきている。

アーク炉 (トランス容量 3125 kVA) を例にとると、電力を溶解期に 45 kWh/min、酸化期に 43 kWh/min、還元期に 30 kWh/min 消費する。この量は湯量によって変わり、迅速溶解が電力の低減につながる。トランス容量すなわちチャージ当たり電力量が増すと溶解期時間が短縮される。したがって、炉容量に対して標準よりも大容量のトランスを設備した、ハイパワー炉の採用により迅速溶解が可能となり、省エネルギーの効果が大きい。トランスの改造には莫大な費用がかかるほか、工場の立地条件をふまえた環境規制が年々厳しくなりつつあるので、比較的炉容量の小さい鑄鋼溶解ではあまり普及していない。

電力エネルギーを節約し省資源を図る操業法として、溶解期に電力に代わるエネルギーを投与する方法があげられる。これには、装入材料の予熱、助燃バーナなどがある。装入材料の予熱の場合、ハイ・スピードバーナよりもその効果が大きい場合が多い。この装置が北欧で普及し始めたことから、雪塊、水を含んだスクラップの安全対策とあわせ、消費電力の低減が可能である。チャージング・バケットの改造で 2 基の連続使用によつて、イニシャルコストも少なくすむ。400°C 程度の予熱は、主にバケットの耐熱性も考慮した望ましい温度であり、これによつて消費電力の 15% 節減が可能となり、今後ますます普及することが期待される。

鑄鋼溶解におけるここ 10 年の進歩として炉外精錬法があげられる。炉外精錬法の思想的起源は 1952 年西独で開発された真空脱ガス法に始まる一連の真空処理法にあるが、現在の炉外精錬法として明確な地位を築いたのは、1970 年代後半で、現在では生産性向上、コスト低減、品質向上などのニーズにより溶解炉にとつて不可欠の設備となるに至っている。炉外精錬法をこれまでにせしめた背景の一つは設備合理化による溶解炉の高効率化がありもう一方では品質要求の高度化、すなわち不純物の低減、成分、温度の一定化、品質ばらつき低減などである。一般に鑄物業界においては鋼種が多岐にわたり、炉外精錬法にもフレキシビリティが必要で、この点よりまず温度調整機能を備えることが要求され、現在これを満足するプロセスとしては、AOD 法があげられる。

1978年以降 AOD 法は、上記の精錬特性を活かして鋳物用としても、米国、西独、フランス、英国、日本、スイスなど広範囲に用いられている。その炉容量平均は 10.4t であるが、最近は小型化の傾向が著しい。

製鋼用に用いられる大型 AOD と同様、小型 AOD でも同等の不純物精錬効果が得られる。AOD 法により精錬されたステンレス鋳鋼および低合金鋳鋼、普通鋳鋼の例では、とりわけ低合金鋳鋼、普通鋳鋼で窒素、水素含有量の低いことが注目され、中でも 20~50 ppm の窒素値は大型転炉でも容易に到達できないレベルである。一般に小型炉の脱ガス設備は極めて高価なものであり、この AOD 法による精錬効果は、その簡便さ、迅速性とあいまって将来の一方を示唆するものとなろう。

(3) 造型

(a) 主型造型

近年造型法の発達と共に主型の種類は数多くあり、使用する粘結材で分類すると、無機系では主にベントナイトを用いる生型をはじめ、水ガラスを用いる炭酸ガス型、Nプロセス、ダイカル型やセメント鋳型などがある。有機レジン系ではフラン、リノキユア、コールドボックス、ハードックス鋳型やシェルモールドがあり乾性油を用いる油型などがある。また粘結材を使用しない造型法にはVプロセス、フルモールドなどがある。

このような砂型造型法のほとんどは耐火骨材にケイ砂を使用しており、非鉄や鋳鉄部門では従来からこれをリサイクルして、再利用することが行われてきた。鋳鋼では耐火度を必要とするため、生型ライン再生砂は水洗処理した清浄度の良いものが使われていた。しかし水洗再生法は乾燥が必要であり、污水处理設備を要するなど問題点が多くあつた。また、自硬性では乾式再生法が採用されているが、粉碎一衝撃スクラビング一除粉処理した砂は破碎により歩留りが悪い、清浄度が不十分で新砂同様に使用できないなどの問題点があつた。一方、使用後の廃砂の投棄は公害規制が厳しいため指定場所以外への投棄は禁じられたために投棄費が大都市周辺では新砂購入費に見合うほどに高騰した。このため砂再生は一般化し、効率のよい再生法の開発が急務となつてきた。

新しい省エネルギー型砂再生法は昭和 50 年頃より設備メーカーと共同で検討が進められ、品質が良くコストの安い再生法として乾式スクラビングが開発された。この方法は遠心力または攪拌により砂を流動化させて砂粒同士のこすり合いで表面の不純物を除き新砂に近い品質にできるもので、粒形改善も期待できる。このため鋳鋼生型ラインの再生砂を主型ばかりでなく、中子の CO₂ やフラン、油砂に利用し砂のクローズドシステム化を計ることが可能になつてきた。図 4.1.8 にシステムサンの

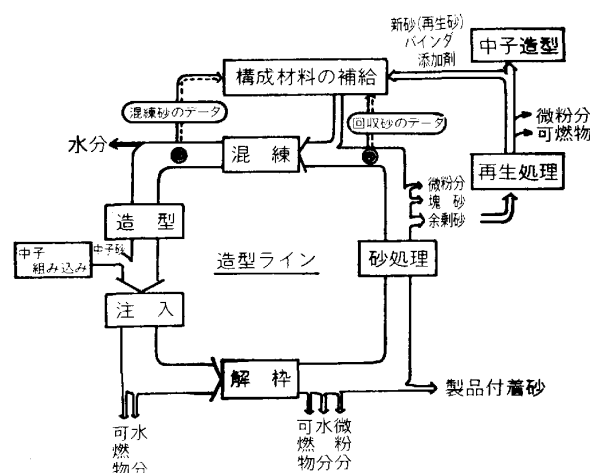


図 4.1.8 システムサンのフロー

のフローを示す。

この結果、鋳鋼生型ラインでも新砂原単位を従来の 1/2 の 120 kg/t-鋳物、再生費を新砂購入費の 1/3 以下に低減し大きな効果をあげている例もある。

システムサンの品質は混練によつて常に管理目標内に入るように調整されなければならない。一般に回収砂の特性はばらつきが大きいとされているが、最近のように鋳鋼工場でも肌砂に回収砂を多量に配合するようになってくると、解砕から回収砂タンク出口までの工程における回収砂の残留水分・粘土分・粒度および温度の変動に留意し、これを計測・調整するいわゆるシステムサンのコントロールが必要となつてくる。

鋳物砂中の水分計測システムは、国内でも数種類のものが実用されているが、そのシステムはほぼ同じで温度補正装置付きのマイクロコンピュータ仕様のもので普及している。

通常解砕砂は高温になつており、これをクーラによつて冷却する設備が必要である。この場合砂温を熱電対で測定し砂温に比例した注水を行うと砂温を所要温度にまで下げることができる。この結果混練砂の水分コントロールが容易となる。水分のコントロールは電気抵抗式水分計によつて混練前の原砂水分を測り、不足分の水を混練機内で注入する方式が水分測定注水方式といわれているものである。このような装置を導入すれば水分の管理範囲を目標に対して $\pm 0.2\%$ 以内にするができるほか砂温の引き下げや混練時間の短縮も可能になる。

システムサンの造型性を表す指標にモルダビリティやコンパクトビリティがあり、モルダビリティコントローラは連続ミキサーに装着し実用されている。コンパクトビリティは近年現場での主型砂の管理指標として普及

してきており、自動計測装置の開発も試みられている。

(b) 中子造型

生産個数の多い鋳鋼品の中子は、品質の最も安定しているシェルモールドが主に用いられている。低炭素鋳鋼品ほど鋳込温度が高く、溶湯が活性であることから、肌荒れ、ベーニング、ガス欠陥などが発生しやすい。このため、肌荒れ、ベーニング防止策としてコーテッドサンドに FeO や Fe_3O_4 などの酸化鉄を添加したり、クロマイトサンドやジルコンサンド、また高マンガン鋳鋼ではオリビンサンドなどを必要とすることもある。

ガス欠陥は、レジンの硬化剤として用いるヘキサミン中の窒素により引き起こされ、窒素量の多いほどガス欠陥が発生しやすいので、ノボラックレジンとレゾールレジン合成したローヘキサレジンやノーヘキサレジンが用いられる。ノーヘキサレジンでは温度により劣化しやすかつ硬化速度が遅い、ピールバックが起きやすいなどの問題があり、生産性を考慮してヘキサ添加量を 3~5% にしたローヘキサレジンが一般に用いられている。

造型の手軽さ、崩壊性の良さ、砂再生の簡便さなどの利点が注目されて、有機系粘結剤の利用が少量生産において急増し、ほとんどがこれである。鋳鋼品ではフラン系、フェノール・ウレタン系（ペプセット）が多く用いられているが、フラン樹脂は熱間強度が有機粘結剤中で最も高く、かつガス発生量も比較的少ないので、鋳鋼用としてはフラン樹脂が主に用いられるようになった。

フラン樹脂は一般には尿素-ホルムアルデヒド変成フラン樹脂であるため、ホルムアルデヒド含有量を極力低くし、低臭気化され、また樹脂中に窒素分を含むと鋳込み時にガス欠陥を発生させる場合がある。このため窒素を少なくしたハイフラン樹脂が鋳鋼用として一般に使われるようになった。

硬化触媒は、砂の使い捨て時代は無機酸であるりん酸が主に使用されたが、残存しやすく回収砂の性質を悪くするのでパラトルエン sulfon 酸が、最近ではさらにキシレン sulfon 酸が主に使用され、特にフランオール回収砂ではキシレン sulfon 酸が多く用いられるようになった。鋳鋼用ハイフラン樹脂では、けい砂純度により強度などの鋳型特性が著しく影響を受けやすく、注意を要する。また、焼着対策として肌砂としてクロマイト砂あるいはジルコン砂を使用する場合もある。

(c) 鋳造方案の改善

最近では、コンピュータを利用した鋳造方案の設計および改善が活発に行われるようになり、かなりの成果をあげている。鋳造方案設定へのコンピュータの活用は工場、技術者、製品などによつて異なるが、だいたい以下のようになる。

まず、押湯方案の決定があげられる。すなわち、最適な押湯を設定するために従来から用いられてきた図表、経験式をデータベース化し、コンピュータから打ち出されている質問に答えながら押湯の大きさ、数を決定する。AFS (American Foundry Society) などが提供しているプログラムでは、鋳物重量、モジュラス、内接円直径を入力すれば押湯方程式を計算し押湯の大きさが自動的に算出される。同時に、スリーブを用いた場合、盲押湯の場合のコスト比較や歩留りなども表示される。これによつて、従来、方案担当者の固有技術であつたものが定量化され、記録されたデータを見ることによつて不良が発生したときの対策も容易になる。

次に湯道方案に対するコンピュータの利用があげられよう。鋳込温度の決定、鋳込時間の決定、湯口、せき断面積の算出などがこれにあたる。鋳込温度は肉厚や材質によつて図表から求めていたものが現在ではコンピュータによつて算出される。また、鋳込時間は長すぎると湯まわり不良や湯じわの原因となり、短すぎると砂かみ、ノロかみなどの欠陥が発生しやすい。従つて、鋳込時間を鋳込重量、肉厚、鋳込温度から自動的に計算し、照らされやすくわれなどの発生を防いでいる。

湯口、湯道、せき断面の決定にもコンピュータを用いた例があり、従来の経験的な形状から一歩進んだ湯道方案も検討されている。

以上は従来の経験式をコンピュータ化した例であるが、近年、鋳造方案の新しいツールとして注目されているのが凝固解析である。凝固解析とは熱移動と凝固潜熱の放出を基本とした凝固現象をコンピュータによる数値計算（差分法、有限要素法など）によつて解き、押湯に向かつての指向性凝固が実現されているかどうかをチェックするものである。冷金の大きさや位置、駄肉の量、発熱パッドの厚みなどは従来の経験式では不明なことが多いが、凝固解析ではそれらの評価も可能である。とくに試作不可能な大物鋳鋼品の鋳造方案には凝固解析が多用されており、効果をあげている。

他に、コスト管理表の作成、統計的手法を用いた品質管理などにもコンピュータが有効に利用されている。

このように鋳造方案にもコンピュータが積極的に利用されており、近い将来は一貫した CAD/CAM システムの中でより合理的な鋳造方案、NC 加工による模型製作、さらには 3 次元測定器を用いた自動検査が可能になるだろう。

(4) 鋳仕上げ

手作業による鋳物の仕上げ作業は、重労働で騒音レベルも高く、最も苛酷な作業の一つである。さらに、職業病の原因にもなりやすく、労働賃金の上昇、人員確保の

困難さの問題も多く、早急な改善がせまられている。

近年、産業用ロボットの開発とその導入により鋳物の仕上げ作業の合理化が図られてきた。たとえば、鋳物のバリ取り作業のロボット化では、手作業に代わつて、品質の安定性、均一性、作業時間の短縮、多種・少量生産に対するフレキシビリティ、作業人員の削減などに効果を上げています。これに加えて、ロボットは、バリ取り作業と併行して他の作業を行うことができ、コンベアーその他の装置の省略なども可能となり得る。

鋳物の仕上げ作業に加えて、ロボットは、中子、スリーブなどのセット作業、塗型作業、砂の吹き落とし作業、押湯切断作業、製品の搬送、パレタイジングなどのような関連作業をさせることも可能である。さらに、プラズマ装置、レーザ装置をロボットに装備することにより、これら装置と作業の進歩を促し、鋳物の仕上げ工程にも十分利用可能なことが明らかにされており、高い精度と高速、フレキシブル性で脚光をあびてきており、すでにこれら装置との組み合わせによる稼働実績を持つている。

今後、ロボットによる鋳物の仕上げ作業は、いつそう進歩したものになり、関連機械とともにシステム化され、注湯から仕上げまで一貫したラインまでも無人化が可能となろうとしている。

4.1.4 特殊鋳造法

(1) 精密鋳造法

鉄、ニッケル、コバルト基を対象とした精密鋳造法には主としてロストワックス法（インベストメント法）とセラミックモールド法（ショウプロセス、ユニキャスト法）がある。セラミックモールド法は近来比較的大型の鋳物に適用され、治工具、タービンノズル、射出成型用金型、鍛造用金型などの生産に見るべきものがあり、生産の合理化あるいは省力化の面において、技術的な進歩は顕著なものがあつた。しかし、航空機部品や原子力部品のごとき高性能化、高品質、高信頼性が要求される精密鋳造品は、そのほとんどが従来よりロストワックス法で製造されてきた。またこのような要求にこたえるプロセスとしてロストワックス法は最もふさわしいものであつたため、生産量としても近年順調に増加してきたし、またこの間革新的ともいえるような新しい技術が開発されてきた。したがつてここでは、ロストワックス法における新しい技術の歩みを記してみたい。

(a) 自動化の推進

ロストワックス法の鋳型が、昭和40年代初頭にソリッドモールドからセラミックシェルモールドに移行したことによつて、鋳型材料費の低減と大量生産が容易とな

つたが、それに伴つて造型作業（コーティング作業）の省力化、自動化が課題となつてきた。これまで熟達者が行つてきた均一なコーティングを行う作業は、ロボットに代替させることが可能となり、近年これを採用する事業所は増加している。このロボットの採用によつて、鋳型間のばらつきが少なくなり良品歩留りを向上し得ること、人間が取り扱うより重い鋳型を扱うことができるので、一つの鋳型により多くの製品をつけることが可能となること、あるいはより大型の製品が可能となることなどメリットは大きい。

このようなコーティング作業のロボット化によつて自動化、省力化が進められて来た精密鋳造は、さらに蠟型（ワックスボタン）成型、仕上工程などにもロボットが採用され始め、生産管理のコンピュータと連動させた全工程（あるいは各工程ごとの）自動化、無人化への道を歩み始めているといえよう。

(b) 薄肉鋳造品の製造技術

従来よりロストワックス法によつて圧縮機、過給機などの回転機械に使用される多くのインペラが製造されてきた。しかしインペラ性能向上の要求により、翼厚の薄肉化と寸法精度の向上が常に課題となつていた。

翼厚の薄肉化に対しては、セラミックシェルモールドに適応した吸引鋳造法が採用された。この方法は鋳型の外部を100~200 mmHg程度減圧し鋳型の空孔を通じて鋳型内の空気を吸引し、鋳型に注湯された金属をすみずみまで充填しやすくするとともに、湯口溶湯面に大気圧を加え湯まわり不良を抑制する鋳造法である。これによつて13Cr鋼あるいは17-4 pH鋼にて、翼先端部の肉厚が0.5~0.7 mmのインペラを製造することが可能となつた。

寸法精度向上に対する鋳造ひずみの抑制に対しては、拘束方式と称される方法が採用されている。図4.1.9はその例であり、これによると拘束円盤の肉厚20 mmでは間隙距離25 mmで鋳造ひずみは0になるという。これら両者の方法を組み合わせた鋳造法の例を図4.1.10に示す。

(c) 凝固解析

近来、鋳造品の欠陥の予測に用いられている凝固解析の手法が、精密鋳造の分野にも適用されるようになった。特に原子力部品や航空機部品に用いられる精密鋳造品は、高い品質と信頼性が要求される。したがつて巨視的な鋳造欠陥はもちろんのこと、微視的な欠陥でさえもその位置と大きさによつては障害となる。この場合凝固解析によつて、鋳造品の各部分が凝固する瞬間におけるその部分への給湯の難易をあらわすパラメータと、収縮欠陥の程度との関係があらかじめ把握されていれば、微視的

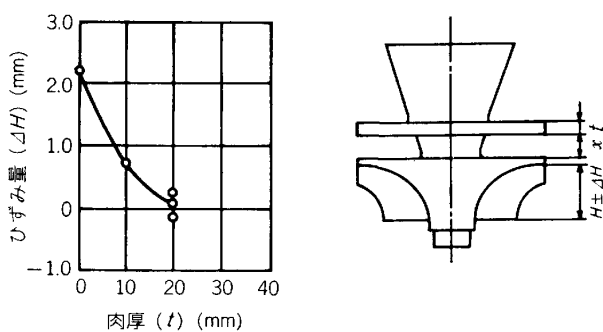


図 4.1.9 $\phi 150$ mm インペラの拘束円盤肉厚 t とひずみ量 ΔH の関係
(間隙距離 $x = 25$ mm)
(松野ら: 石川島播磨技報, 21 (1981) 1, p.45)

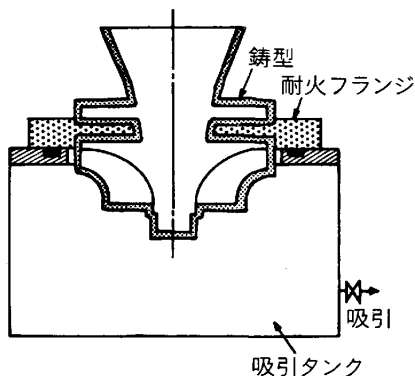


図 4.1.10 吸引方式と拘束方式によるインペラ鑄造の例
(松野ら: 石川島播磨技報, 21 (1981) 1, p.45)

な欠陥をも予測することが可能となる。

このような解析システムによれば、精密鑄造品の鑄造方案を決定するに当たって、試作を繰り返すことなく、コンピュータシミュレーションのみによつて、要求される品質を満足し得る鑄造方案が決定できるのみではなく、鑄造品の品質の向上、信頼性の向上にも寄与できることとなつた。

(d) 高性能精密鑄造品の製造

精密鑄造品は種々な環境、条件下で使われるが、近來機械、装置の高性能化、省エネルギー化などに伴つて、使われる環境、条件はますます苛酷になつてきた。なかでも航空機用ジェットエンジンの高性能化、高効率化の一翼を担っている精密鑄造翼の技術的進歩は、日進月歩の観がある。

当初鍛造翼から中実の精密鑄造翼に変換されて以来、鑄造合金の耐熱性向上への努力と共に、翼の内部を冷却する冷却翼方式へと移行し、さらに冷却能をよくするために冷却流路が複雑になつた。これらに関しては、新たな進歩とそれへの対応という形で終始努力が続けられて

きたが、さらに従來の精密鑄造の生産方式の殻を破つた新しい技術が誕生した。それは一方向凝固鑄造の技術であり、これによつて柱状晶翼および単結晶翼の製造が可能となつた。

一方向凝固鑄造では、その鑄型および中子は約 1500°C に長時間加熱されるために、それらの熱間安定性に対する要求は従來より格段に高い。また柱状晶あるいは単結晶製造条件の確立と凝固制御のための、ふく射伝熱方式による凝固解析技術が必要となつた。

柱状晶翼は、我が国ではすでに 1983 年に、F100 ジェットエンジン用のタービン翼として生産が開始された。単結晶翼についても、1981 年から始まつた工技院による次世代産業基盤技術研究開発の一環として、単結晶合金および単結晶鑄造品の製造技術の研究開発が進められており、近い将来生産が開始されることになるものと思われる。

(2) 遠心鑄造法

遠心鑄造法は品質、生産性、経済性などの点で、すぐれた特徴を持つた製管技術として、世界的に広く利用され、また最近では、管材以外の製品にも適用されている。本法の特徴は、熔融金属に作用する遠心力の効果、すなわち、押湯効果、介在物の遠心分離効果など材質面と、中子を必要としないことなどの製造面の利点とが主なものであるが、鑄造条件その他が適切でないと、その特徴が生かされず、また欠陥が発生するなど技術的に難しい面もある。

(a) 鑄鉄管

遠心鑄造管中、量的に最も多いものは、球状黒鉛鑄鉄管である。異型管を除く直管はほぼ全数が遠心鑄造管で、その量は昭和 58 年で約 80 万 t に達した。水道、ガス需要の増大に伴い、球状黒鉛鑄鉄管は逐年、大型化、量産化が必要となり、このための生産技術の開発が進んだ。昭和 47 年には、口径 $2600\text{ mm}\phi$ (長さ 4 m、肉厚 25~39.5 mm、重量 7.7~11 t) の世界最大の鑄鉄管の生産が開始された。次に、管長の増大は製造工場での生産性向上、配管工事の能率化の点で、経済的に有利である。これまで 4 m、5 m、6 m であつた管長は、昭和 57 年、口径 $600\sim 1600\text{ mm}\phi$ 管に 9 m が追加され、ここでも世界最大級の長尺球状黒鉛鑄鉄管が誕生した。材質規格は昭和 57 年の JIS 改訂により、従來引張強さ 40 kgf/mm^2 、伸び 5% が、それぞれ 42 kgf/mm^2 、10% となつた。鑄造技術としては、従來の金型鑄造方式とサンドレジン鑄造方式の中間程度の冷却速度をねらつたウェットスプレー鑄造方式と呼ばれるものが開発され、昭和 58 年には、この方式用に自動運転ワンステーション鑄造機が開発された。また金型鑄造法でも、単式鑄造機

が二連式鑄造機になり、製造される管の口径も従来の75~250 mm ϕ から400 mm ϕ まで拡大され、近く600 mm ϕ 管も生産される予定である。

(b) 鑄鋼品

現在、鑄鋼のほとんどすべての材質について薄肉長尺品、あるいは超厚肉品の遠心鑄造が可能となつた。外径の最大2000 mm ϕ 、最小60 mm ϕ 、肉厚の最大300 mm、最小5 mmまで製造できる。昭和28年に鑄鋼管が工業的規模で生産されてから30年が経過し、遠心鑄造鑄鋼品の適用領域が拡大した。船舶、製鉄、化学、石油化学、窯業、製紙、鋳業、エネルギー（原子力を含む）産業、非鉄金属、土木建築などあらゆる工業分野において配管材料、ローラ材、圧力容器、構造材料として利用されている。特に、工業的に鍛造、圧延が著しく困難な材質（高クリープ強度の高炭素オーステナイト系耐熱鋼、あるいは耐応力腐食割れ性、溶接性などの良好な2相ステンレス鋼）には主として遠心鑄造法が適用される。最近10年間の進歩の具体例を二、三示す。製紙用サクシオンロールは寸法的に大型化すると共に、腐食環境の過酷化に従い高腐食疲労強度が要求され、13Cr系に代わり2相ステンレス鋼系材料の開発とその遠心鑄造化が行われた。石油化学用反応管も一般的なHK40 (0.4C-25Cr-20Ni) に代わり、Nb, Ti や W, Mo を含む新しい材料が開発され、遠心鑄造されている。また使用環境、使用条件の多様化への対応策として、二層遠心鑄造技術が開発され、石油化学向クラッキングチューブ、船内管などに応用され始めた。このほか、沸騰水 (BWR) 型原子力発電設備のコントロールロッドハウジング、製鋼連鑄用ピンチローラ、ガイドローラの開発が挙げられる。この数年間に小口径管類の長尺遠心鑄造技術が進歩し、その結果、管長は3 m から6 m へ倍増した。

(c) 圧延用ロール

遠心鑄造法による圧延用複合中実ロールが世界に先駆けてわが国で初めて開発され、線材ミルで使用されたのは、昭和35年である。以来遠心鑄造複合ロールは、中抜鑄造法に代わつて最も遠心鑄造化の効果の大きいホッ

トストリップミル仕上げ後段ワークロール (FHW) 用高合金グレーンロールにまで適用され、現在では国内のこのロールはすべて遠心鑄造法で製造されるに至つた。同じく遠心鑄造製のホットストリップミル仕上げ前段ワークロール及び粗ワークロールの外殻材料をアダマイトから高クロムに変換することが最近試みられ、良好な使用成績を収めている。

遠心鑄造ロールは、現在最大胴部径1600 mm ϕ 、最大胴長5000 mm程度まで製造されるようになった。超大型ロールの一例として、広幅厚板ミル用ワークロールに、1200 mm ϕ \times 5000 mm (重量40~60 t) の高合金鑄鉄ロールが使用されている。

(d) 立型遠心鑄造法の動向

わが国では、これまで圧延用ロールの遠心鑄造には、主として横型または傾斜鑄造法が用いられ、立型遠心鑄造法は径が大で、長さの短いスリーブロールの製造以外にはあまり用いられなかつた。しかるに昭和58年に国内で1社が初めて熱延ロールなど胴長ロール用にこの鑄造法を採用した。立型は横型に比べて衝撃振動が極めて少なく、高クロムなどのバンド偏析や外殻のCrの内層への拡散の防止に有効などの長所があり、欧米では以前から利用されている。胴長が大になれば、鑄造品の上下の肉厚均一化のため高速回転が必要となり、これに伴う技術的問題が発生する。しかし胴長ロールへの適用は順次、他社でも検討されるものと思われる。

ロール以外の立型遠心鑄造品として、バルブ用ボール (鑄鋼、特殊鑄鋼、製品最大1800 mm ϕ)、船尾シール用ライナー (鑄鋼、製品最大2300 mm ϕ) などがある。

4.2 粉末加工

4.2.1 展望

日本の粉末冶金工業は、この10年間多少オイルショックによる景気変動の影響を受けたものの、順調な成長を遂げた。1969年を100として、各種金属加工製品の重量成長率を比較して図4.2.1に示してある。鑄鉄関係は1973年の第1次オイルショック後回復を見なかつたが、粉末冶金と鍛造は立ちどころに回復した。特に粉末冶金製品の伸びは群を抜いており、1979年の第2次オイルショックによる世界的景気停滞では、若干の減少を見たが、1983年には再び盛り返している。

その中で鉄系焼結部品生産量の推移は図4.2.2に示すとおりで、第1次オイルショックの影響は受けたものの、第2次の影響はほとんどなく、むしろ上昇を示している。同じ図に自動車生産台数を併記してあるが、非常に良い対応を示している。米国では第2次オイルショッ

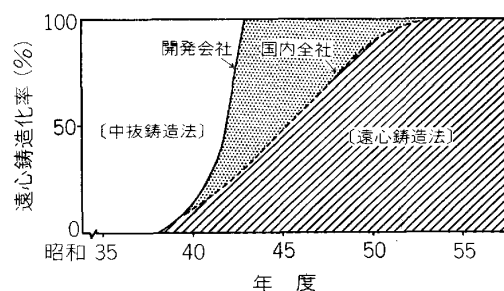


図 4.1.11 ホットストリップミル用 FHW ロールの遠心鑄造化率の推移