

の知見がえられている。

3.2.1 金属融体の性状

凝固以前の金属融体の性状に関する研究は固体金属のそれに比較してはるかに遅れている。それは融体金属そのものの研究の必要性が、固体金属のように直接利用されるものの研究に比較して低かつたこと、また融体は一般に高温であること、さらに原子配列構造の数学的解析が、規則配列の固体または完全にランダム分布の気体に比較してより困難でもあることなどに起因する。しかし最近はこの融体を対象とする研究も次第に行われるようになり、特に液体金属の構造、諸物性値（表面張力、粘性、拡散速度ほか）、諸性質（流動性、ガスとの反応性、含有ガスの挙動ほか）は凝固現象の研究とも関連性があり、成果が収められつつあるといえよう。

3.2.2 凝固現象と凝固組織

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展開されたTURNBULLらの理論は、その後多くの研究者によって論議された。核生成理論の現状を総括すると、過冷液体中での結晶の均質核生成理論は実験結果と大体よい一致がえられており、残された問題点は極微細結晶に熱力学を適用できるかどうかということ、熱力学的に算出した平衡分布中の晶芽 (embryo) の存在と液体構造とが現存の見解で両立できるかどうかということであろう。また不均質核生成理論の一般的性質はよく理解されているが、核生成物質の化学的、結晶学的および形状の性質などが、どのように影響するかなどについては、いまだ明白でないといえよう。

金属融体からの結晶成長とその完全性、育成結晶にみられる不完全構造、欠陥の起源などが原子論的立場で検討されはじめたのに続いて、結晶成長時の固液界面の安定性と凝固組織形成とが密接な関係にあることが確かめられ、純金属および合金の凝固組織形成について、多くの研究成果がえられた。次にそのいくつかを列挙すると、1) 純金属がデンドライト晶として成長するとき、デンドライトの幹（1次の枝）の間隔は融液の過冷度が大きくなると大きくなる。しかし2次の枝と過冷度とは無関係である。またデンドライトの優先成長方向はその金属の結晶形によって決められた方位である。さらにデンドライト晶の成長速度は過冷度との関係で実測されているが、成長速度を予測する問題はまだ満足に解決されていない。2) 2元系合金の凝固において、固液界面の安定性は、融液内の溶質分布、溶質濃度に対応する液相線温度、融液内の温度勾配に依存する。いわゆる RUTTER と CHALMERS によって提唱された組成的過冷によって決まる。したがって融液内の溶質分布、組成的過冷については多くの研究成果がえられている。3) 単相合金におけるセルラー組織およびセルラー・デンドライト組織の形成条件が、融液内の溶質濃度、温度勾配、結晶成長速度などとの関連性において詳細に検討され、また実測された。特にデンドライト状セルの大きさ、デンドライトの枝間隔については多くの知見がえられている。4) 共晶組成の合金あるいは共晶組織を含む合金の凝固組織形成

に関して、特に一方向凝固実験によって詳細な研究成果がえられている。

しかしながら、凝固現象および凝固組織に関する研究が精力的に行われるようになったのは、ここ10年余であり、実験結果は必ずしも一致していない。今後さらに多くのデータの提供と討議を必要とするだろう。

3.2.3 鋳型内の凝固とその鋳造組織

鋳塊および鋳造品の鋳型内の凝固過程をマクロ的に考えて、その凝固速度あるいは凝固時間を熱伝導論的に求めようとする研究が最近はかなり行われ、とくに電子計算機利用による解析研究が鋳塊あるいは連続鋳造鋳塊で試みられ、実験結果とよい一致が認められている。またやや複雑な形状の鋳造品の凝固計算の解析に有限要素法が導入されるようになった。これらはやがて電子計算機利用による凝固速度制御への手掛りとなるだろう。

また、鋳塊および鋳造品の組織制御も重要な課題である。最近の分析機器および技術の発達により、極微量元素のマクロ的あるいはミクロ的偏析の様相が容易にえられるようになり、さらに凝固速度と溶質濃度分布との関係が明白になりつつある。なお鋳造組織の結晶粒微細化について接種、機械的振動、電磁攪拌などについて詳細な実験が行われ、鋳造組織のコントロール法が確立されつつあるとみてよからう。

さらに鋳造工学的な基礎理論分野として、凝固収縮に対する溶湯補給機構に関する問題があり、これは引け巣発生機構と密接な関係にある。各種溶湯の凝固特性、凝固波進行状態が詳細にしらべられ、指向性凝固を促進するための押湯、チル、肉厚勾配などの効果について多くのデータが提出され、鋳造設計および方案設定に重要な寄与をなしている。これらの課題はさらに実際の多くの研究資料が蓄積されていけば、鋳物の健全性確保のため貢献することになるだろう。

また、鋳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、溶湯中への空気巻きこみ防止、適正鋳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、鋳造時に発生する鋳造歪、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。

3.3 鋳物砂および造型法

3.3.1 概 説

戦後導入された新技術が実を結び高い生産性を発揮してきたのがこの10年間である。とくに主型については高圧、高速生砂型造型法、中子についてはシェルモールド法、多種少量生産に対しては CO₂ プロセスなどの発展は目ざましかつた。最近は省力化のため有機自硬性鋳型の利用が増し、さらに中子造型速度向上のための各種通ガス硬化造型法が計られている。また減圧造型法は、わが国で開発された新技術として内外の注目をあつめている。今後は省エネルギー、無公害化、廃棄物処理簡易化などを重点としたプロセスを志向する傾向にあると思わ

れる。

3.3.2 生 型

(1) 生型造型法

第2次大戦直後日本に合成砂が導入された。やがて鋳物の寸法精度に対する要求度が高まりさらに多量生産のためにトランスファ・マシンが続々と採用されるにおよび、この傾向はますます増大した。そのため油圧機器の進歩と相まって高圧造型機が作られるようになった。これまでの造型機ではせいぜい 5kg/cm^2 までであったものが $10\sim 15\text{kg/cm}^2$ の締付圧力で造型する高圧造型法が採用されるようになった。(高圧造型法のさきがけは1927年高砂鉄工(株)の出願した隔膜造型法(特77206)であるが実用化を見ずに止まつた。) すなわち1958年ハーマン社の開発にはじまり順次採用され、1963年より本邦でも使用されるようになった。高圧造型法によつて製作された鋳物は寸法精度が高く、製品の鋳肌がよい。したがって鋳仕上工数の低減や機械加工工数の低減が可能となつた。過去10数年間に開発された米国の造型機のスクイズ圧の推移を図3.3.1に示した。機械の構造上および騒音の点から、ジョルトを省略した造型機が多数製作されたが、最近では再びジョルトを併用する造型機が使用されて来た。ジョルト、スクイズ、パイプレートスクイズなどにより造型された鋳型の型面からの高さや鋳型密度との関係を図3.3.2に示した。

国産砂型造型機の開発の経過を表3.3.1に示した。ここに示したもののほか、多種多様の造型機が国外技術の導入により製作されているほか数十台の輸入機も使用さ

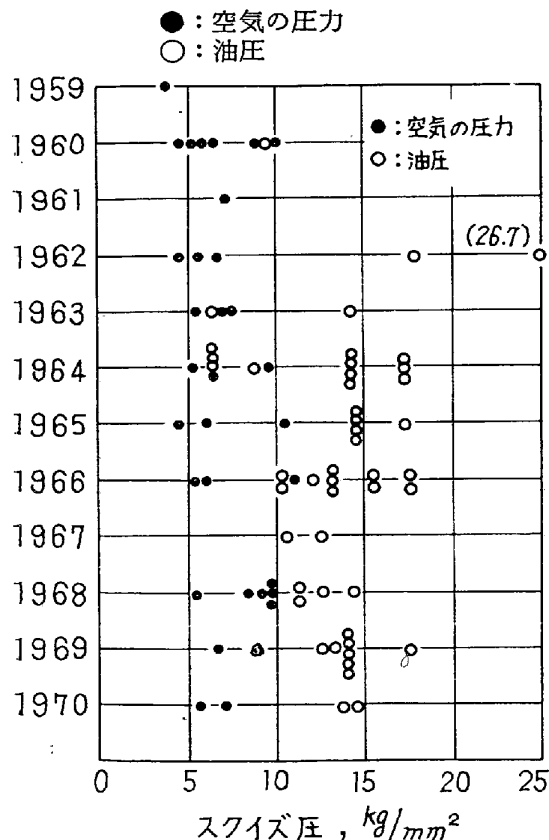


図 3.3.1 スライズ圧の推移 (市村)

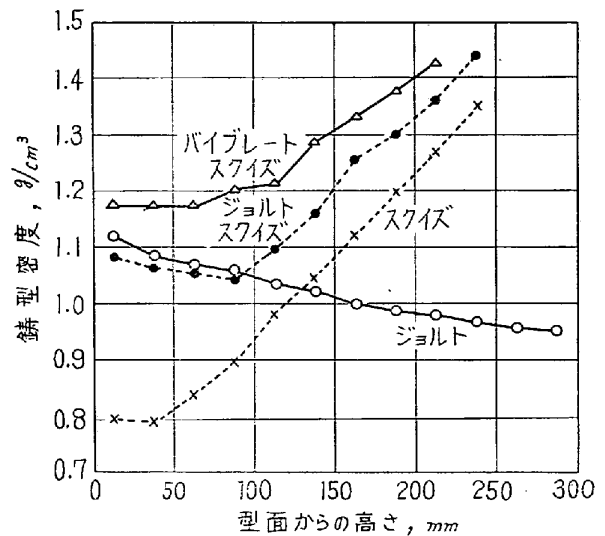


図 3.3.2 造型方式と鋳型密度の関係

表 3.3.1 生砂型造型機開発の経過

年次	型 式	ジョルト (t)	スクイズ (t)	造型速度 (sec)	型式名
1964	ジョルト スクイズ	1	11	30	ASM
1967	セグメント スクイズ		60	30	ASS
1968	セグメント スクイズ		130	18	CSS
1969	セグメント スクイズ	1.5~3.0	90~160	15	JTH
1970	セグメント スクイズ	1.5~3.0	18~40	30~45	JSH
1973	ジョルト スクイズ	~	13	30	PC-70

れている。

(2) 生砂型の試験法

生砂型用鋳物砂の試験法は1922年にはじまる。当時定められた圧縮強さ、通気度、粒度、染色吸着性、水分および化学分析などの基本的な試験法はそのまま使用されていたが、1970年頃より高圧造型法の発達に伴い新しい試験法が開発された。ホフマン、およびデイトールなどの提案したコンパクトビリティ(しまり率)がこれである。

この定義にしたがえば、砂の比重に関係なく砂の充填性を数値で指数として表示する便利が生じた。このコンパクトビリティ指数を用いることにより、鋳型表面密度やベントナイトと水分の関係やスクワレの問題などの関係を知ることができるので、現場における砂管理の重要な手段となつた。また、この試験によつてベントナイトの挙動が明りようとなるにつれ、改めてメチレンブルーを使用した染料吸着試験法を活性度チェックの手段として広く使用されるようになった。工場内を循環する鋳

物砂の管理のために、その水分、温度、通気度、強さなどを自動的測定する機器も開発され、各所で使用されるようになった。

3.3.3 無機粘結剤による鋳型

けい酸ソーダを粘結剤としたものに CO₂ プロセス、N プロセス、ダイカル法、FS 法などがある。これらの造型法に使用されるけい酸ソーダは年間17万 t に達している。

これらの方法は一般に強度が大で、取扱いも比較的簡便であるが、鋳造後の鋳型の崩壊性が悪い。廃砂の処理が比較的面倒である。CO₂ プロセスの崩壊性を改良するために、微粉カーボンや砂糖の添加が効果のあることがわかり、その利用が広まりつつある。しかしそれらが崩壊性を改善する理論的根拠はいまだ解明されていない。これらに対し、ポルトランドセメントを粘結剤としたセメント型が使用されている。この方法では糖密が数%添加されている。さらに、これに発泡剤を加えて流動化したものも使用されている。比較的硬化が遅いので安定した作業ができる。ポルトランドセメントのかわりに速硬性セメントを利用した新しい速硬セメント型が開発された。さらにこれを流動化させることに成功した。この方法では、有機物が添加されていないので鋳込時に悪臭を発生することがなく、廃砂は通常のセメントを加えて成型できて、その強度は新砂と差がないため廃棄物の処理法としても有望である。

3.3.4 有機粘結剤による鋳型

戦後導入されたシェルモールド法は着実に発展したが1952年頃よりレジコート・サンドが開発されレジンの使用量を節約させたばかりでなく、吹込みによる鋳造型法により大型のシェル中子の造型を可能とした。現在では自動車用エンジンブロック用中子の一体取りも行われている。各種合金類の鋳造品の約10%がシェルモールド法によつて生産されるようになったなかで、低炭素鋳鋼の製造にはシェル鋳型使用による特有の欠陥が発生していたため用途が限られていた。しかし、この欠陥がヘキサミンの熱分解によつて発生するガス中のNによるものと判明し、ノーヘキサあるいはローヘキサ・レジンは開発されるとともに、強制脱酸あるいはバックアップ材の温度調節などにより、ほとんど問題なく鋳造できるようになった。

さらに鋳型の熱変形防止と資材節約の目的から背面金型法が採用され、クランクシャフト、エンジンブロックの生産などに使用されている。さらに鋳肌改善の目的より、微粉の配合材を鋳型面に施すKY法も開発された。

シェルモールド用レジンの年間消費量は約30,000 t に達し、シェル鋳造型機の進歩改善も目ざましく、すべて国産品でまかなわれているのみならず、昨年は約100台がソ連に、そのほか、多数の機械が中近東に輸出された。生砂型造型機の発達にともない、造型速度が著しく増大したため、これに使用する中子の造型速度の増加が期待されるようになった。そのためホットボックス法が採用されさらに最近では各種通ガスによる常温迅速中子造型法が注目されてきた。

少量、多種生産のために CO₂ 型造型法が広く使用されているが、その崩壊性の悪いことが欠点とされていた。

この欠点を補うために常温硬化性有機粘結剤が開発された。アッシュランドリノキユア法はこの一種で、油変性アルキッド樹脂の石油系溶剤溶液とポリイソシアネートおよび金属石けんの溶液(硬化剤)の混合液からなるもので、軽いつきかためで造型できるうえ、崩壊性がすぐれているため使用量が漸次増大し、年間2,000 t に達し、さらにフラン尿素系、フランフェノール系の常温自硬性鋳造型用各種レジンも続いて開発され、多量使用されている。

有機粘結剤を使用すると、鋳造時にガスが発生し、このために“におい”公害が社会問題となつていいるが、その対策も着々と完成しつつある。最近10年間に開発されたシェル鋳造型機の各種を表3.3.2に示す。

表 3.3.2 シェル鋳型、コールドボックス鋳造型機開発の経過

年次	型 式	主型, 中子	造型速度 (秒)	型 式 名
1964	シェル垂直割 26×70×40	中 子	50	V—TOP
	シェル水平割 80×60×30	主型, 中子	60	H—TOP
1965	シェル垂直割 30×20×30	中 子	50	V—TOP
1966	シェル水平割 30×110×30	中 子	60	V—TOP
1969	シェル水平割 130×80×40	主型, 中子	90	H—TOP
	シェルダンプ 100×80×25	主 型	90	CD
1970	シェル垂直割 30×30×60	中 子	60	NVD (自動取出)
1972	コールドボックス 40×30×24	中 子	20~25	2VT—430

3.3.5 減圧造型法

木型の上をポリエチレンの薄いシートで覆い、その上より粘結剤を入れない鋳物砂を入れ、さらにポリエチレンシートで覆い、鋳物砂の入っているところを減圧して鋳型を造る方法が開発された。鋳物砂の再利用も可能であり、ガスの発生も少ない、など種々の利点があり、種々の鋳物にその利用が拡大されつつある状態である。

3.3.6 鋳型用ケイ砂 JIS の改正

昭和29年制定以来使用されてきた鋳型用ケイ砂 JIS の一部が改正された。改正されたのは化学成分、粒度、微粒許容量などである。これらのうちとくに大幅に改正されたのは、微粒許容量と水分許容量で新しい鋳型粘結剤の開発にともない、新たに加えられた。また粒度について、旧規格ではA、Bともに0号より7号までの呼称

が用いられていたが、改正規格 (G 5901-1974) では10号から200号まで10種類に分けられ、それぞれの砂のピーク粒のメッシュ数にはば一値した数値としてある。たとえば100号はピーク中心の砂粒は、 149μ つまり100メッシュに相当している。この呼称は欧米では以前から用いられており、呼称からよその粒度を推定できる便利さがある。

3.3.7 鋳物砂の研究

EPMAの開発により、鋳型砂の挙動や焼着機構がしだいに明らかになってきた。たとえば、クロマイト・サンドは鋳鋼鋳物用鋳物砂として使用されているが、これは焼着を防止する性質が強いのである。焼着防止の機構を解明するためにEPMAを使用した。吉川によれば、鋳込時には溶鋼からMnが鋳型中に移行し、クロマイト粒のMg, Feと置換するので、スピネルの RO と R_2O_3 のバランスが保持され、Alの拡散が抑制される。粒間物質は Al_2O_3 -MnO-SuO₂系と、かんらん石固溶体に近い組成の二相となり、結局高温強度の高い焼結層を作り耐焼着性のすぐれたものとなることが判明した。また走査型電子顕微鏡の開発は、砂粒表面の凹凸はもちろん各種粘結剤の被覆状況をはじめ、砂再生状態の認識に有効に使用されるようになった。写真3.3.1にレジンコーテッドサンドの表面を示した。

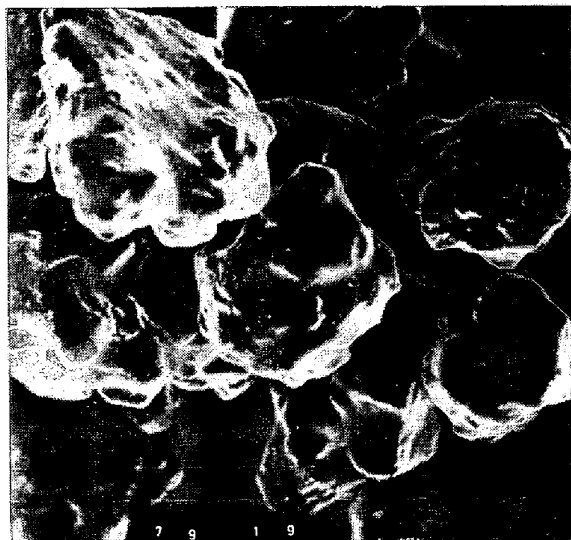


写真 3.3.1 レジンコーテッドサンドの表面 (×100) (小林)

3.3.8 鋳物砂の再生

鋳物砂の価格および廃砂の処理費の高騰により、回収と再生が必須の条件となってきた。再生方法には、空気圧、機械力、水洗、燃焼によるものがあり、それぞれ効果をあげ、通常75%程度の再生が行われている。このために回収再生の容易な鋳造型法の方法が行われるとともに再生しやすく、しかも再生率の高い鋳物砂の選択もあわせて要望されるようになった。

3.4 鋳造工程の自動化

鋳物工場の機械化は最近10年の間に急速な進歩をとげた。すなわち、新しい機械の開発と工程の自動化、高速化が行なわれた。製品の種類によつて異なるが、主として大量生産の工場では鋳造各工程が完全に自動化し、製品の生産速度も小物では数秒単位、中物 (自動車のエンジン程度) でも十数秒~数十秒単位で製造されるようになった。しかし大物 (数t~数十t) では自動造型、型ばらしなどは困難で、流動自硬性鋳型の採用のほかは特別な進歩があつたとは思えない。

以下工程別にその概要を記すことにする。

3.4.1 造型の自動化

(1) 自動造型機の発達

従来作業者が手操作で枠入れ、枠出し、型込み、模型清掃を行なつていたジョルトスクイズ造型機は自動式のものに変わつてきた。特に手足を用いてバルブを操作していた従来形式の造型機は少なくなり、ボタン操作式のものや、タイマーにより自動造型が行なえるものが多くなつた。そのため作業者は労力を消耗することなく、しかも高速造型が可能となつた。

造型方式も従来のジョルトスクイズ万能から枠深さの浅いもの (250mm程度以下のもの) では、スクイズのみを行なうものが製作され、鋳型面硬度を一樣としさらに硬度を高めるためにスクイズ面を幾つかに分割した油圧ピストンによるマルチセグメント式で圧縮が行われるようになった。油圧は現在7~30 kg/cm² が用いられている。

ただ枠が深い場合には、ジョルトスクイズ式でないと十分な硬度が得られないが、この形式は振動・騒音を発生するのでいろいろな工夫が施されている。

また無枠式の造型機が比較的多く用いられるようになった。これは枠製作の費用節約、型ばらし時の枠の取扱い不要などの便利さのためである。鋳型寸法は500×600×300程度までであつたが、現在ではそれ以上のものも製作され始めた。ディサマチック造型機は無枠式の鋳型両面使用の特殊造型機であるが、造型速度が速いため大量生産工場で広く採用された。

さらに特殊な造型方式のVプロセス造型機 (鋳型中の空気を抜いて鋳型を硬化させる) が開発され、比較的薄物の鋳造に利用され始めた。

(2) パターン自動交換

製品の種類が多く、パターン交換の回数の多い工場では、交換時間短縮のためパターン自動交換装置が開発された。最近ではコンピュータコントロールにより一日の生産計画に応じて必要なパターンを選出し、所要数量の鋳型を造型するラインも開発されている。

パターンの自動交換を行なう一つの方式は、パターンシャトル装置によるものである。この場合は、パターンを造型ステーションから取出し、ストックコンベヤに移し、ストックコンベヤ中の必要なパターンをパターンシャトルに移して交換を行なう。上型、下型の交換に要する時間は約2 minである。