

## (759) 急冷金属および急冷凝固プロセスへの期待

大阪大学工学部

大中逸雄

## 1. まえがき

近年、熔融金属を急冷、凝固させ、微細組織あるいは非晶質相などの準安定相を有する新しい材料を得る急冷凝固プロセスの研究、開発が盛んであり、今回、指定テーマ“急冷金属”として取り上げられることになった。そこで、ここでは“急冷金属”に関する研究、開発の現状と今後検討すべき課題、期待などについて述べてみたい。なお“急冷金属”とは“急冷凝固プロセスにより得られた金属材料”の意味であり、急冷とは従来の凝固プロセスにおける冷却速度 ( $< 10^2 \text{ K/s}$ ) より早い冷却速度、すなわち  $10^2 - 10^3 \text{ K/s}$  程度以上の冷却を意味することにする。またこの冷却速度は潜熱の影響のない液相時の冷却速度である。

## 2. 基礎的課題

## 2.1 熱力学

急冷凝固プロセスは平衡状態から著しくずれた状態を実現できる。このため安定相以外に種々の準安定相が生じ得る<sup>(1)</sup>。現在の研究は安定平衡状態図を基にした自由エネルギーによる議論が主体となっているが、非平衡熱力学への発展が期待される。また準安定平衡状態図の製作が進められており、新材料開発の指針として一日も早いデータの蓄積と整備が望まれる。ただし今のところ、準安定相を実現できる冷却速度の評価が極めてあい昧である。通常凝固組織や伝熱解析により冷却速度が推定されているが

1 オーダ程度の誤差があることが少なくない。より正確な冷却速度の評価方法の確立が望まれる。

## 2.2 核生成と成長、固液界面の安定性

従来のプロセスでは溶湯中の流動が核生成に重要な影響を与えているが、急冷凝固プロセスではその影響は少なくなる。従って微細化剤などの核生成能に関する理解を深めるにも役立であろう。またもし異質核生成を阻止することが可能になれば必ずしも冷却速度を大きくしなくても大過冷を得ることができる。すなわち核生成の制御に関する研究が望まれる。

凝固組織の形成には核生成のみならず結晶成長速度が極めて重要であり種々の合金における結晶成長速度に関する研究が望まれる。この場合にも冷却速度の正確な評価以外に微小物体中の温度分布、結晶成長速度の推定あるいは測定という困難な問題がある。

また、固液界面の安定性や形態は過冷によって異なる。従来の線形摂動理論による手法が急冷凝固の場合にどの程度適用できるか興味深い。なお分配係数が結晶成長速度により変化するような極端な場合や金属間化合物の成長、形態変化に関する研究も重要である。

## 2.3 固相変態、析出など

急冷凝固材の加熱、熱処理などに伴う分解、変態、時効も重要な課題である。非晶質相の結晶化に関する研究は核生成とその成長にも関連する。結晶質材料でも固相変態は重要な課題である。この場合、試料の初期条件を明確にしておく必要がある。すなわち初期の凝固組織により析出過程は非常に異なる。例えば回転水噴霧法で得られた Fe-Si-C 合金粉末と冷却水を流動パラフィンにして得られた粉末では後者において黒鉛の成長が著しく抑制される。また全ての準安定相が有用な訳ではない。種々の準安定相の物性に関する研究が望まれる。また過冷凝固の数値解析も必要である。

3. 急冷凝固プロセスの開発<sup>(2)</sup>

## 3.1 薄帯の製作

非晶質合金では広幅化、表面の均一性などが問題となっている。今後重要な開発テーマとしては板厚数100  $\mu\text{m}$  - 数mmの結晶質薄帯の連続鋳造である。この場合メルト・ドラッグ法、双ロール法が主に検討されているが、どのプロセスが最初に実用化されるであろうか。1つのポイントは冷却面の溶湯をいかに静かに供給するかであろう。いずれにしても溶湯供給方法、ロール寸法、材質、冷却方法、双ロール法におけるロールのヒートクラウン、ロールアライメント、板厚の制御、巻取方法など検討すべき課題は多い。またベルト方式などによる新しいプロセスの開発にも期待したい。

この他、複合材料用の異形断面薄帯（例えばメルト・オーバーフロー法による波形アルミニウム、マグネシウム薄帯など）も興味深いものである。

### 3.2 粉末の製作と成形

水アトマイズ法、ガスアトマイズ法、超音速アトマイズ法、回転電極法、遠心噴霧法、ローラー・アトマイズ法、回転水アトマイズ法、メルトスピニング-粉砕法など種々のプロセスが開発されつつある。合金の種類、生産量、使用目的などにより最適のプロセスは異なる。各プロセスの経済性を含めた適用限界を明らかにする必要がある。噴霧機構や粒度分布、冷却速度の推定法と制御方法なども充分には明らかになっていない。

多くの場合粉末は熱間焼結、加工され最終製品となる。従って昇温加工時の組織変化を調べることは重要である。HIPやダイナミック・コンパクションによる成形法にも期待したい。

### 3.3 スプレー成形法

不活性ガス雰囲気中で多数の液滴を供給することによりプリフォームを形成するスプレー成形法は興味ある方法である。この方法によれば焼結プロセスの大幅な工程省略が可能となり、大気雰囲気下での熱間加工も可能になる。プロセスの最適化の他、本プロセスに適した材料、溶湯処理方法の開発が望まれる。

### 3.4 細線の製作

溶湯抽出法、メルト・オーバーフロー法、回転水中紡糸法、テラー法などによる短繊維、長繊維の製作が検討されている。プロセスに適した材料開発の他、プロセス解析、制御方法、冷却方法の改善、溶湯中の介在物除去、ノズルとセラミックスの反応などに関する研究が望まれる。

### 3.5 その他

この他、レーザー、電子ビームなどによるグレーズング、表面合金化なども興味ある問題である。

## 4. 材料開発

急冷凝固プロセスの魅力は単なる工程省略ではなく、新材料の開発である。非晶質合金のみならず結晶質合金でも従来にない優れたものが得られる可能性がある。例えば、強度、靱性、耐熱性、耐食性、耐摩耗性、超塑性、熱間加工性、電磁気特性などの優れた合金などがある。複合材料用の薄帯や細線なども重要である。これらは過飽和、微細組織、準安定相などを利用したものである。従来の材料は従来のプロセスに合ったものとなっており、そのまま急冷凝固プロセスで処理してもあまり面白くない。急冷凝固プロセスに合った材料開発が望まれる。多くの新材料の開発とその物性、評価に関する発表が望まれる。

## 5. あとがき

急冷凝固プロセスにより新プロセスと新材料の開発のみならず熱力学、凝固、変態、金属材料学などの新しい発展を期待する。

## 6. 文献

- (1) 新宮秀夫：第110回西山記念講座（昭61.2）p.211      (2) 大中逸雄：同p.223