

受験生のために

機能材料工学科 金属材料の巻

「偏析低減による高機能金属材料の開発」

私たちの研究室では、例えば10年後に使われるようになる金属材料の研究や、現在使われている材料の更なる高機能化などの研究をしています。ここでは、後者の紹介をします。

1. はじめに

図1 を見てください。これは何ですか？ 「チューペット」などと呼ばれる氷菓子です。夏の暑い時、冷凍庫で冷やして切り口から吸うのが普通の食べ方でしょう。が、待ちきれなくて、完全に固まる前に吸ったことはありませんか？その時の味はどうでしたか？

ものすごく甘く、濃かったでしょう。これはどうしてでしょうか？

基本的にはチューペットの中身は砂糖水です。水には砂糖はたくさん溶け込みますが、固体の水（＝氷）には余り砂糖は溶け込めません。液体と固体との溶質の溶解度の



図1 チューペット

差が原因です。氷が増えれば、残りの水には砂糖が濃縮されるので、甘くなるのです。

身の回りの金属材料は純粋なものはほとんど無く、2種類以上の元素が混ざった合金です。また、ほとんどの金属は高温にして溶けた状態で不純物を取り除き、合金元素を混ぜた後、鋳造します。そのまま製品になるものもありますが、さらに鍛造や圧延をして製品にするものもあります。鋳造工程が製品の品質・機能に直結するため、大変重要です。

金属についても砂糖水と同じように、固相への溶質の溶解度が小さいため、凝固の際、液相中に溶質が濃縮します。それが金属材料の中に痕跡として残り、材料が不均一になります。このように材料の中に溶質が不均一に分布することを「偏析」と呼んでいます。

2. ミクロ偏析の生成

水は 0℃で、純金属はその融点で固まり始め、固まり終わります。一方、合金では凝固にはある温度範囲が必要になります。つまり、半分固まった、「おかゆ状態」の部分ができるということです。合金の凝固の様子を観察することは難しいので、合金の凝固に近い透明有機物を用いて研究することがあります。図2は私たちの研究室で行った結果の一例ですが、固体が木の枝のように成長するのが一般的です。

半分固まった状態（＝固液共存相）でも、溶質は残った液相の中に濃縮されますので、最終的に、枝の間（＝樹間）に溶質がたまったまま凝固が完了します。これは凝固する時のサイズと同じ大きさですので、「ミクロ偏析」といいます。これは合金が凝固する時には必ず起こりますが、偏析の程度は軽微であり、材質の不均一につながることはありませんので、ほとんど問題にはなりません。

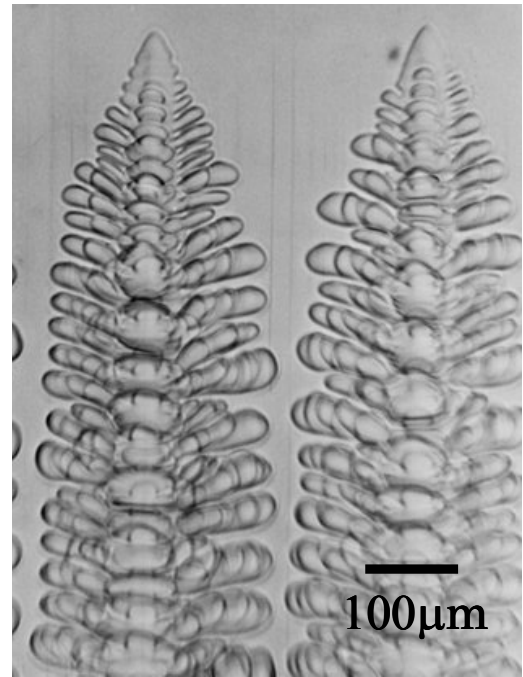


図2 木の枝のように成長する固相
（透明有機物による観察例）

3. マクロ偏析の生成

水は固体になると膨張します。これは非常に珍しい例で、多くの金属や合金は凝固する時には収縮します。凝固に伴って収縮が起こると、樹間にあった液相は図3に示す様に流動すると考えられます。ここでは、固相の木の枝は互いに絡み合っているので動けません。溶質をかなり濃縮した液相が木の枝を超えて流れて、一箇所に集まると、溶質の非常に濃い部分が最終的に残ってしまいます。鋳型の

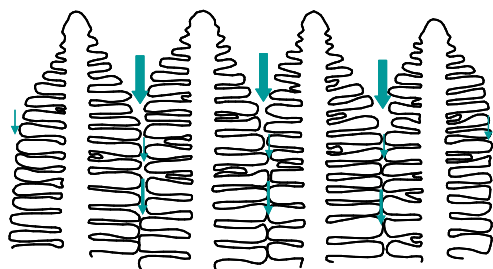


図3 樹間に見られる凝固末期の流動

サイズぐらいになる偏析ですので、これを「マクロ偏析」と言います。

凝固収縮による流動を例に挙げて説明しましたが、鋳物全体が変形して偏析が生成することもあります。また、固液共存の状態が「おかゆ状態」の場合には固相と液相の両方が同時に動くこともあります。マクロ偏析は凝固中の流動が主なメカニズムですが、よく判っていないことも多く残されています。鋳造後の熱処理や加工工程によっても残ってし

まうことがあり、マクロ偏析部の強靱性が低下するなど、製品欠陥となることがあります。しかも、同一条件であっても、マクロ偏析が発生したり、しなかったりと、気まぐれな面もあり、なかなか厄介な問題です。

溶けた鋼やアルミニウムを「ところてん方式」で固める連続鑄造、大きな塊を作る普通鑄造、また水道管などのパイプ状の製品を作れる遠心鑄造など、全ての鑄造プロセスで問題になることがあります。

4. 私たちの研究室での取り組みの一例

私たちの研究室では、遠心鑄造でのマクロ偏析に興味を持ち、数年前から研究を始めています。まず第一歩として、遠心力を受けながら凝固するということはどういうことか、を理解するため、透明有機物を用いた直接観察を始めました。もちろん、そのような実験ができる装置は世の中にありません。学生と一緒に、まさにゼロからのスタートでした。現在は実質的な3年目で、**図4**に示すように、1年毎に実験装置が進化してきました。冷却の条件をいろいろ変え、回転の条件をいろいろ変え、遠心力を受けながら凝固するとはどういうことかを、装置に取り付けたビデオカメラを通して覗き込んでいます。周りから木の枝のような固体が静かに成長することあれば、吹雪のように激しく固液共存相が振動することもあり、興味が尽きません。恐らく、激しい振動が生じる場合に遠心鑄造でのマクロ偏析や組織異常が生じると考えられますが、詳細は今後の課題です。

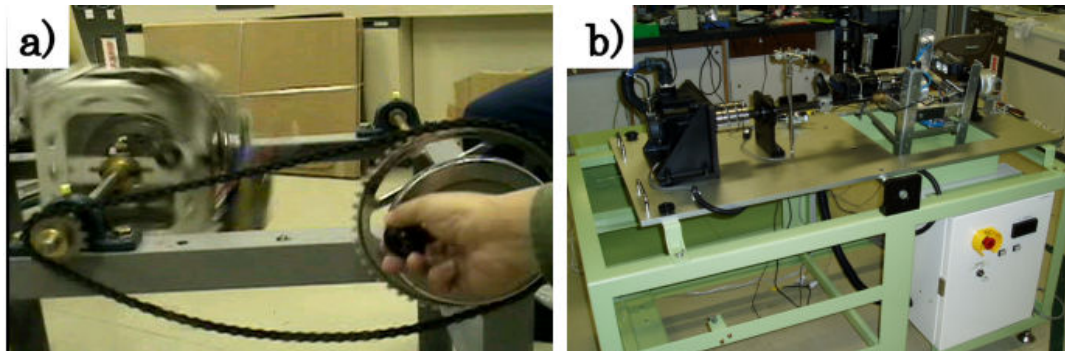


図4 遠心鑄造シミュレーターの外観 a) 1号機、b) 3号機

図 4 遠心鑄造シミュレーターの外観 a) 1号機、b) 3号機

このように研究を進め、マクロ偏析の生成する条件を見出すと共に、マクロ偏析をなくす条件を提案して、産業界に寄与したいと考えています。また、この研究は4学年の卒業研究として取り組んでいますが、このテーマを通して論理的な思考力が身に付くことを期待しています。

(文責 機能材料工学科 教授 江阪久雄)