九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

FORMATION MECHANISM OF CASTING DEFECTS AND MACROSEGREGATION GENERATED BY BRIDGING DURING SOLIDIFICATION

馬, 聚懐

https://hdl.handle.net/2324/7157333

出版情報：Kyushu University, 2023, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

（様式２）

氏　　名　：　馬　聚 懐（マ　シュウ カイ）

論 文 名　：FORMATION MECHANISM OF CASTING DEFECTS AND MACROSEGREGATION GENERATED BY BRIDGING DURING SOLIDIFICATION（凝固時のブリッジングにより発生する鋳造欠陥とマクロ偏析の形成機構）

区　　分　：甲

論　文　内　容　の　要　旨

一般鋼及び特殊鋼の製造において、製品を鋳造する際には、連続鋳造法と造塊法が用いられる。いずれの方法においても製品はメートルサイズの大型なものが多く、凝固時間が長く温度も不均一なので、温度差と濃度差に起因した自然対流が発生し易く、その対流は凝固が完了するまで長時間かつ長距離に渡って生ずる。その結果、製品全体に渡って凝固組織と濃度が不均一になるマクロ偏析を生ずる。マクロ偏析は品質を劣化させるだけでなく、後の熱処理や加工処理を困難にさせるので、極力低減することが望ましい。これまでマクロ偏析の研究には大型鋳物が利用されてきたが、実験回数を増やし、凝固条件や合金濃度を細かく設定するためには小型試験が必要である。そこで本研究では、鋳型の一部を強制的に冷却し、ブリッジングと呼ばれる凝固組織が狭隘な領域を作ることにより、温度差と濃度差を助長させた小型鋳型を提案し、濃度分布解析と組織観察からマクロ偏析を解析すると共に、コンピュータによる数値解析及び塩化アンモニウム水溶液を用いた水モデルによる対流観察、マクロ偏析低減のための等軸晶化の提案を行い、それらの成果を取りまとめたものであり、５章で構成されている.

第１章は緒論であり、鋳造法により得られる一般的なマクロ組織を概説すると共に、初晶として生ずるデンドライトの成長形態、デンドライト間隙を移動する液相の挙動、その結果生ずるマクロ偏析についてこれまでの理論やモデルについて説明している。さらに、連続鋳造及び造塊法で生ずる等軸晶デンドライトと柱状晶デンドライトに組織について概説し、マクロ偏析の低減のためには等軸晶デンドライトの適正な分布が有効であることを示唆している。

第２章では、チルと呼ばれる冷却用部品を組み込んだ 20cm 程度の小型鋳型を作製し、一般的な鋼材の合金組成試料を用いて凝固実験を行った。また、鋳湯温度を変化させ、等軸晶及び柱状晶デンドライト組織の形成との関係性についても調査した。その結果、液相線温度から 100K の高過熱条件で鋳湯すると、鋳型壁面からは柱状晶がまた中央部には等軸晶が形成され、その境界領域には濃度上昇を伴う点状または帯状のマクロ偏析が発生した。チルを設置箇所近傍では、マクロ偏析の一種である V 偏析が形成され，さらに試料中央には大きな収縮凝固欠陥が存在し、その付近には微細デンドライトと粗大デンドライトが混在し、その下部には微細な収縮孔が生成していた。すなわち、小型鋳型でもチルを設置することにより、大型鋳物と同様のマクロ偏析を意図的に生成させることができることを明らかにした。このとき、凝固組織は固液間の温度勾配に依存して成長方向を変化させるデンドライト結晶の特徴から説明できることから、これまでの凝固理論を用いて解析ができることを示した。一方、30K の低過熱条件で作製した試料の組織は等軸晶が支配的となり、チ

ル設置近傍での V 偏析やチル下部での大小の収縮孔の発生は低減した。このことから、等軸晶によるマクロ偏析の低減の有効性が示唆された。

第 3 章では、チルの効果を明確にするために、チルを有する鋳型と持たない鋳型について一般的な鋼材の合金組成試料を用いて凝固実験を行った。その結果、チルを有する鋳型では、試料下部では初期組成の 1.5～2 倍程度の高濃度領域が、チル上部では初期組成の半分程度の低濃度領域が観察された。コンピュータによる数値解析から、チル近傍で生成されたブリッジング組織によりチル上部と下部が分断される直前に、チル下部での凝固収縮が吸引効果を生み、上部から下部に濃縮された溶鋼が周囲の流束の約 5 倍程度の速さで流入するメカニズムを明らかにした。さらに、チルを有する小型鋳型のモデル実験として、塩化アンモニウム水溶液を用い、ブリッジングの生成をその場観察すると共に、鋳型内の対流を観察した。その結果、チルや鋳型にはブリッジングを生ずるための適正なサイズがあることを示すと共に、金型側面から試料中央への柱状晶デンドライト成長において、初期は温度差による対流が支配的であったが、柱状晶が中央に成長するに従い、溶質濃度に依存する対流が支配的となることを明らかにした。

第 3 章までの成果からマクロ偏析の生成機構が明確になるとともに、等軸晶組織によるマクロ偏析低減の可能性が示唆された。そこで第 4 章では、外部要因により等軸晶を生成する方法を検討した。モデル実験として組織観察が容易な Al 合金を用い、凝固時に直流電流を印加してジュール熱支配のデンドライトの等軸晶化に対する有効性を検討した。その結果、デンドライトがアームを分岐させる比較的高温での固液共存温度域において、直流電流を 5～10 回付与することにより、等軸晶組織の数が平均で 5 倍程度に増大して、平均粒径が 1/5 程度に低下し、効率的に等軸晶を増加させる手法を明らかにした。このとき、デンドライト自身が溶断されて異質核生成機構に寄与していることを示した。

第 5 章は総論であり，本研究の内容ならびに得られた成果をまとめて示した.