

# 金属の半溶融・半凝固加工の基本的特性の解明と 応用技術に関する研究

日本塑性加工学会 半溶融・半凝固加工分科会

研究班代表 木内 学・市川 洵・田頭 扶

(昭和63年度研究開発助成 AF - 88008)

## 1. 研究の背景

本研究は、従前的な熱間塑性加工と鋳造加工の境界領域にある先進的な複合加工技術について、体系的見地に立って新たな可能性を探求するものであり、学問的にみても価値の高いものと考えられる。また、本研究によって得られる成果は、金属製品の品質、信頼性の向上、加工プロセスの大幅な合理化、新しい加工技術体系の提案ばかりでなく、先進的複合材料、新機能性材料などの新素材の開発に大きく貢献することが期待でき、金属系産業分野への波及効果も大きいものと思われ、工業的・社会的に重要な意義を有するものと考えられる。

## 2. 研究成果の概要

日本塑性加工学会、半溶融・半凝固加工分科会では、研究班を組織し、下記に掲げる目標を設定し、これに基づいて研究を実施した。

(1) 半溶融・半凝固状態下にある金属材料の融解・凝固の挙動、圧縮変形抵抗、粘性、固相・液相成分の流動挙動、混合挙動、分離挙動など基本的特性の系統的解明を行う。

(2) 半溶融・半凝固加工プロセス（押出し、鍛造、圧延、射出成形、混合攪拌、圧接接合など）に関する加工力、流動挙動、製品の内部構造、製品の機械的特性などの基本的特性の解明と、プロセス制御技術、温度制御技術等のあり方に関する検討を行う。

得られた研究成果の概要を半溶融・半凝固状態下における基本的特性の解明ならびに半溶融・半

凝固加工技術の開発に分け以下に示す。

### (半溶融・半凝固状態下における基本的特性の解明)

#### 研究1 半溶融金属の変形解析モデルの検討

半溶融加工法の実用化にあたっては、半溶融金属の変形・加工特性、特にその変形抵抗や流動特性に関する基礎的なデータ・知識の蓄積が重要である。半溶融金属の変形抵抗については、一軸圧縮試験により実験的にデータの蓄積が図られてきているが、変形抵抗や流動挙動を解析的に計算する点においては未だ十分とはいえない。本研究では、半溶融金属の内部構造の観察に基づいた微視的な観点からその変形特性に注目し、変形抵抗などの物理量を剛塑性有限要素法により解析的に求めることを行った。解析結果から、半溶融金属の変形抵抗は固相率および液相の拘束状態に依存し、結晶粒や液相の巨視的流動が制限されている場合に実験値と解析値はよい一致を示すことが分かった。固相粒が微細で、固相成分や液相成分の巨視的流動が発生するような場合には、解析値と実験値は必ずしもよい一致を示さないが、今後の解析モデルの改良により、より実際現象に近い解析ができるようになるものと考えられる。

#### 研究2 半溶融・半凝固金属の固相率の測定法

半溶融・半凝固金属の製造ならびに加工技術の開発に際しては、当該金属材料の固相率の測定技術の確率が不可欠である。これまで、固相率の測定または推定は、(a) 状態図を用い槓杆関係から

求める方法、(b) 半溶融・半凝固状態にある金属材料を急冷し、その凝固組織から液相成分と固相成分の面積割合を算出し求める方法、などによって行われてきたが、いずれの方法にも適用上の制約・限界があり、特に、製造・加工プロセス中の固相率の測定に有効な方法とはいえない。

本研究では、半溶融・半凝固状態にある金属材料の二点間の電位差（または電気抵抗）を計測し、この値から固相率を間接的に求める手法について検討した。金属材料の電気特性を利用して固相率を推定する本測定システムを応用することで、固相率のインライン測定の可能性がでてきたといえる。

#### （半溶融・半凝固加工技術の開発）

研究3 高速回転攪拌凝固による炭化物系粒子分散強化銅の製作とその性質

従来コンポキャスト法は大気中か還元性雰囲気中で実施されていたため、攪拌凝固中に不活性ガスや空気の巻き込み等が原因し、製品の材料特性にばらつきがあった。本研究では、真空中で、炭化物微粒子を0.5～30WT%含んだ粒子分散強化銅をコンポキャスト法により製造し、製品の電気的および機械的特性について調べ、大気中あるいは還元性雰囲気中で行った場合に比べて、材料特性においてばらつきが少なくなることを示した。これまで機械的混合、焼結、あるいは溶浸などの粉末冶金技術により製造されてきた粒子分散強化型複合材料が、本製造法のような鑄造技術によって製造することで、製造コストの飛躍的削減が期待できる。

研究4 固液接合挙動におよぼす塑性変形の効果

塑性変形が金属間どうしの互いの接合に利用される方法として、クラッド圧延などのように固相-固相接合の例が多いが、固相-液相接合の例は少ない。また、固相-液相接合に対する塑性変形の効果を検討した研究も少ない。本研究では、溶

融金属中で固相金属の引張り試験を行うことにより、界面の接合強度におよぼす塑性変形の効果について検討を行った。その結果、溶融金属中で塑性変形を付与することで、接合強度を高めることができること、アルミニウムは安定な酸化膜を表面に有し一般に固相-固相接合は困難であるといわれているが、このような材料でも接合が可能になること、などの点が明らかにされた。

研究5 せん断冷却ロール法による半凝固金属材料の製造

溶湯を冷却しつつ攪拌する方法で、均一微細な結晶構造を有する半凝固金属材料の製造に関する研究が国内・国外において近年盛んに行われている。本研究では、新たに提案したせん断冷却ロール法により、実用アルミニウム合金を被加工材とし、半凝固金属材料の製造を行い、最適な製造条件の把握ならびに製品の内部組織・機械的特性について検討した。その結果、製品の内部組織は、樹枝状晶（デンドライト）組織が破碎され、数10ミクロンから100ミクロンの球状等軸晶組織となることなどが確認された。本製造法は、これまで研究されてきた機械攪拌プロセスや電磁攪拌プロセスと比べて、製造限界および製造効率の点において大幅な改善が期待できるものと思われ、引き続き研究が行われている。

研究6 加圧溶浸による金属-セラミックの層状複合化

溶融・半溶融金属の加圧溶浸技術を応用し、セラミックス材の表層部に金属-セラミックスの複合組織を形成させるための複合化プロセスの新たな提案を行った。本プロセスの特徴は、金属とセラミックス材との強固な接合が達成できるとともに、これまででない複合の形態の多様化が期待できること、溶浸を半溶融状態下で行うために溶浸させる液相の量が制御しやすいこと、固相の存在により金型間のシール構造設計が簡単となること、などの点にある。

### 研究組織構成員の氏名・所属ならびに研究分担

下表に示すように、金属材料の半溶融・半凝固状態の基本的な形態および素材の組合せを対象とする研究班を組織し、全構成員が協力して上述の研究目的の達成を図る。

固体／半溶融	○木内、林、松下、杉山
溶湯／半凝固	○市川、○難波、井沢、斎藤 菊間、桑島、長沼、福井、 福岡、藤田
粉末／半溶融 粉末／半凝固	○田頭、加藤、鈴木、藤田、 松井、松下、山内

各研究班は相互に連絡をとりつつ、上表に示す研究課題に関する研究計画・方法の立案、実験の遂行、データの収集・整理、結果の分析等にあたる。代表研究者は、全体的方針の立案、成果の取りまとめ等を行う。

これらの研究成果は、下記に示す学術雑誌を通じ公表し、広く一般社会へ寄与した。

### 3. 発表論文

城田 透・小島重信・田頭 扶・木内 学：塑

性と加工 30 - 336 (1989)、57。

城田 透・小島重信・田頭 扶・木内 学：塑性と加工 30 - 346 (1989)、1547。

Kiyoshi Ichikawa・Satoshi Ishizuka : MATERIALS TRANSACTION、JIM、31 - 1 (1990)、75。

Kiyoshi Ichikawa・Satoshi Ishizuka・Masakazu Achikita・Yoshiji Kinoshita・Masahito Katoh : MATERIALS TRANSACTIONS、JIM、31 - 8 (1990)、730。

城田 透・小島重信・田頭 扶・木内 学：塑性と加工 31 - 352 (1990)、645。

城田 透・小島重信・田頭 扶・木内 学：塑性と加工 30 - 357 (1990)、1215。

Kiyoshi ICHIKAWA、Masakazu ACHIKITA : ISIJ international、31 - 9 (1991)、985。

城田 透・田頭 扶・木内 学：第42回塑性加工連合講演会論文集 (1991)、17。

木内 学・杉山澄雄：平成3年度塑性加工春季講演会論文集 (1991)、1。

木内 学・杉山澄雄：平成3年度塑性加工春季講演会論文集 (1991)、5。

木内 学・杉山澄雄：第42回塑性加工連合講演会論文集 (1991)、647。

木内 学・柳本 潤・森本庸介：第42回塑性加工連合講演会論文集 (1991)、647。