OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	回転液中紡糸プロセスにおける熱移動現象と細線形態制御に関する研究
Author(s)	島岡, 三義
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/166
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

氏名	島岡三義（しまおかみつよし）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第16411号
学位授与年月日	平成13年4月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	回転液中紡糸プロセスにおける熱移動現象と細線形態制御に関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 大中 逸雄 （副査） 教授 黄地 尚義　教授 南埜 宜俊

論文内容の要旨

本論文は、新しい加工方法である回転液中紡糸プロセスにおける熱移動現象と細線形態の制御に関する研究成果をまとめたものであり、次の7章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的および従来行われてきた研究、本論文の構成について述べている。

第2章では、溶融合金ジェットから回転液層への熱伝達機構解明の基礎的研究として、ジェットが回転液層に突入して冷却される過程を、高温に加熱した水平白金細線の静止水中への浸漬過程で模擬し、基本的な沸騰熱伝達特性を調べている。すなわち、白金細線まわりの気体膜形成とその崩壊過程の観察や細線温度変化の測定等を基に、気体膜崩壊部と残存部で適用可能な熱伝達率の評価式を求めている。

第3章では、$Cu_{85}Be_{11}Fe_5$（at%）合金ジェットの回転冷却液層内挙動の観察、輝度分布によるジェットの温度分布の推定、凝固組織の観察などを行っている。そして、これらの結果に基づき、剥離膜形成部とそれ以外の領域に対して第2章で得た熱伝達率の評価式を適用したマクロな熱伝導モデルによる溶融合金ジェットの温度変化や冷却速度の計算法を提案している。また、得られた細線のデンドライト2次アーム間隔から推定される冷却速度と計算結果との比較から、構築した解析モデルの妥当性を検証している。

第4章では、Sn-Pb合金を用いて、石英ガラス製円錐状ノズルからの溶融ジェットの噴射特性を調べるとともに、細線断面の円形度におよぼす回転液層速度、溶融ジェット噴射圧力、ノズル径、回転液層へのジェット入射角、溶湯過熱度、冷却液体の温度、異種冷却液体の積層構造化などの影響を調べている。そして、これらの結果をもとに、最終的に形成される細線断面形状の形成機構と円形断面を得る条件を求めている。

第5章では、連続細線が得られにくい合金系の連続細線化法の開発を目的として、Co-Cu合金に第3元素としてBeを微量添加した場合の連続細線化効果を調べている。また、Co-Cu合金が準安定液相分離することを利用して、本紡糸プロセスによる過冷度の達成度について調べている。さらに、Co-Cu-Be合金の凝固組織、特にデンドライト粗大化終了時の2次アーム間隔とCu濃度との関係を調べ、2次アーム間隔の予測法を示すとともに、得られた細線の機械的性質を調べている。

第6章では、電磁力によってジェット流を能動的に制御する方法について述べている。すなわち、電磁力により、紡糸条件の検討だけでは解決困難な、ジェットの回転液層中への進入挙動制御や細線断面形状の向上、急冷促進、定寸法短繊維材の製作法などの可能性について検討している。

第7章は総括であり、上記各章の結果、考察をまとめている。

論文審査の結果の要旨

回転液中紡糸法は溶融合金から細線を直接製造する方法で、合金細線製造プロセスを大幅に合理化し、従来方法では製造が困難な細線や特徴ある性質の細線製造を可能とするものである。しかし、本プロセスで重要な熱伝達機構の解明や冷却速度、断面形状や連続性などの制御方法などは確立していない。本論文は、溶融合金ジェット流の挙動およびジェットと回転液層間の熱移動機構を明らかにし、ジェットの冷却速度推定法と急冷促進法および細線断面形状と細線長さに注目した細線形態の制御法を開発し、その成果をまとめたものである。得られた知見を要約すると以下の通りである。

(1)溶融合金ジェットまわりに生じる剥離膜形成域と剥離膜崩壊部に、補正係数を導入したEpstein and Hauserの強制対流膜沸騰熱伝達式とFandの強制対流熱伝達式を適用することで、細線の冷却過程をシミュレートできることを明らかにしている。

(2)細線断面形状の形成機構を明らかにしている。すなわち、液層入射時にジェットの断面が液層の動圧で扁平化されるが、液層動圧の減少と共に表面張力により円形に回復し、凝固によって形状が固定されて最終断面形状が形成されるものであることを明らかにしている。また、ジェットの表面張力による内圧が液層入射時の動圧より大きくなる条件を満たす回転液層速度、ジェット入射角および冷却液体密度を設定することにより、高い円形度を有する細線が得られることを確認している。

(3) Co-Cu合金にBeを添加することにより広い組成範囲で連続細線化が可能なこと、またBeの添加量は5at%で十分であることを見出している。また、Beを添加した場合でも、デンドライト2次アーム間隔が凝固区間の冷却速度の約1/3乗に逆比例し、2次アーム間隔をある程度計算によって予測できることを明らかにしている。

(4) Nd-Fe-B永久磁石を対向設置して形成した静磁場中を溶融合金ジェット流が通過するように噴射し、ジェットに通電することによって発生する電磁力で溶融合金ジェット流を能動的に制御する方法を開発し、紡糸条件だけでは解決困難であった溶融Alジェットが液層表面を這うように進行する問題の解決に成功している。また、電磁力でジェット軌跡を制御することでジェットの冷却速度の増大、細線断面円形度の大幅な向上が可能なこと、および衝撃的かつ周期的な電磁力の作用により短繊維材の製造が可能であることを見出している。

以上のように、本研究は、従来困難であった溶融合金ジェットの冷却速度推定法を提案し、極めてシンプルな装置構成で溶融合金ジェット流の能動的制御法を開発するとともに、回転液中紡糸プロセスの理解と細線形態制御法に関する貴重な知見を得たものであり、材料プロセス工学の進歩および関連する工業技術に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。