

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Dislocation Dynamics Simulation of Interaction between Dislocations and Misfitting Precipitates
著者(和文)	LiuJianbin
Author(English)	Jianbin Liu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11610号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村石 信二,熊井 真次,竹山 雅夫,藤居 俊之,小林 郁夫,小林 寛
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11610号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		Liu Jianbin	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	村石 信二		准教授		小林 郁夫	准教授
	審査員	熊井 真次		教授	審査員	小林 寛	准教授
		竹山 雅夫		教授			
		藤居 俊之		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Dislocation Dynamics Simulation of Interaction between Dislocations and Misfitting Precipitates」と題し、7 章から構成されている。

第 1 章「General introduction」では、転位動力学と析出強化に関する既往の研究を概観し、析出強化におけるミスフィットひずみの重要性が示唆されるものの、ミスフィット析出物と転位の相互作用の幾何学が転位運動と析出強化に及ぼす影響が未解明であることを指摘し、ミスフィット析出物の内部応力場中を運動する転位の動的挙動を予測する転位動力学シミュレーションの必要性を述べている。また、転位とミスフィット析出物の内部応力場を再現するうえでマイクロメカニクス理論と転位動力学シミュレーションの複合的な数値解法が有効であると述べており、数値シミュレーション手法を独自に開発し転位とミスフィット析出物の幾何学的な相互作用を解析する本研究の目的と意義を述べている。

第 2 章「Methodology of parametric dislocation dynamics simulation」では、転位セグメントを曲線形状で離散化して転位の弾性場を再現する離散化転位動力学法、および任意形状のミスフィット析出物の弾性場を再現する Eshelby 介在物問題をグリーン関数法により定式化することで、析出物の内部応力場中を運動する転位のシミュレーション手法を提案している。転位の掃引面積を平均塑性ひずみに換算することで応力-ひずみ曲線が予測できること、また転位運動にともなう Gibbs エネルギー変化に着目することで、自己エネルギー、相互作用エネルギー、ポテンシャルエネルギー変化から析出強化の幾何学的効果の議論が可能であることを述べている。

第 3 章「Misfit hardening by spherical precipitate」では、球状ミスフィット析出物の内部応力場中の転位運動をシミュレートし、転位のすべり面と球状析出物の相対的な位置関係に依存した内部応力場の違いにより、転位の張り出しと転位ループ生成の挙動に差が生じることを明らかにしている。また、転位運動にともなう転位の自己エネルギー、転位と析出物の相互作用エネルギーの変化は、応力-ひずみ曲線の硬化挙動と一致すると述べている。さらに、析出物の弾性エネルギーにより相互作用エネルギーを整理することで、より小さな析出物ほど析出強化に有効であると結論している。

第 4 章「Misfit hardening by {111} plate precipitate」では、{111} 板状ミスフィット析出物の内部応力場中の転位運動をシミュレートし、転位のバーガスベクトルが {111} 板状析出物を 60° の角度で交錯する場合に最もせん断応力が高く、また (111) すべり面と平行な (111) 析出物も析出強化に寄与することを明らかにしている。また、これら幾何学的関係に依存した {111} 析出物の析出強化は刃状

転位よりもらせん転位において顕著であり、交差すべりにともなう super jog の形成が転位の自己エネルギーを増大させることで、せん断応力の増加に寄与していると結論している。

第5章「Misfit hardening by $\langle 100 \rangle$ rod precipitate」では、 $\langle 001 \rangle$ 棒状ミスフィット析出物の内部応力場中の転位運動をシミュレートし、転位のバーガースベクトルが $\langle 001 \rangle$ ロッド状析出物の断面を 60° の角度で交錯する[100]と[010]方位では強い析出強化と弱い析出強化が生じ、 0° で交錯する[001]方位では中程度の析出強化を示すことを明らかにしている。これら幾何学的関係に依存した $\langle 001 \rangle$ 棒状析出物の析出強化は、ポテンシャルエネルギーにおける外力とミスフィットひずみの相互作用の平均的な予測と良く一致すると述べている。また、析出物の体積とミスフィットひずみの強度を同等とした{111}板状析出物とのせん断応力の比較の結果、 $\langle 001 \rangle$ 棒状析出物は{111}板状析出物よりも析出強化に有効であると結論している。

第6章「Misfit hardening by multiple precipitates」では、転位と析出物の多体間相互作用に着目し、すべり面上に分布した複数の球状ミスフィット析出物による内部応力場中の転位運動をシミュレートし、せん断応力はオロワン機構に従い析出物の粒子間間隔の逆数に比例すると述べている。また、転位のピン止め点の間隔が粒子間間隔よりも広い場合には、最大せん断応力は粒子間隔に依存するのに対して、転位のピン止め間隔が粒子間隔と近い場合に最大せん断応力が増大し、析出強化に転位強化の影響が表れることを見出しており、材料強化において析出物と転位の複合強化が有効であると結論している。

第7章「General conclusion」では、本論文で得られた結果を総括し、析出強化における転位とミスフィット析出物の相互作用に及ぼす析出物形状と方位の幾何学的効果に対して、本研究で明らかとなった転位動力学シミュレーションの転位組織、応力-ひずみ応答、エネルギー変化の知見の意義を述べている。また、本研究で未解決となった問題とその解決法を具体的に指摘し、今後の研究の方向性を提示している。

以上を要するに、本論文は、転位動力学のシミュレーション手法により析出物周囲の転位運動と応力-ひずみ曲線を系統的に予測する手法を提案し、析出強化に有効なミスフィット析出物の形状と方位、析出物と転位の複合強化機構についての合金設計上有用な知見を得たものであり、工学上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。