

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	冷延複合組織型高強度鋼板の高延性化のための二相域焼鈍プロセスによる組織制御
Title(English)	
著者(和文)	中垣内達也
Author(English)	Tatsuya Nakagaito
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12096号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:寺田 芳弘,尾中 晋,木村 好里,稲邑 朋也,中田 伸生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12096号, Conferred date:2021/9/24, 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	中垣内 達也	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	寺田 芳弘	准教授	中田 伸生	准教授
	審査員	尾中 晋	教授		
		木村 好里	教授		
稲邑 朋也		教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「冷延複合組織型高強度鋼板の高延性化のための二相域焼鈍プロセスによる組織制御」と題し、8章からなっている。

第1章「緒論」では、本研究で対象としている自動車用の高成形性高強度鋼板のニーズ、および、その製造工程をレビューすると共に、高強度鋼板の高延性化に関する従来の知見をまとめ、本研究の目的および概要を示した。

第2章「二相域焼鈍時における溶質元素の分配と焼鈍冷却時の組織制御」では、新たに開発された高精度 FE-EPMA 技術を活用して、Fe-C-Mn-Si 合金における二相域焼鈍時の溶質元素の分配挙動、および、二相域焼鈍後冷却時のフェライト変態に及ぼす溶質元素分配の影響について調査した。二相域焼鈍時に、C および Si はオーステナイトおよびフェライト中に均一に濃化するのに対し、Mn は界面付近の濃度が高くオーステナイト中に不均一に濃化する。冷却時のフェライト変態において、オーステナイト中の Mn 濃度が低く、変態が NPLE モードで生じる箇所からフェライトが生成する。高精度 FE-EPMA 分析により、焼鈍時に生成する焼鈍フェライトと冷却時に生成する変態フェライトの分布を、二次元的に可視化できることを見出した。

第3章「冷延 DP 鋼板の延性に及ぼすフェライトの性状の影響」では、冷延 DP 鋼板の機械的特性に及ぼす焼鈍フェライトおよび変態フェライトの影響を調査した。引張強度はフェライトの体積率により決まり、焼鈍フェライトと変態フェライトの構成比率に依存しないのに対し、均一伸びおよび局部伸びは、変態フェライトの増加に伴い増加する。均一伸びの増加は、引張変形時の高ひずみ域での加工硬化率の上昇によるネッキングの抑制に起因する。このような高い加工硬化率は、焼鈍フェライトと変態フェライトの界面における Mn 濃度の不連続な変化に起因した転位の蓄積により生じると推察される。局部伸びの増加は、変態フェライトとマルテンサイトとの界面におけるボイドの生成、および、ボイドの連結の抑制に起因する。この要因として、変態フェライトにおける動的回復の促進、および、変態フェライトに隣接するマルテンサイトの軟質化の可能性が示された。

第4章「冷延低合金 TRIP 鋼板の延性に及ぼすフェライトの加工硬化の影響」では、フェライトの加工硬化への影響が異なる Si および Al をそれぞれ添加した、冷延低合金 TRIP 鋼板

の機械的特性を調査し、低合金 TRIP 鋼板の延性に及ぼすフェライトの加工硬化の影響について検討した。残留オーステナイトの体積率および安定性が等しい条件では、Si 添加鋼が Al 添加鋼に比べ高い延性を示す。Si 添加鋼では、フェライトの動的回復が抑制されることから、Al 添加鋼よりも高ひずみ域におけるフェライトの加工硬化率が高く、それが延性向上の要因となるものと推察された。

第 5 章「冷延低合金 TRIP 鋼板の延性に及ぼす二相域焼鈍時の溶質元素分配の影響」では、冷延低合金 TRIP 鋼板における、残留オーステナイトの形成および熱処理後の鋼板の機械的特性に及ぼす二相域焼鈍時の溶質元素の分配の影響について調査を行った。二相域焼鈍時の Mn および Si の分配により、熱処理後に得られる残留オーステナイトの体積率、およびその固溶 C 濃度の最大値が低下する。これは、 $T_0'$  線の低 C 側への移行によるベイナイト変態量の減少により生じる。熱処理後の鋼板の延性に及ぼす残留オーステナイトの影響に対して、二相域焼鈍時のオーステナイトへの Mn 濃化による残留オーステナイト安定化の効果は認められず、延性は残留オーステナイトの体積率とその固溶 C 濃度により整理されることを示した。

第 6 章「冷延低合金 TRIP 鋼板の残留オーステナイト形成に及ぼす初期オーステナイト粒径の影響」では、残留オーステナイトの生成に及ぼすオーステンパー処理開始時の初期オーステナイト粒径の影響について検討した。オーステンパー処理時のオーステナイト中の固溶 C 濃度が同等な場合、初期オーステナイト粒径が小さいほど、室温で得られる残留オーステナイト体積率が増加した。これは、オーステナイトの形状による安定化効果で説明された。一方、初期オーステナイトの微細化により、長時間のオーステンパー処理による残留オーステナイト体積率の減少が抑制され、これは、微細化によるベイナイト変態の遅延によることが示された。

第 7 章「二相域焼鈍プロセスによる組織制御を活用した冷延複合組織型高強度鋼板の開発と製造プロセスへの応用」では、第 2 章から第 6 章で得られた知見を工業的に応用し、商品化された、高延性を有する冷延複合組織型高強度鋼板について述べた。また、それらの鋼板の自動車への適用事例について示した。

第 8 章「結論」では、本論文の各章で得られた結果をまとめている。また、当該分野の課題を指摘すると共に、今後の発展につながる研究の展望を示した。

以上を要するに本論文は、冷延複合組織型高強度鋼板に対し高精度 FE-EPMA 分析を適用することにより、焼鈍フェライトおよび変態フェライトという二種類のフェライトが存在することを実証するとともに、その知見を実用の冷延 DP 鋼板および冷延低合金 TRIP 鋼板に活用することにより高延性化が可能となることを示し、工学上・工業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。