

学 位 論 文 題 名

高強度薄鋼板の機械的性質に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

高強度薄鋼板は、主として自動車用材料として開発が進められてきた。これら材料の研究開発の社会的要請の背景として、当初は安全性の向上を目的とし、ついで、第1次石油ショックを契機とした燃費改善のため重量の軽量化、さらに最近は自動車の快適性の追求と CO₂ 廃棄ガス対策が大きな課題となっている。その解決の一つとして自動車用薄鋼板の高強度化による一層の軽量化と使用鋼材量の低減化が求められている。こうした材料の高強度化は主として、固溶強化、析出硬化および相変態による強化など組織制御により進められてきた。しかし、材料の高強度化が進むに伴い逆に伸びが減少するなど加工性の劣化が新たな課題として提起され、強度と同時に延性にも優れた高強靱鋼板の開発が強く要請されている。この様な背景から、本論文では、引張り強度が80kg f /mm² 以上の高強度かつ30%以上の伸びを有する従来の高強度薄鋼板より優れた材料を開発することを目的として、加工誘起相変態による伸びの向上と加工誘起相変態発現のための残留オーステナイトの生成条件および残留オーステナイトを含有する鋼板の機械的特性向上のための熱処理と合金元素の効果を明らかにしている。本論は9章から構成されている。

第1章は序論で、本研究を遂行するための社会的背景および高強度薄鋼板の開発経緯を説明し、さらに残留オーステナイト相とベーナイトやマルテンサイト相への変態誘起による塑性減少との関連および研究目的を述べている。

第2章では、従来の炭素鋼の熱処理法では得られなかった、多量の残留オーステナイトを得る方法として、オーステナイト単相領域、またはオーステナイトとフェライト2相共存領域で焼鈍後、引続き一定温度で均熱処理する2段熱処理法を見出し、従来の焼き入れ及び徐冷熱処理法と比較し新熱処理法の長所を論じている。さらに、鋼材の機械的性質に及ぼす残留オーステナイト相の影響について、従来の研究を検討し、薄鋼板の伸び向上に残留オーステナイト相の制御する熱処理が有益かつ新しい技術であることを示した。

第3章では、加工用薄鋼板における残留オーステナイト相の生成に及ぼす炭素、シリコン、マンガン、ニッケルおよびクロムの各元素濃度の影響を明らかにしている。炭素はオーステナイト

相に濃化することによりオーステナイト相を安定化させ、シリコンおよびマンガンはオーステナイト相への炭素濃縮を助長することを確認し、残留オーステナイト相の生成には1.0%以上の炭素をオーステナイト相に濃化させる必要があることを明確にした。

第4章では、残留オーステナイト相を多く生成するための2段階熱処理法における1次均熱条件および2次均熱条件について論述している。残留オーステナイト相の生成は1次均熱過程では主に均熱温度に強く影響され、また2次均熱過程では均熱温度および均熱時間に著しく影響を受けることを示した。とくに1次均熱温度は、均熱時の変態過程におけるオーステナイト相への炭素の濃化と、オーステナイト相からの炭素の拡散による濃度減少割合に大きく影響し、また2次均熱温度および加熱時間はベイナイト変態の割合とベイナイト変態に伴う未変態オーステナイト相中への濃化炭素量を律速することを明らかにしている。

第5章では、2段階熱処理法における炭素鋼中の残留オーステナイト相生成機構について論述している。残留オーステナイト相は1.0%以上の炭素の濃化によって安定化される。この炭素の残留オーステナイト相への濃化は、ベイナイト変態過程でベイナイト相の相境界に排出された炭素はシリコンによる炭化物形成の抑制効果の作用の結果、排出炭素は隣接する未変態オーステナイト相中に拡散することにより濃化されることを明示し、多量の残留オーステナイト相を生成させるための2次均熱処理過程を提案した。

第6章では、残留オーステナイト相を有する鋼板の機械的特性に及ぼす熱処理の効果として、実際の鋼板生産過程における製造条件の決定要因である1次均熱温度および加熱時間ならびに2次均熱温度および加熱時間の影響について考察している。引張り強度は1次均熱温度の上昇と共に増大し、伸びは（フェライト+オーステナイト）2相共存領域の A_3 変態点より幾分低い温度で1次均熱処理することにより最大となり、1次均熱時間は引張り強度および伸びに殆ど影響しないことを示している。一方、2次均熱温度の上昇および2次均熱時間が長くなるに従い引張り強度は低下し、伸びは一定の2次均熱温度および時間に対して最大となることを明らかにした。さらにこれら機械的性質はマルテンサイト支配領域、低炭素ベイナイト領域および残留オーステナイト減少領域の3領域に分割して変化することを見いだした。また、最良の機械的特性を示す鋼板材料について実用製品と同一寸法のプレス成型試験を行った結果、優れた成型性を有することを確認している。

第7章では、機械的性質に及ぼす変形温度の影響について検討している。残留オーステナイト相は広範囲にわたって安定性しており、その結果、残留オーステナイト相の変態誘起塑性効果に起因して伸びは変形温度150℃付近で最大となり、この変態による誘起塑性は室温から300℃の温

度範囲において発現することを示した。

第8章では、第7章までの研究により確立した高強度薄鋼板の機械的性質向上のための金属組織制御、製造条件を考慮した生産ラインを応用し開発試験を遂行し、鋼板全体にわたって、本研究で明らかにされたと同等の材料特性を有することを確認している。

第9章は本論文の結論であり、各章を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 橋 平七郎

副 査 教 授 石 井 邦 宜

副 査 教 授 成 田 敏 夫

副 査 教 授 丸 川 健三郎

本論文は、高強度かつ加工性など機械的性質に優れた高強靱鋼板の開発を目的とし、加工誘起相変態による伸びの向上と加工誘起相変態発現のための残留オーステナイトの生成条件および薄鋼板の機械的特性向上のための熱処理と合金元素の効果を明らかにしたものである。

まず、多量の残留オーステナイト相を得る2段熱処理法を見出しこの熱処理により制御した残留オーステナイト相からなる薄鋼板は優れた機械的特性を有することを明らかにしている。

次に、新しく見出した2段熱処理法で得られる残留オーステナイト相の生成に及ぼす炭素、珪素などの添加元素の効果を検討し、残留オーステナイト相は同相への炭素の濃化により安定化され、珪素およびマンガンはその炭素濃化を助長することを明確にした。

さらに、多量の残留オーステナイト相生成機構について考察し、炭素の残留オーステナイト相への濃化は、ベイナイトへの変態過程で排出された炭素が隣接の未変態オーステナイト相中に拡散濃化されること、また、適切な2次均熱処理温度および時間の設定によって濃縮炭素濃度を制御し安定な残留オーステナイトを得ることが可能であることを示した。

最後に、薄鋼板の機械的特性と組織との関連について検討し、伸びは残留オーステナイト相の塑性変形過程に伴う変態誘起効果に起因して生じ、機械的性質は残留オーステナイト相の量に依存し、マルティサイト支配領域、低炭素ベイナイト領域および残留オーステナイト減少流域の3領域に分かれて変化することを示すと共に、実際の応用試験により、本方法で得られた薄鋼板は

優れた加工特性を有することを確認した。

以上のように、本研究は、新しい2段熱処理法による残留オーステナイト組織の制御により実用薄鋼板の高強靱化を可能にし、またその制御機構を明らかにしたものであり、この成果は、金属材料工学に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。