

氏 名	さか 坂 敬 た 田 敬
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3694 号
学位授与の日付	平 成 15 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	固溶強化型 Interstitial Free 鋼の深絞り性向上ならびに低降伏比化に関する研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 牧 正 志 教 授 山 口 正 治 教 授 長 村 光 造

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、自動車の車体用材料として重要な役割を果たす高強度鋼板の中で、引張強度が 440 MPa 級の固溶強化を主体にした Interstitial Free (IF) 鋼を対象に、機械的性質、特に深絞り性、降伏比および耐 2 次加工脆性におよぼす影響因子の解明、ならびに良成形性鋼板の開発を目的として行われた研究結果をまとめたものであり、6 章より構成されている。

第 1 章は序論であり、自動車用鋼板、特に固溶強化を主体にした IF 鋼の高強度化に伴う問題点を金属組織学的な観点から総括し、本研究の目的である深絞り性の付与、低降伏比化ならびに耐 2 次加工脆性の改善に関して、本研究の意義、目的について述べている。

第 2 章では、TS440MPa 鋼の深絞り性支配因子の解明を行っている。固溶強化元素が複合で添加される場合、従来の単独添加の場合に比べて深絞り性に対し複雑に影響をおよぼすことを確認している。すなわち、一定量の Si, P 量のもとで Mn が増加すると、深絞り性の尺度である r 値は、増加し極大値を示した後に低下する。また Si の低減で r 値の極大値は低下するとともに、Mn の上昇にともなう極大後の r 値の低下がより顕著に起ることを見出している。この現象は、個々の固溶強化元素に関する知見では説明できず、本研究にて、強化元素を複合で添加して初めて明らかになった現象である。固溶強化元素を複合で添加した場合は、熱間圧延や連続焼鈍工程での変態挙動を変えることで深絞り性に影響をおよぼす。すなわち、熱間圧延の段階においては、熱間圧延後のフェライト結晶粒径を微細にするため、仕上げ圧延が Ar_3 変態点直上になるように、Mn, Si, P 量を適正化することが最も重要であることを見出している。また、再結晶焼鈍処理においては、再結晶完了後のオーステナイト変態温度 (A_s) までの間の温度域が広いほど (111) 結晶粒の成長にとって有利となること、過度の Mn 添加では (111) 粒が十分に粒成長する前に A_s 変態が起り深絞り性が低下することを明らかにしている。

第 3 章では、TS440MPa 鋼の低降伏比化に関し、二相域焼鈍による変態組織形成に着目して研究している。0.10% P-1.5% Mn-0.5% Si 添加において、二相域焼鈍により降伏比が顕著に低下すること、また、これが転位密度の高いベイニチックフェライト相の形成によるものであり、その周囲のフェライトに多くの可動転位が導入されたことで、低降伏比化が達成できることを明らかにしている。添加元素の影響は、二相域焼鈍時の固溶強化元素のフェライトとオーステナイトの二相間の濃度分配で説明している。高 Mn 鋼では、オーステナイト相に Mn が顕著に濃化し、変態組織強化による強度上昇がより優先的に起こるので、低降伏比が可能な焼鈍温度範囲は低 Mn-Si 添加鋼に比べて狭くなることを見出している。以上のような固溶強化型 IF 鋼における深絞り性改善ならびに低降伏比化の原理の解明により、優れた特性の TS440MPa 級高強度鋼板の工業化に成功している。

第 4 章では降伏挙動におよぼす P の精晶粒界への偏析の影響について研究している。再結晶焼鈍後の冷却中に約 700°C で等温保持することで、高 P 鋼の場合でも降伏比が低下すること、およびその原因がホールペッチ式の (粒径: d)^{-1/2} の傾き k の減少によることを明らかにしている。オージェ電子分光分析により 700°C で P の粒界偏析が増加していることから、 k 値は P の粒界偏析処理により低下することを確認している。また、結晶粒径が小さい場合のほうが、偏析処理により P の結晶粒界濃度が高くなることを、粒径を考慮した平衡偏析計算により明らかにし、細粒鋼の方が P の粒界偏析により降

伏強度が低下しやすいことを見出している。

第5章ではIF鋼の耐二次加工脆性におよぼすBの影響について研究している。IF鋼では、850°Cで長時間の保持を行うことで、二次加工脆化の温度が上昇すること、Bの有無にかかわらず粒界へのPの偏析がほぼ同程度に増加することを明らかにしている。この結果から、Bの耐二次加工脆性改善の機構として、Bによる粒界強度の上昇が最も支配的であると推論している。一方、Bがない場合にはPは850°Cで20s程度の極めて短時間で粒界に偏析することを確認しており、これはSite competition説も妥当であることを示している。以上の結果から、Bによる耐二次加工脆性改善の機構として、まずBによる粒界強化が優先的に起きているが、同時にSite competitionも働いていると結論している。

第6章は総括であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

自動車の軽量化と衝突安全性の観点から、自動車用鋼板のより一層の高強度化が望まれている。CやNなどの侵入型元素をNbやTiの析出物として固定したInterstitial Free (IF) 鋼は極めて優れた成形性を有する新しいタイプの薄鋼板として注目を浴びているが、その強度はTS330MPa級が上限であった。本論文は、固溶強化型IF鋼を対象とし、Pを主体とした固溶強化元素と深絞り性、低降伏比化、耐二次加工脆性の関係を金属組織学的観点から解明し、引張強度440MPa級の高強度鋼板の製造技術を確立することを目的として行った研究をまとめたもので、その概要は以下の通りである。

1. 固溶強化元素 (P, Mn, Si) の複合添加は、熱間圧延や焼鈍工程での相変態挙動を変えることを介して深絞り性に大きな影響を及ぼすことを明らかにし、深絞り性の良い高強度IF鋼の最適固溶強化元素量を決定した。

2. P添加高強度IF鋼の低降伏比化に対して、二相域焼鈍が有効であることを明らかにし、フェライト-ベイナイト複合組織の重要性を見出し、Pの粒界偏析と降伏強度の関係からその原因を明らかにした。

3. P添加高強度IF鋼で発生する二次加工脆化は、微量のボロン (B) 添加によって顕著に改善することを見出し、その機構をBの粒界偏析の観点から明らかにした。

4. 上記の研究に基づいて、今まで自動車用鋼板として工業的に製造されていなかった引張強さ440MPa級の深絞り性に優れた低降伏比の高強度IF鋼板を開発し、実用化に成功した。

以上、要するに、本論文は、Pを主体とした固溶強化型Interstitial Free鋼を対象に、機械的性質、とくに深絞り性、降伏比および耐二次加工脆化に及ぼす金属組織学的諸因子の影響とその制御法を解明し、加工性に優れた自動車用高強度鋼板の開発に成功したもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年11月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認められた。