

氏 名	はせがわ とし えい 長 谷 川 俊 永
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3765 号
学位授与の日付	平 成 16 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	高張力厚鋼板の強度・靱性向上に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 牧 正 志 教 授 山 口 正 治 教 授 落 合 庄 治 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は高張力鋼板の厚手化，高強度化のニーズに応えるべく，板厚が50mm以上，引張強度が490N/mm²～780N/mm²級の高張力厚鋼板の強度，靱性および溶接熱影響部（HAZ）靱性の向上を図ることを目的に，種々の強度レベルにおける最適の成分選定と製造条件に関し金属組織学的観点から検討した結果をまとめたものであり，5章より構成されている。

第1章は緒論であり，本研究の背景としての厚鋼板の用途，要求される特性に基づいて厚鋼板に対する課題を整理し，その課題解決のために取り組んだ本研究の意義，目的を述べている。また，課題解決のための組織制御，材質制御の基本的方針を，鋼の強度・靱性の発現機構，従来の厚鋼板の強度・靱性向上のための工業的手段の整理の上に立って述べている。

第2章では，制御圧延により製造される引張強度が490N/mm²級の非調質高張力厚鋼板の強度および靱性の支配因子とその制御法について研究している。本論文では，従来の制御圧延とは異なるオーステナイト（ γ ）の極低温域加熱と二相域圧延を組み合わせた新しい制御圧延法の開発と，これに適した成分系の確立を目指した。その結果，Ti，Vを複合添加した鋼は，極低温加熱による加熱 γ 粒の微細化と，軽度の γ/α 二相域圧延とを活用することにより，従来にない低炭素当量（ $\leq \text{Ceq. } 0.35\%$ ）の490N/mm²級非調質高張力厚鋼板が製造可能であることを明らかにした。TiおよびVの作用として，Ti添加は極低温加熱時の γ 粒微細化効果およびその後の変態によるフェライト（ α ）の細粒化による強度と靱性の向上に有効であること，V添加は二相域圧延後の冷却時に α 中にVNが微細析出して，母相 α の強度上昇に寄与することを明らかにした。TiとVが同時に含まれる鋼は，Vの添加によって加工 α の再結晶が抑制されるとともに，Ti添加により特有のラス状下部組織が形成されることにより，V単独添加鋼やNb-V複合添加鋼に比べて，二相域圧延による転位強化量が大きいことを初めて見出した。以上の研究成果に基づいて，さらに製造条件や化学組成，継手靱性の最適化に関する研究ならびに厚板工場での工場圧延実験を行い，実用化に結びつけた。

第3章では，焼きならしにより製造される引張強度が490～570N/mm²級の高N-V添加非調質高張力厚鋼板の強度および靱性向上のための研究を行い，析出強化を用いた強度，靱性の制御技術の基盤確立を目指した。本鋼の焼きならし後の強度，靱性の向上は主として α 粒径微細化に起因していること， α の細粒化は γ 域でのVN析出によって加熱 γ 粒径の微細化が生じ，次いで，冷却過程での $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態時に固溶VがVNとして析出して， γ/α 変換比を増加させることによって達成されることを明確にした。さらに， α 細粒化のためには γ 域加熱段階でのVNの固溶・析出状態を適正化することが重要であること，そして，VNの析出挙動はV，N量だけでなく，Nと結びついてAINを形成するAlの含有量や固溶・析出状態に強く影響され，VNの析出量を増加させて加熱 γ 粒径の微細化を図るためには，AINの析出を極力抑制することが重要であることを明らかにした。これらの知見をもとに，焼きならしにより製造される高N-V添加系非調質高張力厚鋼板の製造指針を体系的に確立した。

第4章では，焼入れ・焼もどしにより製造される引張強度が780N/mm²以上の調質高張力厚鋼板の多層盛溶接のHAZ靱性について研究している。まず，溶接再現熱サイクル材のシャルピー衝撃試験により，HAZ靱性が最も劣化する組織（局所

脆化域：LBZ）とその熱履歴の関係を調べ、局所脆化域として、Fusion line (FL) 近傍で高温に加熱されて粗粒組織となった領域が後続の溶接ビードにより A_{c3} 変態点直上に再加熱された組織（粗粒 + A_{c3} 領域），粗粒組織が後続の溶接ビードにより A_{c1} 変態点と A_{c3} 変態点の中間の二相域に再加熱された組織（粗粒 + A_{c1} 領域），粗粒組織が後続の溶接ビードにより 600°C 程度以下の A_{c1} 変態点以下に再加熱された組織（粗粒 + temper 領域），の 3 種類があることを見出した。鋼の合金元素量が増加して焼入性が上昇するに伴って、局所脆化域は（粗粒 + A_{c1} 領域） $\rightarrow$ （粗粒 + A_{c3} 領域） $\rightarrow$ （粗粒 + temper 領域）へと順次移行する。これらの局所脆化域の中で、 780N/mm^2 級鋼の代表的成分範囲において局所脆化域となる可能性が最も高く、かつ、靱性劣化が著しいのが粗粒 + A_{c3} 領域であることから、本領域の靱性劣化機構をさらに詳細に調べ、支配因子の影響を定量的に明らかにすることによって、本領域の靱性を改善するための成分設計指針を確立した。併せて、CTOD 特性の支配因子を明らかにすることによって、シャルピー特性だけでなく CTOD 特性に優れ、かつ経済性にも優れた 780N/mm^2 級以上の調質高強度厚鋼板の新たな成分系を提案した。

第 5 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

本論文は、高張力鋼板の厚手化、高強度化のニーズに応えるべく、板厚が 50mm 以上、引張強度が $490\text{N/mm}^2 \sim 780\text{N/mm}^2$ 級の高張力厚鋼板の強度、靱性および溶接熱影響部（HAZ）靱性の向上を図ることを目的に、種々の強度レベルにおける最適の成分選定と製造条件に関し金属組織学的観点から検討した結果をまとめたもので、その概要は以下の通りである。

1. 制御圧延により製造される引張強度 490N/mm^2 級非調質高張力厚鋼板の強度および靱性の向上は、フェライト粒微細化と析出強化の組み合わせが有効であることを明らかにし、それを実現する方法として、極低温オーステナイト域加熱と軽度の二相域圧延を組み合わせた新しい制御圧延法を開発し、Ti、V 複合添加鋼においてその有効性を実証するとともに、Ti および V の強靱化作用を金属組織学的観点から明らかにした。

2. 焼きならしにより製造される引張強度 570N/mm^2 級の非調質高張力厚鋼板の強度および靱性の向上に対しても、フェライト粒の微細化と析出強化が重要であることを示し、それを実現する方法として焼きならし時の VN 析出物の活用が有効であることを見いだした。これらの知見をもとに新しい高 N-V 添加鋼を開発し、最適の熱処理条件を確立した。

3. 焼入れ・焼もどしにより製造される引張強度 780N/mm^2 級の調質高張力厚鋼板の溶接 HAZ 靱性の向上に関して検討した結果、局所脆化 HAZ 組織として三つの組織領域があることを初めて明らかにし、上部ベイナイトの形成が脆化の主因であることを明確にした。これらの知見をもとに、HAZ 靱性向上のための新しい合金設計方法を確立した。

4. 上記の研究に基づいて、広範な強度レベルをカバーする強度、靱性および溶接性に優れた高張力厚鋼板の最適成分設計方法および製造条件を確立し、実用化に成功した。

以上、要するに、本論文は高張力厚鋼板の強度、靱性および溶接性に及ぼす金属組織学的因子の影響とその制御法を解明し、種々の強度レベルの厚鋼板の開発、実用化に成功したもので、学術上、實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 15 年 11 月 18 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、合格と認めた。