

氏 名	岡 本 健 太 郎 お か も と けん た ろ う
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1381 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	高張力鋼の溶接部における切欠靱性の改善

論文調査委員 (主 査) 教 授 盛 利 貞 教 授 水 野 政 夫 教 授 高 村 仁 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は Si-Mn 系高張力鋼の大入熱溶接継手熱影響部 (以下 HAZ と略記) の切欠靱性を工業的に確保する方法を鋼板の合金設計ならびにその溶製, 熱間圧延および熱処理について理論的, 工業的両面から検討した一連の研究結果をまとめたもので 8 章からなっている。

第 1 章は序言で, 高張力鋼の大入熱溶接継手の問題点をあげ, 本研究を開始した理由を述べている。

第 2 章では低 C-Si-Mn 系 Al キルド高張力鋼の大入熱溶接継手 HAZ の切欠靱性改善のために立案した基本的構想を述べている。すなわち, 鋼構造物の溶接 HAZ に要求される機械的性質とくに切欠靱性の目標値を決定し, 経済性と高張力鋼の特徴を失わずにこれらの目標値を満たすためには, Si-Mn 高張力鋼の主要化学組成を変えずに溶接 HAZ の焼入性を低下させて靱性を保持すること, これには HAZ の金属組織を従来鋼の中間段階組織から新たに細粒フェライト主体の組織に変えることを基本的立場としたことを述べている。

第 3 章では上述の フェライト主体の組織を得る手段として溶接 HAZ 高温加熱域での オーステナイト (γ) 粒の成長に及ぼす種々の炭化物, 窒化物の影響を研究し, Al, Ti, Zr, Hf, V, Nb あるいは Ta を微量添加した高張力鋼の 1400℃ 以下における γ 粒成長阻止能力を調べ, TiN 析出鋼が最大であること, γ 粒径と 0.05 μm 以下の TiN の平均粒径とその体積分率との間には Zener の関係が認められること, 溶接熱サイクル付与前の鋼板中に 0.1 μm 以下で析出する TiN が多いほど γ 粒は小となることなどを明らかにしている。

第 4 章は溶接 HAZ の冷却変態挙動すなわち金属組織に及ぼす TiN の影響を調査したもので, TiN 析出鋼のフェライト生成臨界冷却速度は小であり, 等軸フェライト量も多くなるが, これは γ 粒の成長阻止効果によって粒界面積が増加しフェライト変態が起こりやすく, また γ 粒内にも idiomorphous フェライトを生成するため, 後者は γ 粒中に存在する TiN を核生成の起点としていと考えられ熱力学的考察によっても妥当であることを説明し, 0.1 μm 以下の大きさで析出した TiN が多いほどフェライト粒数が増加することを示した。

第5章では単一熱サイクル溶接 HAZ の切欠靱性に及ぼす TiN の析出状態の影響を調べている。まず微細 TiN 析出鋼はTi無添加鋼より HAZ の切欠靱性が優れ、とくに $0.1\mu\text{m}$ 以下の TiN 量が熱サイクル付与前の鋼板中に多いほど優れていることを示し、これは TiN が γ 粒の成長を阻止し、かつ idiomorphous フェライトの生成を促し変態生成組織の成長範囲を狭め脆性破壊単位 dc を小にするためと推定し、また種々の再現 HAZ のシャルピー試験における破面遷移温度と dc との間に Petch の式と同種の関係式を得ている。この式中の材料定数に及ぼす各種添加元素の影響を検討し、定数 J は C, P, S, Ni, V, Nb および固溶 N 含有量の増加に伴って大となり、Cu および B は J を小にし、Si, Mn, 固溶 Al は影響しないこと、また材料定数 K はこれらの合金元素量に影響されず一定であることを明らかにした。

第6章では低 C-Si-Mn 系高張力鋼材中における TiN の析出挙動をフェライトおよびオーステナイト域で調査し、さらに $1150\sim 1600^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で TiN の溶解度積を求めている。まず溶鋼中での TiN の溶解度積を求めて従来の数値と比較し、オーステナイト域では溶解度積の温度依存性を数式化し、さらに溶鋼を連続冷却した場合の冷却途中における TiN の大きさを $0.1\mu\text{m}$ 以上のものと以下のものとに分離して析出挙動を調査し、凝固後徐冷するほど $0.1\mu\text{m}$ 以上の粗大な TiN が増加することを示し、また鋼片の連続昇温途中における TiN の析出挙動を調べ、 1150°C 付近に加熱すると TiN の析出量が最大となり、高温に長時間保持するほど粗大な TiN が増加すること、圧延のまゝの状態とその後焼入れ焼もどした状態とで TiN の析出状態はほとんど変わらないことなどを明らかにして切欠靱性の向上に必要な多くの基礎的知見を得ている。

第7章では以上に述べた研究成果を HT50 と HT60 級高張力鋼の製造に適用し、大入熱溶接可能な高張力鋼の工業化例を示したもので、従来の低 C-Si-Mn 系高張力鋼に Ti 約 0.02% 、N 約 0.009% を添加した HT50 級およびこれにさらに Cu, Ni 約 0.2% 、B 約 0.002% を添加した HT60 級の高張力鋼を LD 転炉で溶製し連続鋳造した試作鋼板は各級の鋼板規格に合致する強度と靱性とを有し、全板厚一層の大入熱溶接継手は本研究の目標値を満足し、種々の大型脆性破壊試験においても市販鋼の継手より脆性破壊に対して安全であることを証明している。

第8章は結言で本論文の内容を要約している。

論文審査の結果の要旨

高張力鋼を使用する溶接構造物は、その大型化に伴い大入熱溶接法の適用が作業上からは好ましい反面、溶接熱影響部 (HAZ) の脆化に基づく脆性破壊の危険性が増大するため HAZ の切欠靱性の低下防止はきわめて重要な問題である。本論文はこの問題を取り上げ、その解決策を研究した結果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1) 高張力鋼の溶接 HAZ に要求される機械的性質とくに切欠靱性の目標値を決定し、経済性と高張力鋼の特徴を保持するため、低 C-Si-Mn 系高張力鋼の主要化学組成を変更せずに溶接 HAZ の焼入性を低下させるには、HAZ の金属組織を従来鋼の中間段階組織から細粒フェライト主体の組織に変えるという基本構想を立案した。本研究が発表されて以降、同種の着想に基づく研究報告が見受けられるが著者はその先鞭をつけたといえる。

2) Al, Ti, Zr, Hf, V, Nb あるいは Ta を微量含有する調質高張力鋼の1400℃以下における γ 粒成長挙動を溶接熱サイクル再現装置によって観察し、これら諸元素の炭化物あるいは窒化物のうちで TiN が最大の成長阻止能力を有すること、1400℃における TiN 析出鋼の γ 粒径 D と、0.05 μm 以下の TiN の平均粒径 r およびその体積分率 f との間に $D=0.12r/f$ なる関係式が成立し、熱サイクル付与前の鋼板中の 0.1 μm 以下の TiN が多いほど γ 粒が小さいこと、TiN 析出鋼のフェライト生成臨界冷却速度は小さく、等軸フェライトも多くなるが、これは TiN が γ 粒の成長を阻止するためフェライト変態の起点となる γ 粒界の面積を増加し、また γ 粒内における idiomorphous フェライトの生成を促進するため、その生成数は変態直前の γ 中の 0.1 μm 以下の TiN が多いほど増加することを明らかにしている。

3) 単一熱サイクル溶接 HAZ の切欠靱性に及ぼす TiN の析出状態の影響を調査し、TiN による切欠靱性の改善は脆性破壊単位 dc を小さくするため、破面遷移温度 $\sqrt{T_{rs}}$ と dc との間に、Petch の式と同様の関係式が成立することを示し、 $\sqrt{T_{rs}}$ に及ぼす C, Si, Mn, P, S, Ni, V, Nb, Cu, B の影響を系統的に調査して、上記関係式の材料定数への影響を定量的に明らかにしている。

4) Ti 0.02%, N 0.009%を含有する低 C-Si-Mn 系高張力鋼に種々の熱処理を施し、TiN の析出挙動を熱力学および金属組織の両面から調査し、1150~1600℃の温度範囲における溶解度積を求め、 γ 域において溶解度積の温度依存性を数式化し、鋼材の熱履歴と TiN 析出量およびその大きさとの関係を調査して、切欠靱性向上のためには鋳片の冷却速度を大にし、圧延可能な範囲で再加熱温度を低くすればよいという基礎的知見を見出している。

5) 以上の研究成果を HT 50, 同60級の高張力鋼の製造に適用し、TiN を含有させた試作鋼は当初の目標値を満足し、種々の大型脆性破壊試験においても従来の市販鋼より脆性破壊に対し安全であることを示した。

以上要するに本論文は低 C-Si-Mn 系高張力鋼の溶接 HAZ の脆化防止対策を金属材料学的観点から研究し、TiN の析出挙動と熱処理との関係を詳細に追求して得た基礎的知見を応用して微細 TiN を含有する高張力鋼を開発し、経済性を保持しつつ切欠靱性の改善を達成したもので、学術上にも工業上にも貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。