

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 後藤 聡太

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 理工博甲第1号

学位授与年月日 令和元年9月13日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日 文部省令第9号) 第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 理工学府 機械・材料・海洋系工学専攻

学位論文題目 エネルギー開発用電気抵抗溶接鋼管の耐破壊信頼性向上のための材料組織プロセス制御と実用設計 (Metallurgical and practical design to improve fracture reliability in high-frequency electric resistance welded steel pipe for energy development use)

論文審査委員 主査 横浜国立大学 梅澤 修 教授  
横浜国立大学 廣澤 涉一 教授  
横浜国立大学 中尾 航 教授  
横浜国立大学 高橋 宏治 教授  
横浜国立大学 長谷川 誠 准教授

## 論文及び審査結果の要旨

2019年7月23日(火)9:30より機械工学材料棟421室において、機械・材料・海洋系工学専攻博士課程後期1年後藤聡太の学位論文発表会を実施した。引き続き10:40より同421室において審査委員全員出席のもとに審査会を開催した。提出された学位論文の内容、学位論文を構成する査読付き投稿論文、学位論文発表会での発表ならびに質疑応答についての審査を行った。本論文は、高強度厚肉電縫鋼管母材部の低温靱性に及ぼす化学成分と素材製造条件の影響、島状マルテンサイト量、降伏比および低温靱性に及ぼす化学成分と素材製造条件の影響、電縫溶接部の耐破壊性能に及ぼす介在物とマイクロ組織の影響、円周溶接後熱処理の母材部強度への影響を明らかにし、その学術的価値が高い。そして、工学的実用にも貢献するところも大きく、博士(工学)の学位論文として十分な価値がある。したがって、提出論文は学術的に十分価値のある内容を有しており合格と判定した。なお、著作権保護への配慮は十分であることを確認した。次に、学位論文に関連する分野の科目について博士(工学)の学位を得るにふさわしい学力を有するかについて審査し、合格と判定した。外国語については、国際会議発表の経験があることから十分な学力を有すると判定した。以上により、審

査委員全員一致して最終試験は合格であると判定した。

本論文は、電縫鋼管の母材部と溶接部の信頼性を向上させるための冶金学的因子とその制御方法に着目し、耐破壊性能に優れる高信頼性電縫鋼管の設計指針を提示するに至る一連の研究成果をまとめたものである。論文は全 6 章で構成される。第 1 章では、エネルギー開発用電縫鋼管に求められる社会ニーズと課題、研究の目的を示す。

第 2 章では、API X80 級高強度電縫鋼管母材部の高靱性化を目的に、C 添加量によるベイニティックフェライト変態温度域の変化と未再結晶域圧下率による結晶粒径均一性の変化に着目して、低温靱性向上のためのマイクロ組織制御技術について検討を行なった。C 添加量を 0.03 % とすることでベイニティックフェライト変態温度域を巻取温度 (550~650 °C) と整合させることができ、熱延工程において靱性に優れた微細なベイニティックフェライト単相組織が得られることを明らかにした。未再結晶域圧下率を 35 % 超えに設定すると結晶粒径の均一性が向上して、母材部の CTOD は 0.8 mm 以上、シャルピー遷移温度は -100 °C 以下で安定化することを示した。そして、これらの知見をもとに工業生産レベルで 20 mm を超える鋼管肉厚の低温靱性仕様 X80 級電縫鋼管を製造できることを実証した。

第 3 章では、熱延鋼板の降伏比低減による電縫鋼管の高変形能化を目的に、低温靱性に優れる複相組織鋼板を開発するべく、第 2 相島状マルテンサイトの降伏比への影響、焼入れ性向上元素である Mn、Mo および Ni 添加の島状マルテンサイト量への影響および低温靱性に及ぼす島状マルテンサイトサイズの影響について検討を行なった。すなわち、Mn および Mo を最適なバランスで添加することで、ベイニティックフェライトに島状マルテンサイトが分散した複相組織熱延鋼板を熱延鋼板で得ることができ、島状マルテンサイト量の増加が熱延鋼板の降伏比を低下させること、ベイニティックフェライト変態開始温度と変態終了温度の中央温度で冷却停止して保持すると島状マルテンサイト量が最大となること、加工熱処理プロセスを用いた島状マルテンサイトの最大サイズ微細化により変形性能と低温靱性を両立できることを明らかにした。

第 4 章では、酸化物系介在物抑制とマイクロ組織制御による電縫溶接部の耐破壊性能向上を目的に、酸化物系介在物のシャルピー特性への影響と溶接部マイクロ組織の低温靱性への影響を有限要素法と実験により検討した。介在物を含む場合には介在物破壊が起点となった初期き裂がマトリックスの延性破壊に先んじることで吸収エネルギーの低下と延性脆性遷移温度の上昇をもたらすことを示した。酸化物系介在物のサイズを約 60  $\mu\text{m}$  未満に低減することとマイクロ組織を面積平均粒径約 4  $\mu\text{m}$  のベイニティックフェライトとすることにより電縫溶接部のシャルピー延性脆性遷移温度は -90 °C 以下にまで向上した。酸化物系介在物抑制とマイクロ組織制御を行なった電縫鋼管の低温水圧バースト試験により UOE 鋼管と同等以上の耐破壊信頼性を有することを実証した。

第 5 章では、API X80 級電縫鋼管ケーシングパイプの継手強度信頼性向上を目的に、円周溶接後熱処理条件の適正範囲を検討した。継手引張強度が API X80 級を満足する溶接条件を見いだし、母材部強度が円周継手強度を支配することを示した。そして溶接後熱処理後の母

材部強度は温度と保持時間の関数である焼戻しパラメータで整理でき、後熱処理後の強度確保には焼戻しパラメータが 20,000 以下となる条件を選べばよいことを示した。また、溶接後熱処理によって微細な NbC が析出して転位組織の回復・粒成長にともなう強度低下を抑制することを明らかにした。

第6章では、各章で得られた電縫鋼管母材部の高靱性化と高変形能化、電縫溶接部の耐破壊性能向上および耐溶接後熱処理特性に関する研究成果を総括した。