

論文の内容の要旨

論文題目 二相ステンレス鋼の結晶粒微細化と熱間加工性向上のための加工熱処理
氏名 佐々木俊輔

本論文は、優れた耐食性能と強度特性を持ちつつ、希少元素の使用量が少ない二相ステンレス鋼が今後ますます重要な素材となることに注目し、製品性能の更なる向上と製造上の課題である熱間加工性の改善を目的とした新たな加工熱処理技術の提案と、その効果を確認したものである。構造物の軽量化や資源の保護、ライフサイクルコストの観点で優れる二相ステンレス鋼の更なる活用には、希少かつ高価な合金元素の添加に頼らない製品特性の向上と、工業上の課題である低い熱間加工性の改善を同時に満たす研究開発が重要である。また、これらの課題を解決することに加え、安価で大量生産可能な一貫したプロセスを実現する必要がある。本論文では提案した加工熱処理技術による結晶粒微細化効果と熱間加工性の改善について、小型試験片を用いた基礎実験による確認と、組織解析によるメカニズム解明を行った。その後、アンビル単軸圧縮試験を用いた圧延模擬実験により加工熱処理技術による機械的特性の向上効果と熱間成形性の改善効果を確認した。

第1章では研究背景として、二相ステンレス鋼の製品特徴や組織形態、製造プロセスについて整理した。また、最近の研究開発動向と課題を調査し、化学元素の添加に頼らない性能向上技術と熱間加工性の改善が今後の開発において重要であることを明らかにし、本論文の目的と構成を述べた。

第2章では二相ステンレス鋼の結晶粒微細化と熱間加工性改善を両立して実現する新たな加工熱処理技術のコンセプトについて、その他鋼種へ適用させている従来の加工熱処理技術との対比を行いながら説明した。提案した加工熱処理技術は、二相分率が熱間加工温度域で変化する二相ステンレス鋼特有の組織変化に注目し、加熱から熱間加工完了までの一貫プロセスの中で加速冷却を利用して結晶粒を微細化する高能率なプロセスである。加速冷却は加熱温度から熱間加工直前に行い、二相分率を過冷却な δ フェライト相が多い非平衡な状態とする。この非平衡な組織への熱間加工を行い、ひずみ誘起オーステナイト相変態を利用して結晶粒微細化を行う。また、軟質な過冷却 δ フェライト相が多い状態で熱間加工を行うため、結晶粒微細化と同時に課題である熱間加工性を改善する。本技術で実施する温度加工履歴は δ フェライト相からオーステナイト相への相変態を利用することと、加速冷却を熱間加工直前に利用して非平衡状態を得る点が汎用鋼に用いられる加工熱処理技術と大きく異なる。

第3章では、提案した加工熱処理技術で作成した組織の微細組織化の確認および結晶粒径の定量評価、結晶方位解析による組織形成メカニズムの提案を行った。調査は小型試験片を用いた単軸圧縮試験により行い、冷却速度条件や熱間加工温度、ひずみ速度が結晶粒微細化に与える影響を明らかにした。加工熱処理技術ではひずみ誘起変態により

結晶粒径数 μm の微細オーステナイト粒組織が得られた。また、EBSDによる詳細な結晶方位解析により加工熱処理条件と結晶粒径の関係を定量的に明らかにするとともに、オーステナイト粒が母相 δ フェライト相の粒内にK-Sの関係で微細に相変態することで微細粒化が達成される組織形成メカニズムを明らかにした。

第4章では、課題である熱間加工性の一つである熱間流動応力改善効果について小型の熱間単軸圧縮試験により調査を行った。調査の結果、提案した加工熱処理技術は二相ステンレス鋼の高い熱間流動応力を低減することを明らかにした。また、この効果は加工熱処理技術の広い加工温度範囲で得られることを確認した。熱間流動応力曲線の詳細な分析により、加工熱処理技術の熱間流動応力特性は δ フェライト相単相組織に近づくことを明らかにした。これにより、加速冷却を利用して軟質な過冷却 δ フェライト相主体の組織を造り、課題である熱間流動応力を低減する本技術のコンセプトを立証した。また、加工熱処理技術では低ひずみ速度条件でひずみ量が増加すると定常応力が上昇する現象を確認した。この現象に対し、詳細な組織解析を試み、低ひずみ速度条件では熱間加工中に非平衡から平衡状態に至る二相分率変化が起こり、硬質なオーステナイト相の増加により熱間流動応力が上昇するメカニズムを明らかにした。

第5章では、加工熱処理技術が課題である熱間延性に与える影響を熱間単軸引張試験による断面減少率の変化により調査した。調査の結果、提案した加工熱処理技術は二相ステンレス鋼の生産上の課題である熱間延性を広い熱間加工温度範囲で改善することを明らかにした。また、熱間延性改善効果は加工熱処理技術が熱間加工時の δ フェライト相分率を上昇させ、ひずみの集中を緩和したことで得られることを明らかにした。

第6章では、第5章までの基礎実験結果に基づき、加工熱処理技術が機械的特性と熱間成形性に与える影響を調査した。アンビル単軸圧縮試験による熱間圧延模擬実験の結果、二相ステンレス鋼の機械的特性で重要な引張強度と疲労特性が結晶粒微細化効果により向上した。また、通常プロセス条件では圧縮試験後の試験片に大きな割れや破断が発生したが、加工熱処理条件では良好な熱間成形性が確認でき、熱間加工性の改善効果を確認した。この結果より、化学成分の添加に頼らない二相ステンレス鋼の新たな開発機軸として加工熱処理技術が適用できることに加え、最大の課題である熱間加工性も同時に改善することを立証した。

第7章では提案した加工熱処理技術の目的と結果についてまとめ、本論文の総括を行った。また、本研究で得られた内容について学門と工業における成果と今後の展望について述べた。