

オーステナイト系ステンレス鋼への固層窒素吸収法の適用に関する研究

坪井, 耕一

<https://hdl.handle.net/2324/1441184>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

論 文 要 旨

区 分	Ⓐ・乙	氏 名	坪 井 耕 一
論文題名	オーステナイト系ステンレス鋼への固相窒素吸収法の適用に関する研究		

論 文 内 容 の 要 旨

オーステナイト系ステンレス鋼は本来、耐食性に優れ、張出や曲げ成形などの冷間加工性が良好であるのみならず遅れ破壊などの水素脆化を生じにくい特長を有しており、民生品から生体材料、化学プラント、水素環境材料など様々な分野で使用されている。フェライトやマルテンサイト系のステンレス鋼種と比較して、オーステナイト系ステンレス鋼の製造には多量のニッケルが必要であるが、資源の枯渇や価格変動の問題からこれを安価な合金元素で代替しようという検討がこれまでになされてきた。このような背景から、資源的な制限がない上に、鋼の諸特性を著しく向上させる窒素が注目されている。鋼へ窒素を添加させる手法の一つとして、固相窒素吸収法が挙げられる。本法はステンレス鋼を高温の窒素ガス雰囲気にて保持することで、試料の高窒素化を図る一種の化学熱処理法である。本法の熱処理はオーステナイト相の温度域で行なわれるため、より多くの窒素を固溶させることが可能であるが、その一方で鋼への窒素吸収は固相状態において行なわれるため、試料全体を高窒素化させるには長時間の高温加熱が必要となることが問題となる。本来、本法はバルクの窒素鋼を製造する手法として捉えられているが、窒素吸収処理の途中段階に着目すると窒素の濃度分布が形成されている。鋼へ窒素を固溶させると鋼の機械的性質やオーステナイトの安定度が変化するが、すなわちこれは板厚方向の材料組織制御が可能であることを示唆している。そのため、固相窒素吸収処理および真空脱窒処理を活用することにより濃度分布を制御できれば、これまでの材料組織制御とは異なった視点により薄鋼板の高機能化を達成できると期待される。本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼板に固相窒素吸収処理および真空脱窒処理を適用することで形成される板厚方向の窒素濃度分布を調査し、熱力学および反応速度論を考慮に入れた窒素濃度分布の制御・予測の手法を確立することを試みた。さらに上記の知見を基礎として、鋼板の厚さ方向における材料組織制御の有用性を明らかにすることを目的に、強度特性あるいは組織分布を有する各種鋼板を作製し、それらの機械的性質および耐水素脆化特性について検討を行った。

第1章では、本研究の背景と目的について概説した。

第2章では、オーステナイト系ステンレス鋼に対して固相窒素吸収および真空脱窒処理を適用したときに形成される窒素濃度分布をEPMAにより調査し、その予測手法について検討を行った。その結果、固相窒素吸収処理および真空脱窒処理により形成される窒素濃度分布は、雰囲気ガスと鋼最表面における界面反応($N_2 \rightleftharpoons 2N$)を考慮したActivity Flux Function modelにより予測することが可能であり、各熱処理ともそれらが有意な律速過程となることを明らかにした。Activity Flux Function modelによる予測を通じて、固相窒素吸収処理により形成される濃度分布は主として窒素の固相内拡散に影響されることを明らかにした。その一方で、真空脱窒処理における界面反応($2N \rightarrow N_2$)は窒素吸収処理と比較して1/10程度遅いことを明らかにし、このときにより形成される濃度分布は窒素の固相内拡散のみならず界面反応の影響が顕著に現われることを指摘した。

第3章では、安定オーステナイト系ステンレス鋼SUS316Lに対して固相窒素吸収処理および真空脱窒処理を適用することで、板厚方向に連続的な機械的性質の変化を有する鋼板(強度傾斜鋼板)を作製し、鋼板の平均窒素濃度がほぼ等しい試料について引張変形および曲げ変形に及ぼす強度分布の影響を調査した。その結果、強度傾斜鋼板の単軸引張特性は板厚方向の強度分布に影響されず鋼板の平均的特性により決定される一方で、曲げ特性は強度分布の影響を

顕著に受け、降伏や初期の加工硬化などの変形挙動に違いが表れることを明らかにした。また、強度傾斜鋼板の曲げ変形挙動はラミネートモデルを適用した弾塑性有限要素法により予測できることを示し、さらに逆傾斜型(表面:低強度、中心:高強度)の強度分布においてスプリングバックがより低減されることを有限要素法解析およびスプリングバック試験の両面から明らかにした。そして、板厚方向の強度分布制御が薄鋼板の曲げ成形加工において効果的であると指摘した。

第4章では、準安定オーステナイト系ステンレス鋼SUS304に対して、固相窒素吸収処理および冷間圧延を組み合わせた加工熱処理プロセスを適用して作製した組織傾斜鋼板について、その鋼板の厚さ方向における組織分布を調査し、さらに引張試験により耐水素脆化特性を評価した。その結果、板厚方向の窒素濃度分布に対応して鋼板の表面部にはオーステナイト相、内部には主として加工誘起 α' が分布することを明らかにした。さらにCohenらが提唱する歪誘起 α' の生成理論を適用することで、任意の濃度分布および冷間圧延率における板厚方向の組織分布を予測できることを見いだした。加工誘起 α' が均一に分布した場合と比較して、オーステナイト相が表面に残存している組織傾斜鋼板では鋼中への水素侵入が著しく抑制され、高強度かつ耐水素脆化特性を示した。その一方で、表面に存在するオーステナイト相を超えて水素が鋼の内部に拡散侵入する場合には水素脆化が発現することも見いだされた。上記の観点から、組織傾斜鋼板を用いる場合には、それらが適用される環境を考慮した上で適切な組織分布設計を行なうことが重要であると結論づけた。

最後に、第5章で各章の研究成果を総括した。