

マルテンサイト系ステンレス鋼への焼入れ-分配処理 の応用に関する研究

戸畑, 潤也

<https://hdl.handle.net/2324/1654842>

出版情報：九州大学, 2015, 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）

氏 名 : 戸畑 潤也

論 文 名 : マルテンサイト系ステンレス鋼への
焼入れ-分配処理の応用に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

12%Cr 鋼に代表されるマルテンサイト系ステンレス鋼は、強度や耐摩耗性に優れていることから、金型や軸受けなどの機械構造用部品、刃物などに広く利用されている。しかし、延性や靱性については同一強度レベルの低合金鋼に比べると劣っており、構造用としての応用は十分ではない。仮に、本鋼種においてそれらの機械的性質を改善することができたなら、普通鋼や低合金鋼の使用が困難な高温や腐食環境のみならず、一般用途としてもメンテナンスフリーの構造材料としてその用途がさらに広がると期待される。一方、鉄鋼材料の合金設計や組織制御の技術が積極的に取り入れられている自動車用薄鋼板の分野では、高強度鋼の加工性を改善する様々な方法がすでに実用化されている。その中でも、特に注目されている技術が残留オーステナイトの活用である。すなわち、高強度鋼の基地組織であるマルテンサイト組織やベイナイト組織中に残留オーステナイトを生成させ、その TRIP(Transformation-Induced Plasticity)効果により強度-延性バランスの改善を図ろうとする組織制御技術である。TRIP 効果とは、加工を行う際に残留オーステナイトが加工誘起変態を起こすことで材料の加工硬化性が向上し、均一伸びが増大する現象である。残留オーステナイトの生成法として、低合金鋼も場合にはオーステナイトを 700K 付近の温度でベイナイト変態させることで未変態オーステナイト部の炭素を濃化させるオーステンパー処理が利用できる。しかしながら、Crを多量に含有するマルテンサイト系ステンレス鋼の場合、ベイナイト変態が普通鋼に比べて著しく遅延することが知られており、実用可能な処理時間の範囲で本手法を適用することは不可能と考えられている。そこで著者は、2003 年にコロラド大学の Speer らが提案した焼入れ-分配処理に注目した。焼入れ-分配処理とは、オーステナイト化処理後にマルテンサイト変態開始温度(M_s 点)と終了温度(M_f 点)の間の適切な温度まで試料を焼入れることでオーステナイトを部分的にマルテンサイトに変態させ、その後直ちに炭素が拡散できる温度域に昇温・保持し、マルテンサイト中の炭素を未変態オーステナイトへと分配させることで残留オーステナイトを得る熱処理法である。この手法であれば、ベイナイト変態を必要としないため、マルテンサイト系ステンレス鋼における残留オーステナイト生成法として利用できると考えた。以上のような背景を踏まえ本研究では、マルテンサイト系ステンレス鋼への焼入れ-分配処理の適用ならびにそれによる機械的性質の向上を目的として、焼入れ-分配処理条件の最適化、組織形成機構の解明、合金元素の影響の明確化を行った。そして、本手法を実用のマルテンサイト系ステンレス鋼に応用するための指導原理の構築を試みた。

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、汎用の 12%Cr マルテンサイト系ステンレス鋼(SUS410)に対して焼入れ-分配処理を適用し、その有効性を示した。まず、熱処理中における平衡関係と相変態挙動との関係について議論し、最大量の残留オーステナイトを生成させる最適な熱処理条件を明らかにした。とくに分配処理時の炭素の挙動については、炭素の拡散のみによる相間の平衡(Constrained Carbon Equilibrium; CCE)に基づいて定量評価を行い、ほぼ全ての炭素が未変態オーステナイト中に濃化することを理論的に示した。ついで、最適条件で熱処理した試料を用いて引張試験を行い、機械的性質に及ぼす残留オーステナイトの影響を調査した。その結果、

残留オーステナイトの加工誘起変態に伴う TRIP (Transformation-Induced Plasticity) 効果により、マルテンサイト系ステンレス鋼の強度-延性バランスが著しく改善されることを証明した。

第 3 章では、マルテンサイト系ステンレス鋼の主要元素である Cr の役割を明らかにするため、Cr 含有量の異なる低炭素鋼を用いて焼入れ-分配処理に伴う組織変化を調査した。とくに分配処理時の未変態オーステナイトへの炭素の濃化挙動に影響を及ぼすベイナイト変態と炭化物析出の挙動に着目し、Cr 量の増加にともなってベイナイト変態が著しく抑制されること、また Cr 添加が炭化物の析出も生じ難くすることを示した。その結果、得られる残留オーステナイト体積率が増加することを明らかにし、Cr を含有するマルテンサイト系ステンレス鋼にとって焼入れ-分配処理は極めて有効な組織制御手法であることを証明した。

第 4 章では、焼入れ-分配処理したマルテンサイト系ステンレス鋼における残留オーステナイト体積率のさらなる増加や安定度の向上を目的とし、セメンタイトの析出を抑制する効果が期待される Si の添加の効果を検証した。その結果、Si を含有した 12%Cr マルテンサイト鋼では、分配処理中のベイナイト変態だけでなくセメンタイトの析出の抑制効果も発現することを見出し、CCE 条件から予想される理想値に近い多量の残留オーステナイトを形成することを示した。強度-延性バランスの観点からも、1%の Si を添加した 12%Cr 鋼では添加していないものに比べて著しく優れた機械的性質を示し、Si 添加がマルテンサイト系ステンレス鋼の焼入れ-分配処理の際に非常に有効な役割をもつことを実証した。

最後に、第 5 章で各章の研究成果を総括した。