

学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 山下 享介

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第555号

学位授与年月日 平成30年3月23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 工学府 システム統合工学専攻

学位論文題目 残留オーステナイト相を含む低合金鋼の低温変形における加工誘起マルテンサイト変態
(Deformation induced martensitic transformation in low alloy steels containing retained austenite under low temperature deformation)

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 梅澤 修
横浜国立大学 教授 廣澤 渉一
横浜国立大学 教授 中尾 航
横浜国立大学 准教授 長谷川 誠
横浜国立大学 准教授 前野 智美

論文及び審査結果の要旨

本論文は、残留オーステナイト相を含む低合金鋼の低温域における相間の相対強度差の変化と残留オーステナイトの役割に着目し、残留オーステナイトの相安定性に及ぼす因子と残留オーステナイトの加工誘起マルテンサイト変態挙動について一連の研究成果をまとめたものである。論文は全5章で構成される。

第1章では、残留オーステナイトの変態誘起塑性(Transformation induced plasticity: TRIP)による伸び改善効果を利用した低合金 TRIP 鋼の変形メカニズムと残留オーステナイトの安定性について従来の見解をまとめ、本研究の目的を述べる。

第2章では、供試鋼は残留オーステナイト量の異なる2種の低合金 TRIP 鋼薄板(Low- γ 材: 0.15%C-1.7%Si-1.5%Mn および High- γ 材: 0.3%C-1.7%Si-1.5%Mn)の低温引張変形挙動と残留オーステナイトの相安定性についてまとめた。冷間圧延後、フェライト+オーステナイト二相域加熱後、オーステンパ処理して得られた組織は、フェライト母相と残留オーステナイトおよびベイナイトを含む第二相の複合組織である。残留オーステナイトはフ

フェライトの粒内および粒界上に分散しており、残留オーステナイトは母相フェライトと Kurdjumov-Sachs (K-S) 関係を有する。X 線回折により得られた残留オーステナイト量は、それぞれの体積分率が 9.4%と 17.2%である。なお、2 鋼種の残留オーステナイト中の固溶 C 量はほぼ等しい (約 1.3%)。室温 (293 K)、冷却アルコール中 (233 K, 193 K)、液体窒素中 (77 K) で引張試験を、塑性ひずみ 1%から 11%の任意ひずみにて中断試験を、塑性ひずみを 4%ずつ 12%まで連続中断試験 (293 K, 193 K) を実施した。電子線後方散乱回折 (EBSD) 法による結晶方位解析により残留オーステナイト量および結晶方位の変化を、そしてデジタル画像相関 (DIC) 法によるひずみ分布状態の解析を行った。

両鋼ともに 193 K から 293 K において高延性を示し、温度の低下に伴い引張強度も上昇した。77 K では降伏応力および引張強度ともに上昇したが、伸びは減少し、早期破断を呈した。High- γ 材において降伏応力は逆温度依存性を示した。これは温度の低下による加工誘起マルテンサイト変態の促進による。EBSD 測定より得られた初期残留オーステナイト量は、Low- γ 材および High- γ 材で 10.3 %および 16.9 %であり、XRD より得られた値とほぼ同等であることから局所領域測定であるが妥当な値である。High- γ 材の加工硬化挙動と残留オーステナイト量の変化には相関性が認められ、293 K では、残留オーステナイトは変形後期における加工硬化率の維持に寄与した。低温域では、残留オーステナイトの加工誘起変態が変形初期の高い加工硬化率に寄与するものの、伸び改善効果としての寄与は小さい。

第 3 章では、残留オーステナイトの相安定性を議論した。293 K では変形後でも一部の残留オーステナイトが残存した。残存する残留オーステナイトは引張軸に対し $\langle 111 \rangle$ が平行な方位が支配的であり、193 K および 233 K においても同様である。これは、引張軸に対し $\langle 111 \rangle$ が平行なオーステナイトの Schmid 因子が小さく、変形に対し安定であるためである。また変形後でも母相フェライトと残留オーステナイトは K-S 関係を保持しており、多くの母相フェライトは引張軸に対し $\langle 110 \rangle$ へと結晶回転したことから、母相フェライトと残留オーステナイトは協調的に変形し、オーステナイトは K-S 関係を維持しながら $\langle 111 \rangle$ へと結晶回転を生じることを明らかにした。

DIC 法ひずみ分布解析より、193 K の 4%引張変形下のひずみ分布は他の条件と比較して均一にひずみが分布していた。193 K において 4%引張変形までに 10%以上の残留オーステナイトが加工誘起マルテンサイトに変態することを考慮すると、マルテンサイト変態に伴う体積膨張がひずみ分布の均一化に寄与したと考えられる。また、引張ひずみを階級分けし、各階級のひずみの領域の残留オーステナイト量を調べ、4%引張ひずみ以下での残留オーステナイトの割合が変形に伴い増加したことから、残留オーステナイトは高ひずみ領域において優先的にマルテンサイト変態を生じており、ひずみ分布状態が加工誘起マルテンサイト変態挙動に影響することを示した。

第 4 章では、個々の残留オーステナイトの加工誘起マルテンサイト変態とバリエーション選択とについて明らかにした。フェライト粒内のオーステナイトは、マルテンサイトへと加工誘起変態するにあたり周りの母相フェライトとほぼ同じ方位へと変態した。このような

マルテンサイトのバリエーション規制について整理したところ、一般的なバリエーション規制は受けておらず、母相フェライトと同一方位を選択することで、結晶粒界を新たに生み出す必要のないエネルギー的に安定なバリエーションが優先されたと結論づけられた。この現象はある特定の部分や試験温度のみで生じているわけではなく、各実験条件において確認された。

第5章では、各章で得られた成果を総括して述べる。

以上のように、本論文は低合金 TRIP 鋼の低温域における残留オーステナイトの相安定性に及ぼす因子と加工誘起マルテンサイト変態挙動を明らかとし、学術的価値は高い。そして、本論文の内容は、低合金 TRIP 鋼の工学的実用に貢献するところが大きく、博士（工学）の学位論文として十分な価値がある。