

0.15C-2Si-7Mn 組成微細マルテンサイト組織の引張変形中の転位密度に 及ぼす炭素添加量の影響その場解析

In-situ Analysis on the Effect of Carbon Content on the Change in Dislocation Density during Tensile Tests in 0.15C-2Si-7Mn Fine Grained Fresh Martensite Steels

鳥塚 史郎, 布施太雅, 伊東篤志, 足立 大樹
Shiro Torizuka, Taiga Fuse, Atsushi Ito and Hiroki Adachi

兵庫県立大学大学院
University of Hyogo, the Graduate School of Engineering.

今回の実験では、微量残留オーステナイトおよびマルテンサイトに注目し、その組織が、大きく変化したとき、加工硬化挙動にどのような影響を与えるのかを明らかにした。今回、転位密度変化、さらには転位配列(ランダム構造、セル構造)の変化を、引張試験中のその場 X 線回折によって明らかにした。

キーワード： 高強度鋼、強度、延性、超微細組織、フェライト、オーステナイト、加工硬化、転位密度、加工誘起変態

背景と研究目的：

構造用金属材料の国際競争力は、その国の産業全体の競争力を左右するといっても過言ではない。強い素材産業があるからこそ、強い自動車産業があり、航空機産業、機械産業があるのである。特に自動車用ハイテン(高強度鋼板)は、自動車産業の競争力の根幹となる技術である。しかし、高強度であり、一様伸び、局部伸びも大きく、絞りも高く、さらに、シャルピー靱性(吸収エネルギー)が高いという優れたトータルバランスを持った鋼の実現は困難である。それは、これらの性質がトレードオフの関係にあるからである。引張強さを上げれば、伸びや靱性は低下してしまう。このトレードオフの関係を打破し、革新的構造材料を実現することを目標としてきた。

我々は、0.1%C-2%Si-5%Mn 組成をベースとしたヘテロ組織とその優れた力学的特性の関係を解析することによって、上記のトレードオフの関係にある力学的性質の限界を打破することを目標としている。

マルテンサイト組織鋼は、工業的に極めて重要な代表的超高強度材料である。引張強さ 1500 MPa、全伸び 20%が、ISMA(新構造材料技術組合)における目標であるが、この目標を突破できる可能性がある組織がフレッシュマルテンサイトである。つまり、焼入ままの焼戻しを行わないマルテンサイトである。しかし、引張強さ 1500 MPa 級になると、全伸びはせいぜい 10%である。これを大きく向上できる可能性が出てきた。それがシングルバリエーションマルテンサイトである。一般のマルテンサイトは粗大であり、パケット・ブロックやラス構造をもつ。しかし、超微細シングルバリエーションマルテンサイトは、等軸であり、パケット・ブロックやラス構造を持たない。あたかもフェライトのようなマルテンサイトである。しかも、力学的特性に優れる。

2017B1626(BL19B2)の実験では、0.1%C 2%Si-5%Mn フェライト+オーステナイトの二相組織鋼の解析を行った[1]。これまで、マルテンサイト自体に注目し、その組織が、大きく変化したとき、加工硬化挙動にどのような影響を与えるのかを明らかにしてきた[2]。今回、転位密度変化、さらには転位配列(ランダム構造、セル構造)の変化を、引張試験中のその場 X 線回折によって明らかにすることを目的とした。特に炭素添加量の影響について注目した。

実験：

試料は鋼であり、その組成は、Fe-0.1C-2.0Si-1.5Mn、Fe-0.1C-2.0Si-5Mn、Fe-0.1C -2.0Si-7 Mn、および Fe-0.15C-2.0Si-1.5Mn、Fe-0.15C-2.0Si-5Mn、Fe-0.15C -2.0Si-7 Mn である。SUS304、SUS316 も用いた。

実験条件

引張試験片試料は平行部長さ 12 mm、幅 1.2 mm、厚さ 0.5 mm の引張試験片で、BL46XU のゴニオメータ上に設置した引張り試験機に取り付けた。X 線の検出器としては、1 次元検出器 Mynthen を用いた。検出器の位置は、 2θ が 5-35° の範囲で計測できるように、適切な位置に設置した。また、集合組織の影響も検討するため、2 次元検出器 Pilatus も用いた。

X 線のエネルギーは 30 keV とした。材料は鉄鋼材料であるが板厚 0.5 mm であれば十分な回折強度が得られる。引張速度はひずみ速度 0.26mm/min となるように行った。観察する X 線のピークはフェライト相で (110)、(200)、(211)、(220)、(310) の各面とオーステナイト相では、(111)、(200)、(220)、(311)、(222) とした。1 次元検出器 Mynthen を用いて、引張試験を行いながら X 線回折を同時に行う、In-situ 引張試験 X 線回折を行った。応力-ひずみ曲線を取得しながら、応力-ひずみ曲線に対応する X 線回折データを得る。データの測定間隔は、1 s 程度とした。集合組織の影響も把握するため、選択的に 2 次元検出器 Pilatus を用いて、デバイ・シェラーリングを測定した。各面の回折ピークの角度、強度と半値幅 (FWHM : Full Width at Half Width) を測定した。得られたデータをもとに、また、半値幅より、修正 Williamson-Hall 法を用いて転位密度および転位配列を示す係数 M を求めた。微量に存在する残留オーステナイトに関しては、ピークの面積より、体積率を推定した。

結果および考察：

C 量が増加するにつれ、強度と一様延性が増加した。また、C 量を増やすと加工硬化率が向上し、そのため、強度と一様延性が同時に増加した。Fig.1 に C 量と転位密度の関係を示す。 $\epsilon=0.002$ では C 量に関わらず転位密度はほぼ一定であった。 $\epsilon=0.03$ までは、転位密度は C 量が多いほど直線的に増加した。しかし、TS の時のひずみでは、転位密度 (転位密度の上限) は C 量にともなって増加するものの、C 量が 0.2% になると、転位密度の増加率の傾きが低下した。5Mn 鋼に関して、炭素添加量が増えるほど、到達転位密度が大きくなることが明らかとなりつつある。

今後の課題：

転位構造を明らかにしてゆく。また、シングルバリエーションの転位密度変化の解析を行う。

参考文献：

- [1] 鳥塚史郎 他、SPring-8 利用課題実験報告書、2017B1626.
- [2] 前田 晃宏, 鳥塚 史郎, 足立 大樹, 自動車技術会論文集, 49(4). 856-861, (2018).

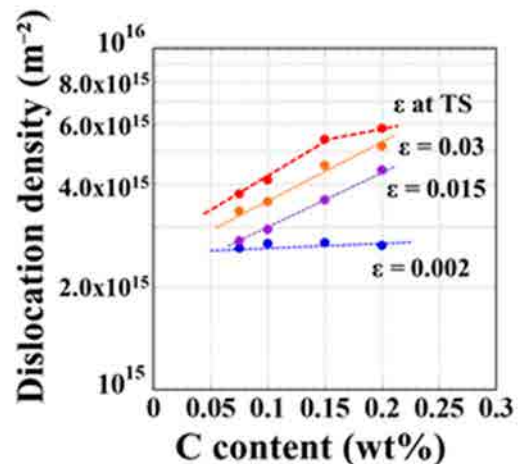


Fig.1 Relationship between C content and dislocation density in 0.075-0.3C - 2Si - 5%Mn martensitic steels.