

軟質相と硬質相から成る Dual Phase 鋼における各相の変形挙動の解明 Study on Deformation Behavior of Ferrite and Martensite in Dual Phase Steels

朴 明駿^a, 辻 伸泰^{a,b}
Myeongheom Park^a, Nobuhiro Tsuji^{a,b}

^a 京都大学構造材料元素戦略研究拠点, ^b 京都大学工学研究科

^a Kyoto University Elements Strategy Initiative for Structural Materials, ^b Kyoto University.

軟質なフェライト相と硬質なマルテンサイト相からなる二相 (Dual-Phase: DP) 鋼は優れた強度-延性バランスを示すが、両相がマイクロ組織レベルで複雑に混在しているためマクロ変形挙動をマイクロ変形挙動と関連付けて調べるのが困難であった。一方で SPring-8 にて HE-XRD を引張変形中に用いることにより各相が有する内部応力が大きく異なることが示唆された[1]。DP 鋼の変形においてマルテンサイトは高い応力を担い、フェライトは主に大きな延性を担うことにより優れた強度-延性バランスが実現されたと考えられる。

キーワード： DP 鋼、応力分配、引張試験、その場 XRD

背景と研究目的：

超微細粒バルク材は非常に高い強度と優れた疲労特性・破壊靱性を示すものの、延性の大きな低下を伴うため、微細粒材の延性改善が重要な課題となっている。一方で、DP 鋼の結晶粒を微細化することで、より優れた力学特性(高強度・高延性)を示す DP 鋼の作製に成功しており、実用材のさらなる高強度・高延性の実現という観点から結晶粒微細化が実用的にも積極的に利用されることが期待される。しかしながら、DP 鋼は微視組織レベルでフェライト相とマルテンサイト相が複雑な形状で混在しているため、両相がどのような力学的バランスをとりながら協調的に変形しているのかなど、変形機構の詳細はまだ十分に理解されていない。DP 鋼の変形機構の解明は、軟質相と硬質相から成る複相材料一般の最適な組織および力学特性の設計につながり、軽量化と省エネを目指すモノづくり産業に大きく貢献できると考えられる。

実験：

実験には、フェライト + マルテンサイトを有する Fe-2Mn-0.1C(mass%) 合金を用いた。BL46XU の回折計ゴニオメータ上に一軸引張試験機を取り付け、初期ひずみ速度 $8.3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ にて引張試験を行いながら、回折プロファイル変化を測定した。使用した X 線エネルギーは 30 keV ($\lambda = 0.0413 \text{ nm}$) で 0.2 mm(h) × 0.5 mm(w) のスリットを用いた。回折プロファイルの測定は、透過方向から 21° 上方に設置した 6 連装 MYTHEN を用いて露光時間 1 秒で行った。得られた回折プロファイルから引張変形中のピークシフト量および対象性の変化を調べた。

結果および考察：

8.2 μm のフェライトの粒径を有する Dual phase 鋼の応力-ひずみ曲線(a)および画像相関法により得られたひずみ分布マップ(b)を Fig. 1 に示す。この結果より、マクロ均一変形であっても、マイクロ組織レベルではフェライトとマルテンサイト相が常に不均一に変形していることが明らかになった。各相の変形挙動をより詳しく理解するために、In-situ XRD 測定により変形中のピークの変化を調べた(Fig. 2)。フェライトとマルテンサイトはほぼ同一結晶構造を有するため、変形前は両相のピークが重なっているが変形が進むにつれてピークが非対称になることが分かった。このことは、変形により各相が異なる面間隔の変化、すなわち異なる弾性ひずみを有することを意味している。以上の結果より、画像相関法および In-situ XRD 測定を行うことで従来困難であった Dual phase 鋼における各相の塑性ひずみ、弾性ひずみの定量評価が十分可能であること、また Dual

phase 鋼のみならず、不均一材の変形の素過程の解明に拡張できることが示唆された。

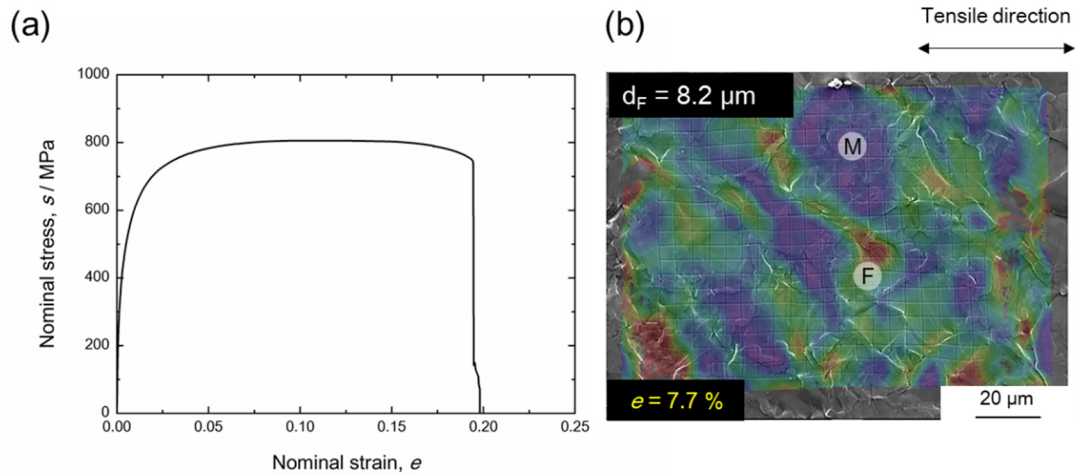


Figure 1. (a) Dual phase 鋼の応力-ひずみ曲線および(b)画像相関法より得られたひずみ分布マップ

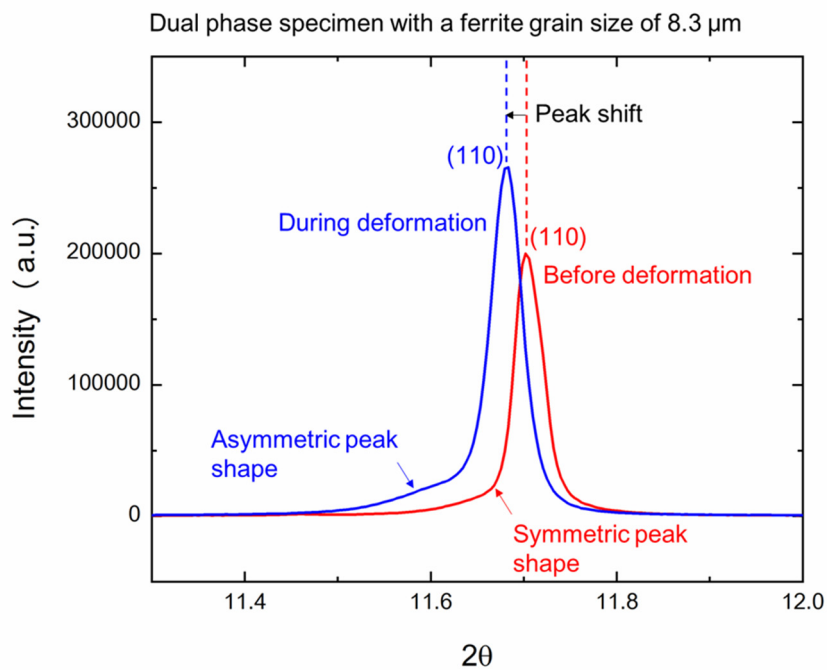


Figure 2. In-situ XRD 測定による変形中の回折ピークの変化

今後の課題：

DP 鋼の各相の力学相互作用とそれが示す変形挙動をより深く調べるために、相互作用に大きく影響するマルテンサイトの機械的性質を焼戻しにて変化させ、各相の変形挙動を各相の内部応力の変化の観点から詳細に調べる予定である。

参考文献：

[1] 朴 明駿(Myeong-heom PARK), 柴田 暁伸, 辻 伸泰, “粒径の異なる DP 鋼における変形・破壊挙動”, CAMP-ISIJ Vol. 31 (2018), p.3