

## 鉄鋼材料内部の塑性変形挙動の中性子回折による非破壊観測

### ～強力な中性子線の材料透過能の活用～

物質・材料研究機構 友田 陽

TOMOTA.Yo@nims.go.jp

鉄鋼材料の力学特性は化学組成のみでなくマイクロ組織に強く依存する。資源的制約を考えながら強度と靱性・延性を向上させ信頼性を高めた革新的高機能鉄鋼材料の開発・利用を進めるには精緻なマイクロ組織制御が重要である。そのために高分解能電子顕微鏡等を駆使したnmレベルからmmに至るマルチスケール組織観察法が発展し材料開発に大きく貢献している。しかしながら、材料試験で求められるような巨視的挙動とマイクロ組織の関係を定量的に明らかにするには、マイクロ因子の巨視的平均の観測法が不十分であった。電子線やX線を用いた観察法では表面や薄膜の観察しかできないので、物体内部における応力・マイクロ組織の3次元分布や巨視的平均値を測定するには透過能の高い中性子線の利用が適している。ここではブラッグ回折を用いた塑性変形挙動のその場観測の意義について説明したい[2, 3]。

中性子回折から得られるプロファイルのピーク位置と回折積分強度から格子面間隔と結晶配向の知見が得られ、塑性変形に伴うこれらの変化から格子（弾性）ひずみと集合組織変化が求められる。次にプロファイル形状から転位密度・性格・配列、積層欠陥頻度、結晶子サイズ等が測定される。なお、結果の解釈にはTEM, EBSD等によるマイクロ組織観察の併用が必須である。

近年開発の進められた高機能鉄鋼材料のほとんどが種々な相から構成される複相組織の適切な制御によるので、まず、フェライト・セメンタイト2相（パーライト）鋼の塑性変形機構に関して、引張変形中その場中性子回折によって明らかにされた加工強化機構について説明する。この鋼では軟質相であるフェライト内で転位によるすべり変形が開始し、セメンタイト界面に転位が堆積する。その結果、弾性変形を続ける硬質相セメンタイトが大きな応力を担うことで硬化し良好な強度・延性バランスが得られる。セメンタイト粒の形状、フェライト・セメンタイトラメラ間隔、強加工の影響について中性子回折プロファイル解析により明らかになった内容を説明する（なお、パーライトを伸線加工したピアノ線は鉄鋼の最高強度を示す）。

セメンタイトはほとんど塑性変形しないが、構成相が共に塑性変形する延性2相鋼においては上述の2相間の応力分配に起因する3段階の引張変形過程と外力反転に伴うバウシinger効果が明瞭に観測される。また、単相多結晶体において、個々の粒が結晶方位によって異なる変形挙動を示すことが中性子回折によって明らかにされつつある。個々の結晶粒の変形挙動は単結晶の弾塑性異方性の影響を受ける。上述の2相鋼においては、各構成相内の結晶方位による不均一変形挙動が構成相間の不均一変形に重なって現れる。

このような不均一塑性変形挙動を高温変形等の種々な条件下でその場測定できる点が中性子線利用の大きな魅力であり、今後、加工熱処理等への活用が期待される[3]。

#### 参考文献

- [1] 土田 紀之, ステファヌス ハルヨ, 大貫 貴久, 友田 陽: 鉄鋼材料の応力-ひずみ曲線, 鉄と鋼, **100**, 1191-1206, (2014).
- [2] 友田 陽: 量子ビーム解析を活用した複相組織制御と力学特性発現の解明, 第219・220回西山記念技術講座「材料設計を先導する物理解析技術・計算科学 -活用事例と今後への期待-」日本鉄鋼協会, 87-110, (2014).
- [3] 友田 陽: 中性子回折を用いた鉄鋼の加工熱処理の研究, 波紋, **24**, 40-44, (2014).