

力学機能のナノエンジニアリング
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

中田 伸生

東京工業大学 物質理工学院
教授

ナノスケール内部応力制御による鉄鋼強靱化

研究成果の概要

炭素(C)含有量の異なる低炭素マルテンサイト鋼を用いて、{001}へき開破壊の異方性に及ぼす焼戻し処理の影響を調査した。低温焼戻し処理を施した全ての鋼はシャルピー衝撃試験によって低温{001}へき開破壊を示した。ラスマルテンサイト組織中の各 Bain グループにおける(100)と(001)を識別し、それぞれの面に働く分解垂直応力で整理したところ、モード I による{001}へき開破壊が確認されたが、焼入れままのマルテンサイト鋼が示した(001)での優先的なへき開破壊¹⁾は認められなかった。固溶 C を含まないように IF 化した鋼においても、焼戻し処理後に(001)での優先的なへき開破壊が解消された実験事実を考慮すると、固溶 C の有無に関わらず、マルテンサイト中の変態内部応力が低温での焼戻し処理によって緩和されるものと考えられる。現在のところ、その詳細なメカニズムは明らかではないが、マルテンサイト変態によって導入された可動転位の運動や対消滅による回復が関与するものと思われる。

一方で、ラスマルテンサイトの破壊挙動に及ぼす変態内部応力の効果を検証するため、き裂を要素と独立に定義できる拡張有限要素法(eXtended Finite Element Method: XFEM)を用いた脆性き裂伝播挙動の再現を試みた。3 点曲げ試験片内部の各要素に対して、試料直行座標系の各軸に平行な一軸内部応力を予めランダムに負荷することで微視的な変態内部応力の分布を模擬した。そして、試験片のノッチ底部に曲げ応力が加わるように変位を与え、最大主応力が臨界値を超えた要素にき裂を導入する条件で計算を実施した。その結果、内部応力が存在することで、直線的なき裂の進展が幾度も屈曲し、蛇行する様子が確認できた。これは、材料内に存在する微視的内部応力がき裂伝播の抵抗として作用しており、エネルギー散逸を招くことを示唆している。ただし、本シミュレーションでは個々の結晶粒が有する結晶座標を定義できておらず、{001}へき開破壊を再現するより高度な解析の必要性を確認した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) D. Fukui, Y. Kawahito, N. Miyazawa, N. Nakada, Anisotropic cleavage fracture by transformation-induced internal stress in an as-quenched martensite, *Materials Characterization*, Vol. 191(2022), 112157.