

鉄鋼材料における転位密度評価と強化機構に関する研究

赤間, 大地

<https://hdl.handle.net/2324/1807148>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 赤 間 大 地

論 文 名 : 鉄鋼材料における転位密度評価と強化機構に関する研究

区 分 : 乙

論 文 内 容 の 要 旨

鉄鋼材料の加工硬化を利用した高強度化、ならびにその強化機構の理解を目的として、焼入れた処理や冷間圧延により導入される転位の密度や成分、配列状態などの諸性質（転位キャラクター）について調査し、それらが材料の降伏挙動や降伏応力におよぼす影響について検討した。本研究で得られた結果を以下に総括する。

第1章では、本研究の背景および目的について述べるとともに、X線回折ピークプロファイル（ラインプロファイル）を用いた転位キャラクターの評価法について、その原理や解析上の注意点などを解説した。とくに従来使用されていた Classical Williamson-Hall(CWH)法と、その修正法である Modified Williamson-Hall / Modified Warren-Averbach(MWH/WA)法については今までの解析事例を通して紹介した。

第2章では、極低炭素マルテンサイト鋼において、焼入れ処理により導入される転位のキャラクターを MWH/WA 法により評価し、降伏挙動との関係について調査した。その結果、焼入れマルテンサイト中に存在する転位は、互いに絡み合わずランダムに配列した転位であることが明らかとなった。この配列状態の影響により、ラインプロファイルの半価幅のみを用いて解析を行う CWH 法では MWH/WA 法に比べて転位密度を過大に評価する。ただし、わずか5%程度の冷間加工を施すことにより、転位の配列状態が転位セル構造に変化し、転位密度の両手法における相違はほとんどなくなる。この時、CWH 法で得られた格子ひずみは、転位密度への変換係数を $k=9.3$ とすることで、CWH 法においても妥当な評価ができていると考えられる。また、このランダムに配列した転位は、不安定な構造を有する可動転位であり、引張変形中に低応力下から運動を開始することで、転位の配列をセル構造へと変化させながら塑性ひずみを生じる。これが焼入れマルテンサイト鋼の特徴である低弾性限の原因である。

第3章ではラスマルテンサイト組織を有する Fe-18%Ni 合金について、その強化機構を Ni による固溶強化と、前章で評価した転位キャラクターを考慮した転位強化の観点から検討した。その結果、Ni は固溶強化により摩擦力を増大させるが、一方で鉄の剛性率を低下させるため転位強化係数を小さくすることがわかった。そのため、固溶強化量と転位強化量の減少分が相殺され、純鉄の転位強化挙動と比較して、見かけ上 Ni 添加の影響が顕在化しないが、ラスマルテンサイト組織を有する Fe-18%Ni 合金の降伏応力は、Ni による固溶強化と転位の均一分散を前提とする転位強化の加算により説明できる。

第4章では、転位強化機構としてより基本的なフェライト単相鋼の加工に伴う転位キャラクターの変化を MWH/WA 法を用いて評価した。その結果、加工に伴い転位密度はほとんど変化しないという解析結果となった。この傾向は転位組織観察や強度との相関性がなく、このことから転位蓄積能の低く、加工集合組織を形成しやすい α 単相鋼において MWH/WA 法を用いた転位密度評価は困

難であることが分かった。これに対して、CWH法の回折面の弾性異方性回折ヤング率から導出される回折ヤング率比 ω_{hkl} により消去した Corrected Classical Williamson-Hall (CCWH) 法を考案し、そこから得られる格子ひずみ ε を用いることで、以下に示す強度との相関性が良い転位密度 ρ をラインプロファイルの半価幅の情報のみから評価することができることを明らかにした。

$$\rho[m^{-2}] \cong 1.5 \times 10^{20} \varepsilon = 9.3 \times \left(\frac{\varepsilon^2}{b^2} \right)$$

本論文を総括して、鉄鋼材料の加工硬化を議論する上で、X線回折法を用いた転位密度評価する際には以下の方法を推奨する。

- ・加工した α 単相鋼 : CCWH法
- ・焼入れたマルテンサイト鋼 : MWH/WA法
- ・加工したマルテンサイト鋼 : CCWH法またはMWH/WA法 (どちらも同等)

以上のように、本研究では鉄鋼材料における転位キャラクターの評価をX線回折法により詳細に調査を行い、それが強度に及ぼす影響を議論した。その結果、焼入れ処理と冷間加工により得られる転位の性質には、とくに配列状態の面で大きな違いがあり、加工により得られた転位密度が強度と良好な相関性を示すことを明らかにした。これらの成果は、金属材料の加工硬化メカニズムへのあらたな知見となるだけでなく、強度予測や評価の精度を向上させるものであり、学術面のみならず工業面においても大きく貢献できることが期待される。