

鉄鋼材料における局所領域の力学特性に関する研究

中野, 克哉

<https://hdl.handle.net/2324/4475094>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 中野 克哉

論 文 名 : 鉄鋼材料における局所領域の力学特性に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、粒界—転位相互の素過程およびそれに及ぼす格子欠陥の影響を明らかにするために、ナノインデンテーション法を用い、粒内および単一の粒界近傍の局所領域の力学特性を評価した。粒界—転位相互作用の素過程を評価するためには、粒界近傍での転位運動に加え、粒内での転位生成および転位運動についても評価する必要がある。また、粒界—転位相互作用を評価する評価手法の確立や評価指標の検討も必要である。そこで、本論文では、第 2 章において粒内の転位生成および転位運動に及ぼす固溶炭素の影響について議論し、第 3 章において粒界—転位相互作用を評価する評価手法および評価指標について検討し、最後に、第 4 章において第 3 章で確立した手法を bcc 鉄における単一の粒界に適用した結果を述べた。

第 2 章では、固溶炭素濃度を定量的に評価した Fe-C 二元合金を用い、ナノインデンテーション法において現れるポップイン現象に及ぼす微量固溶炭素の影響を調査することで、固溶炭素と転位との相互作用に基づいた塑性変形の素過程解明を試みている。固溶炭素がポップイン発生の臨界荷重 P_c を高めること、 P_c の発生頻度分布が固溶炭素濃度に応じてガウス分布に近い複数のピークを示すことから、固溶炭素が転位ループの成長に対する抵抗となり、核生成に必要な外力を高めること、この抵抗を乗り越えるためには熱活性化過程が寄与していることを明らかにしている。

第 3 章では、オーステナイト系ステンレス鋼を用い、粒界近傍にナノインデンテーションすることで、粒界の塑性変形に対する抵抗値を算出する手法について述べている。ナノインデンテーションにより得られる荷重(P)—変位(h)曲線から P/h — h 曲線を求めると、粒界近傍に押込んだ場合、押し込み深さに応じて 2 つの直線関係を示し、ある押し込み深さ以降は傾きが上昇することを明らかにした。この傾き α は、“ある押し込み深さ位置での硬さ”に相当するパラメータである。傾きが変化する押し込み深さから圧子下に形成される塑性域サイズを求めると、塑性域が粒界に到達する押し込み深さと α の変化点がよく一致することから、これよりも深い領域では粒界の影響を反映していると判断される。 α の変化点前後をそれぞれ stage I および stage II とすると、stage I は粒内単独の変形抵抗 (α_I) を、stage II は粒内と粒界の複合的な変形抵抗 (α_{II}) を反映すると考えられ、これらの差分である $\Delta\alpha$ が粒界の変形抵抗を表す指標と判断した。同一の粒界に対して粒界からの距離 d_s を種々変化させて圧入変形を行い、 P/h — h 曲線の解析を行ったところ、 α_I 、 α_{II} はともに d_s に依らず同じ大きさを示した。 α_I の値が d_s に依存しないことは、ホールペッチ式における粒径項を定数と見なせることを意味しており、 α_I 、 α_{II} がそれぞれ σ_0 と σ に対応すると考えられるので、 $\Delta\alpha$ はホールペッチ係数に対応するパラメータであると考えられる。さらに、窒素濃度が異なるオーステナイト系ステンレス鋼の種々の粒界に対して P/h — h 曲線の解析を行ったところ、 $\Delta\alpha$ の大きさは個々の粒界で異なる値を示し、窒素添加材は無添加材よりも大きい傾向を示した。相対方位差の依存性が明確でない一方、同じ双晶境界において特に窒素添加の差が顕著に現れることから、粒界偏析の影響が強く示唆され

る。

第4章では、第3章で確立した手法を用い、実用的に重要である bcc 鉄における塑性変形に対する粒界の変形抵抗値に及ぼす炭素の影響について調査した。炭素濃度が異なる Fe-C 二元合金およびこれらに低温時効を施すことで粒界への炭素偏析を促進した材料を用い、熱処理を行う前後で同一の粒界にナノインデンテーションを行い、変形抵抗値を求めることで、炭素および偏析と変形抵抗値の関係の評価を試みた。bcc 鉄においても第4章で確立した $P/h-h$ による解析によって粒界の影響を評価できることが明らかとなった。また、時効の有無に依らず、粒内の変形抵抗値 α_1 および粒界の変形抵抗値 $\Delta\alpha$ は炭素によって上昇した。しかしながら、同じ炭素濃度の材料を低温時効前後で比較した場合、低温時効前の方が $\Delta\alpha$ は大きく、低温時効の効果が予想に反した結果となった。この原因として、低温時効によって粒内の炭素の偏在性が高まり、これによって粒内の抵抗値やバラツキが強く現れ、粒界の影響が見えにくくなったためと考えた。そのため、現段階では炭素によって α_1 , α_{II} , $\Delta\alpha$ が大きくなることは明らかになったものの、低温時効の影響を明確にする試験に関しては今後の課題である。