

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関す研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

結晶粒界による強化機構は、主に結晶粒微細化強化として経験的に定式化されたモデルに基づいて世界的に活発な議論が展開されており、実用および学術の両面において重要な課題である。最も広く受け入れられている定式化モデルは、ホール・ペッチモデルである。ホール・ペッチモデルを構成する重要なパラメータの一つは、ホール・ペッチ係数と呼ばれる単独粒界の変形抵抗に相当する因子である。したがって、ホール・ペッチ係数の物理的起源や支配因子を明らかにできれば、定式化モデルのさらなる精緻化によって強度向上の指針をより明確にすることが可能である。強化機構において最も重要な素過程は、転位-粒界相互作用である。相互作用のモデルとして、堆積、吸収、射出などが示されており、これらの挙動の違いや臨界応力は粒界性格、転位の性質、結晶構造、粒界偏析元素などに依存することが指摘されている。これらを明らかにするためには、単独の粒界を対象とした組織-力学関係の実測技術を確立し、これを多様な材料に応用した系統的な研究が必要である。そこで本論文では、ナノインデンテーション法を高度化して単独粒界の塑性変形抵抗を評価する手法を開発し、これを種々の鉄鋼材料に応用して個々の結晶粒界における局所的な変形抵抗と組織因子の関係を調査した。

第1章では、本研究の研究背景及び目的について述べた。

第2章では、粒内の局所的な塑性変形挙動に及ぼす固溶炭素の影響について調査した。固溶炭素濃度の上昇に伴い、塑性変形の開始挙動に対応するポップイン現象の発生応力は上昇した。この原因について、ポップイン発現の素過程を転位ループの核生成とするモデルに基づき、固溶炭素原子が転位ループの成長に対する抵抗となって核生成に必要な外力を高めたためと考察した。ポップイン発生荷重の頻度分布は荷重毎で複数のピークが認められ、固溶炭素濃度の上昇に伴って低荷重側のピーク位置はほぼ一定のままピーク高さが低下し、高荷重側に新たなピークが現れた。また、高荷重側のピークは、固溶炭素濃度が高いほど、よりブロードな分布を示した。これらの結果から、固溶炭素が不均一に存在して強化に寄与する可能性を示した。

第3章では、ナノインデンテーション法を応用して、粒界-転位相互作用を評価するための手法について調査した。硬さに代わる指標として、オーステナイト系ステンレス鋼を対象に、荷重 P -深さ h の関係から P/h - h 関係へ変換し、プロットのslopeをパラメータ α とする解析方法を提示した。粒界近傍に押込んだ場合、押込深さの上昇に伴ってある深さを境に α が上昇する挙動が現れ、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した。 α の変化($\Delta\alpha$)を粒界の変形抵抗を表す指標として定量化し、これがホール・ペッチ係数 k_p に対応するパラメータであると考察した。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解析を行ったところ、窒素添加材の $\Delta\alpha$ の大きさは無添加材よりも大きい傾向を示し、その原因として粒界偏析の可能性を示した。

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 鉄を対象に、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。bcc 鉄に対しても第 3 章の手法が応用できることを明らかにし、結晶粒内と結晶粒界の寄与を分離して評価したところ、いずれも固溶炭素の存在によって変形抵抗が上昇することが示された。さらに、時効処理を施した材料に対する評価を行ったところ、結晶粒内や結晶粒界の変形抵抗が測定位置によって大きく変動することが明らかとなった。この原因として、第 3 章で示した固溶炭素の不均一分散の影響を指摘し、炭素の存在状態が強化機構に大きく寄与する可能性を示した。

最後に、第 5 章で各章の研究成果を総括した。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。