

ナノインデンテーションによる鉄鋼材料組織の不均一性評価と伸び特性

山本, 正之

<https://doi.org/10.15017/1866304>

出版情報：九州大学, 2017, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：



氏 名 : 山 本 正 之

論 文 名 : ナノインデンテーションによる鉄鋼材料組織の不均一性評価と伸び特性

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、微小領域の硬さ評価に適用可能な計装化押込み試験（ナノインデンテーション試験）を主として用い、各種顕微鏡による組織観察、Electron Backscatter Diffraction (EBSD)による組織解析、Secondary-Ion Mass Spectrometry (SIMS) による元素分析などと併用して、鉄鋼材料の組織不均一性が引張試験で求めた伸び特性に及ぼす影響を調べた。各章で得られた結論を以下に示す。

第1章では、工業的に利用されている各種硬さ試験の分類とその用途について論じた。さらに、近年普及が進んでいるナノインデンテーション試験の概要とその問題点について言及し、その上で、本試験法を材料評価に利用した実験手法について述べた。

第2章では、結晶粒界に元素偏析および析出物が存在しない高純度電解鉄を比較材として、Fe-0.02mass%合金のフェライト域加熱-水冷材および時効処理材の粒界およびその近傍をナノインデンテーションにより測定し、硬さを評価した。比較材として用いた高純度電解鉄試料では、粒界上および粒内の硬さは同じ値を示した。したがって、今回採用した試験力10 mNでは、粒界と粒内の硬さの差を評価出来ないことが推察された。つぎに、Fe-0.02mass%合金を高温フェライト領域で加熱、水冷すると粒界および粒界近傍に窒素が偏析すること、また同試料を時効処理することにより窒素原子の偏析状態に変化がないことをSIMSで確認した。さらに、時効処理によりFe₄Nが析出することをEBSD分析で確認した。これらの結果と、粒界およびその近傍のナノインデンテーション試験の結果を照合することにより、加熱水冷材と時効材では窒素原子の粒界からの濃度分布が同じにもかかわらず、時効処理により窒素原子がFe₄Nとして析出することで、粒界から粒内にかけての硬さ分布が均一化することが明らかとなった。この現象は、Fe₄Nの硬さが結晶粒内の硬さと同等であることに起因すると考察された。

第3章では、Ti添加Interstitial Free (IF)鋼および工業用純鉄を供試材とし、ナノインデンテーション試験による硬さとEBSD解析を併用し、引張試験によるボイドの発生、成長が局部伸びに及ぼす影響を調べた。局部伸びはボイドの発生、成長に関係することがすでに報告されている。また、局部伸びは薄鋼板の穴抜け特性と相関することが明らかにされており、プレス成形性を評価する重要なパラメーターである。板厚1.2 mmのIF鋼および工業用純鉄の引張試験の結果、局部伸びが、それぞれ46 %と39 %であること、また、EBSD解析の結果、本実験で用いたIF鋼のボイド発生界面は、粒界が50%で、粒界のTi(C,N)が20%、粒内が30%であり、また、工業用純鉄のボイド発生界面の70%が大角粒界、30%は数度の角度差を有する未再結晶粒内の小角粒界であることが明らかとなった。また、両試料を最大荷重まで引張試験を行ったのち、ナノインデンテーションによる硬さ測定を行った結果、IF鋼では粒界と母相の硬さの差が小さ

く、工業用純鉄では差が大きかった。この実験結果から、工業用純鉄では粒界近傍にひずみが集中し、低ひずみ域でボイドの連結が開始したのに対し、IF鋼では粒界近傍におけるひずみの集中が小さく高ひずみ域までボイド連結が抑制され、高い局部伸びを示したことが推察された。以上、IF鋼の局部伸びが工業用純鉄に比較して大きい現象を、ナノインデンテーション試験を利用することにより、基礎的に明らかにすることが出来た。

第4章では、ひずみに対して γ 相が安定な α - γ 二相ステンレス鋼および γ 相が不安定な二相ステンレス鋼の二鋼種を供試材とし、引張試験における局部伸びに及ぼす γ 安定性の影響を調べた。これら試料を引張試験した結果、安定系二相ステンレス鋼の局部伸びは、不安定系二相ステンレス鋼より大きかった。引張試験後の試験片を用い、 α 、 γ 各相別のナノインデンテーション硬さを測定し、破面からの距離に応じた硬さの変化と、硬さ測定箇所の塑性ひずみとの関係を調べた。その結果、 γ 安定系二相ステンレス鋼では各相の塑性ひずみに対する硬さの比の変化は小さかったが、 γ 不安定系二相ステンレス鋼では破面近傍で α' 相への加工誘起変態に伴い、 α - α' 相の硬さ比が増加することが明らかとなった。また、EBSD解析により、安定系二相ステンレス鋼では γ 相内あるいは γ 粒界でボイドが発生し、その成長は破断直前まで小さいこと、一方、不安定系二相ステンレス鋼では塑性ひずみの小さい領域で主に α - γ 界面からボイドが生成、その後、塑性ひずみの増加に伴いボイドが徐々に成長、破断直前に γ が α' に加工誘起変態して α - α' 界面で急激に成長し、最終破断に至ったことが明らかとなった。これらの結果から、 α - γ 二相ステンレス鋼の局部伸びを向上させるためには、オーステナイト相の局部変形域でのひずみ安定性を確保することが重要であるとの工業的に価値のある知見を得ることに成功した。

第5章では、本研究を総括、主たる結論を述べた。

本研究のナノインデンテーション試験と各種顕微鏡による組織観察、EBSDによる組織解析およびSIMSによる元素分析を併用し、粒界近傍のひずみ集中が引張試験で求めた局部伸びに及ぼす影響を明らかにした結果は、穴抜け特性の優れた高強度薄鋼板の開発に繋がる。また、本研究の結果により、金属材料の組織不均一性、強度解析へのナノインデンテーション試験適用の有用性が明らかとなった。