

窒素を利用した高強度-高延性鋼板の創製 — 窒素鋼の焼もどしにおよぼす元素添加の影響 —

佐藤 充孝 (Mitsutaka Sato)

【所属】新素材共同研究開発センター/ 助教

【専門】鉄鋼材料、相変態、組織制御、状態図



窒素マルテンサイトの焼戻しと元素添加の影響

窒素(N)は鉄鋼材料中においてオーステナイト(g)相を熱力学的に安定化する侵入型元素であり、様々な点で炭素(C)と類似した特徴を示す。しかし、Nはガス元素であるため鉄中に固溶させるのが難しく、ステンレス鋼や表面硬化処理などへの利用に限られていました。私たちは、浸窒焼入れ処理により比較的短時間で内部まで均一にNが固溶した試料作製を可能にし、窒素マルテンサイトの焼戻し挙動や相変態挙動におよぼす合金元素添加の影響を解明する研究に取り組んでいます。図1にFe-0.3N-1Crマルテンサイト、比較材としてFe-0.3NおよびFe-0.2Cマルテンサイト(mass%)を種々の温度にて1時間焼戻した際の硬さ変化を示しています。Fe-0.3N材は、焼入れ時の硬さはFe-0.2C材よりも低く、いずれも、焼戻し温度の上昇に伴い硬さは単調に減少していきませんが、Fe-0.3N材では400°C以上の焼戻しで硬さの減少率が小さくなる軟化抵抗を示しているのが判ります。また、Fe-1Cr-0.3N材では、300°C以上の温度域において硬さが上昇する二次硬化が生じています。図2はFe-0.3N-1Cr材で明瞭な二次硬化が見られた500°Cにて1時間焼戻した試料に対し、3次元アトムプローブにより測定したCrおよびNの原子マップを示しています。図2はFe-0.3N-1Cr材で明瞭な二次硬化が見られた500°Cにて1時間焼戻した試料のTEM観察結果を示す。CrおよびNいずれも同じ領域において局所的に濃化している様子がみられることから、Fe-0.3N-1Cr材では500°Cの焼戻しにより微細なCr窒化物の析出が生じていることがわかります。図3には、原子マップに対してクラスター解析を行うことで得られる析出物のサイズ分布を示しています。得られた

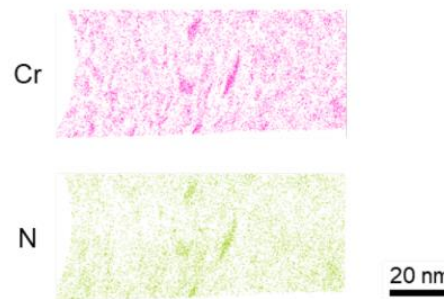


図2 500°Cにて1時間焼戻したFe-0.3N-1Cr材の3次元原子マップ

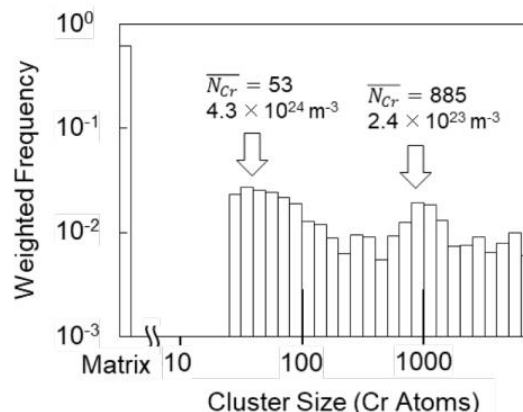


図3 原子マップのクラスター解析によるCr窒化物のサイズ分布

分布は、Cr原子数が50原子程度および890原子程度のところに2つの山を持つバイモーダルな分布を有しており、Cr窒化物は2種類の異なるサイズの析出物が存在し、数密度は小さい析出物では $4.3 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$ 、大きい析出物では $2.4 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ と高密度で存在していることが判ります。以上の結果から、Fe-0.3N-1Cr材の高温域での焼戻しにおける二次硬化は、微細なCr窒化物が析出したことによる析出強化が生じたことが理由であることが明らかとなりました。同様な微細合金窒化物析出による硬化および軟化抵抗はMnおよびMoをはじめNと引力的な相互作用を有する合金元素を添加した合金系でも生じることが確認されているため、添加する元素種の選択やその添加量を制御することで、幅広い強度レベルに応じた窒素を利用した高強度鋼の研究開発を推進しています。

■ 用語解説

【浸窒処理】Fe-N二元系の共析温度以上の温度域で鋼の表面から窒素を拡散浸透させて窒素オーステナイトを得る熱処理方法。その後焼入れることにより、窒素マルテンサイトを得ることができる。

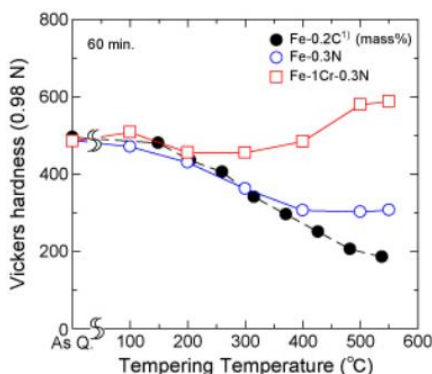


図1 Fe-0.3N-1Cr, Fe-0.3N, Fe-0.2Cマルテンサイトの焼戻しにおける硬さ変化