



高濃度Fe-N合金の恒温マルテンサイト変態

Isothermal Martensitic Transformation of High Nitrogen Fe-N Alloys

坂本政紀

宮城工業高等専門学校 名誉教授

Masatoshi Sakamoto

1 はじめに

窒素は鋼において、これまで靱性脆性などを引き起こす有害な元素として認識され、様々な手段や方法により除去されてきたが、最近では鋼の機械的性質、ステンレス鋼の耐食性やNiアレルギーなどの改善に対して重要な合金元素として認められつつあり、広く使用されるようになってきている。

Fe-N系の合金はFe-C系の合金の熱処理特性と類似した傾向を持つものと考えられているが、鉄中の窒素は炭素と異なりガス元素であるため、Fe-C系に較べるとFe-N系に関する研究は非常に少なく、その状態図や恒温変態なども完全には明らかにされておらず、熱処理上の特性も不明な点が多い。

Fe-N合金の恒温変態に関する研究は極端に少なく1950年のB.Bose and M.Hawkesの報告に限られている¹⁾。さらに、543K以下の恒温変態についてはごく最近になって漸く報告されるようになってきたばかりであり^{2,3)}、その特徴などいまだ解明されていないことが多い。即ち、Fe-N合金において恒温変態中にマルテンサイト変態が起ることや、Ni濃度により恒温変態挙動が影響を受けることなどは、これまで不明であった。

そこで、本研究では、498K以下の低温側における恒温変態時の組織観察等を行い、変態機構を明らかにするとともに、高濃度のFe-N系合金の恒温変態に対する合金元素の影響について調べることを目的とした。

2 実験方法

試料にFe、Fe-Ni (1.5 wt% Ni)、Fe-Mn (0.6 wt% Mn)、Fe-W (1.2 wt% W) の合金を用いた。各試料のCおよび窒化前のN濃度は0.003 wt%であった。真空溶解後圧延、線引き加工により直径約1 mmの線材とした。窒素の添加は973K

で1時間、アンモニアガス気流中で加熱することによって行われ、その後シリコンオイルバス中に直接焼き入れし恒温変態を行った。448Kから498Kの各温度で10 secから10⁶secまで恒温変態し、その後氷水焼き入れした。

組織観察には光学顕微鏡およびSEMを、また硬さ測定にはマイクロピッカース硬度計を用いた。

3 実験結果及び考察

3.1 高濃度Fe-N合金の恒温変態

Fig.1に窒化後973Kから473Kに焼き入れたFe-N合金の恒温変態における硬度変化を示す。硬度は473Kに恒温保持後オイルバス中で切出し、氷水焼き入れた後測定された。10⁴secまでは硬度は低くHv=300以下であり、未変態のオーステナイトのままである。組織観察からもオーステナイト組織が認められ、Ms点が273K以下であることを示してい

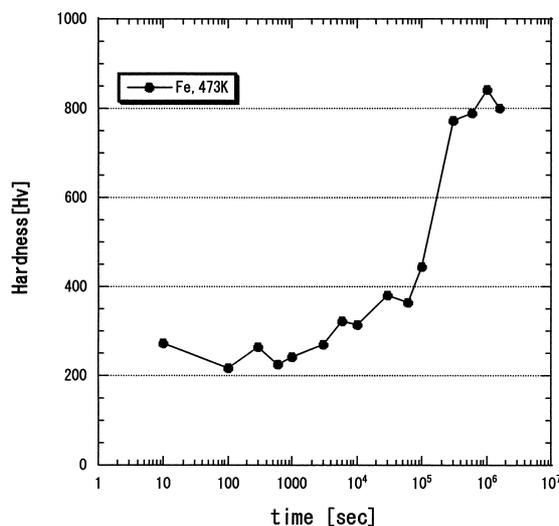


Fig.1 Relation between hardness and isothermal holding time in oil quenched Fe-2.6%N alloys (473K)

る。10⁵secから急激な硬度の増加が認められ、Hv=800の値を示している。この高い硬度値はマルテンサイト変態を起こして得られるマルテンサイトの値であり、報告されている硬度値と一致している。また組織観察からも針状マルテンサイト組織が認められている。

Fig.2に示す著者の以前の報告²⁾では、Fe-2.2%N合金の473K恒温変態では500 secまで変態せず、その後のオイルバスからの氷水焼き入れ時にマルテンサイト変態を起こしマルテンサイトの高い硬度値を示した。N濃度が低く2.2%以下である場合には、Ms点が高く273K以上であることを示している。

その後恒温保持中において二段階型の変化を示しながら硬度値は減少した。第一段階が($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_{16}\text{N}_2$)の変態、第二段階は $\text{Fe}_{16}\text{N}_2 \rightarrow \text{Fe}_4\text{N}$ の分解析出である。

Fig.3に今井ら⁴⁾によって報告されたFe-N合金の焼き戻し硬度変化を示す。2.0%と2.2%N合金は焼き入れ時にマ

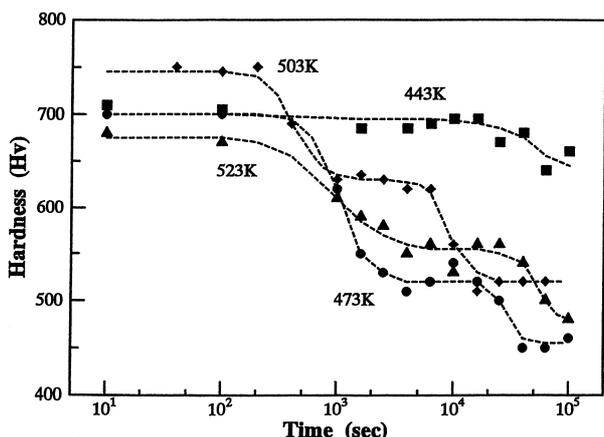


Fig.2 Relation between hardness and time of isothermal transformation in Fe-2.2%N alloys at low temperature ranges²⁾

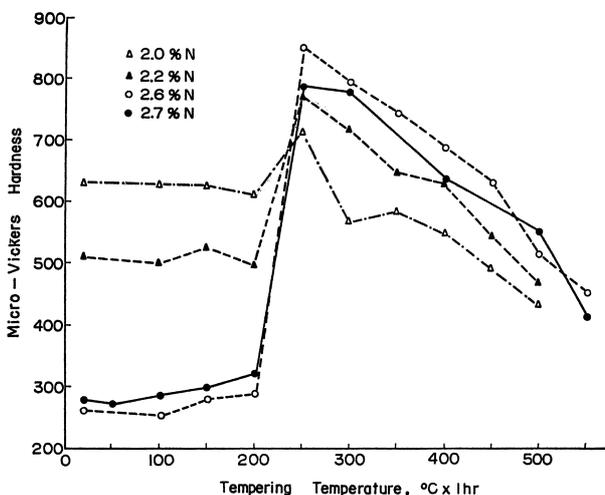


Fig.3 Change of hardness in iron-nitrogen alloys after tempering at various temperatures for 1 hour⁴⁾

ルテンサイト変態を起こし高い硬度を示すが、2.6%N以上では焼き入れ時に変態せずオーステナイトの低い硬度値を示している。この図に示される焼き入れ硬度のNi濃度依存性とオーステナイト中におけるNの固溶限(2.7%)から、Fig.1のFe-N合金は2.6%Nであると見なせる。

Fig.4にFe-N合金の423Kから498Kまでの恒温変態における硬度変化をまとめて示した。マルテンサイト変態による硬度増加の開始時間は498Kでは 5×10^4 sec、473Kでは 5×10^5 sec、448Kでは 6×10^5 secと温度の低下に伴って長時間側にずれ、遅くなっている。さらに変態が進むと硬度が低下を示し、これはマルテンサイトの分解が起こっていることを示している。423Kでは10⁶secまで変態が起こらず、オーステナイトのままである。

3.2 Fe-Mn-N合金の恒温変態

Fig.5は本研究で調べたFe-0.6%Mn-N合金の448Kから498Kにおける恒温変態中の硬度変化を示している。いずれの温度でも10⁴secまでは変態が起こらずオーステナイトのままであるが、その後、473Kと498Kでは硬度の著しい増加が見られた。この増加はマルテンサイト変態に基づくものであり、組織観察からも明らかであった。このことは恒温変態中にマルテンサイト変態が起こっていることを示している。マルテンサイトの分解は10⁴倍のSEM写真でも認められなかった。448Kでは硬度の著しい増加は起こっておらず、この時間では未変態である。

Fe-1.5%Ni-N合金の高温変態も殆んど同じ硬度変化を示し、恒温マルテンサイト変態が同じ温度領域で認められた。

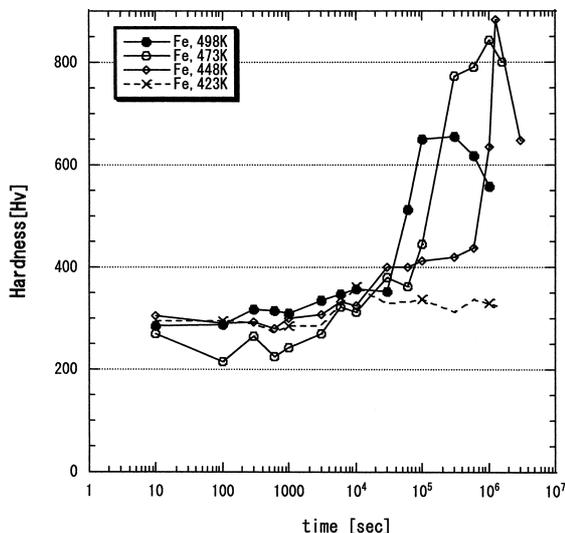


Fig.4 Relation between hardness and isothermal holding time in oil quenched Fe-2.6%N alloys (423~498K)

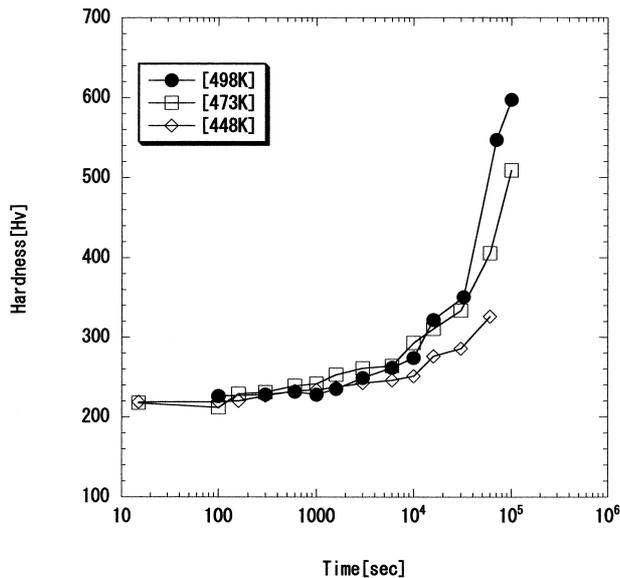


Fig.5 Relation between hardness and isothermal holding time in oil quenched Fe-0.6%Mn-N alloys (448~498K)

3.3 Fe-W-N合金の恒温変態

Fig.6はFe-1.26%W-N合金の423Kから498Kにおける恒温変態中の硬度変化を示している。10⁴sec付近までは変態は起こらずオーステナイトであるが、Wの添加により少し高い硬度値を示している。473Kの恒温変態では5×10⁴sec付近から急激な硬度の増加が認められ、これはFe-N合金の場合と同様にマルテンサイト変態に基づくものである。498Kや448Kでは硬度の増加が遅れている。1000 sec付近から認められ、マルテンサイト変態が早まっている。

各合金のN濃度は合金量が1%前後と低いのでFe-N合金と同程度の高濃度であると見なせる。そして各合金においてもマルテンサイト変態が恒温変態中に起こっていることが明らかにされた。

4 まとめ

1) 高濃度Fe-2.6%N合金の恒温変態中に恒温マルテンサイト変態が起こることが確認され、またN濃度により恒温変態挙動が大きく影響を受けることを明らかにした。即ち、N濃度が2.2%N以下の合金に見られる二段階型の変態は認められなかった。498Kでは5×10⁴sec付近からマルテンサイト変態が始まり、473K、448Kの順に開始時

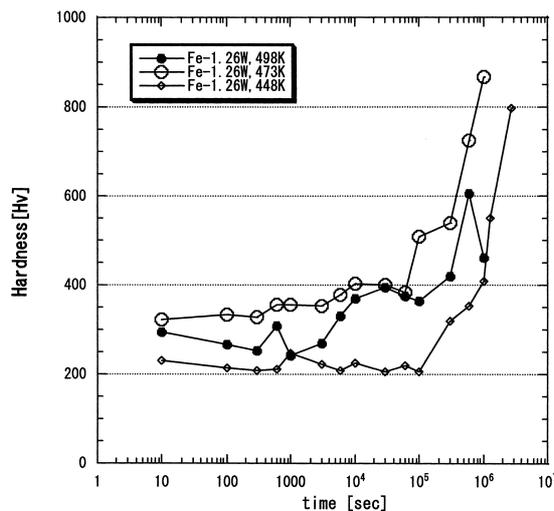


Fig.6 Relation between hardness and isothermal holding time in oil quenched Fe-1.2%W-N alloys (448~498K)

間は遅れている。恒温変態したマルテンサイトの硬さは Hv = 800 を示した。423Kでは変態は起こらずオーステナイトのままであった。

- 2) Fe-Mn-N合金の低温側の恒温変態では高濃度Fe-2.6%N合金で認められる恒温変態中のマルテンサイト変態が確認された。そして、Fe-2.2%N合金で起こるような二段階型の変態は現れなかった。Fe-Ni-N合金の恒温変態でも恒温変態中にマルテンサイト変態が認められた。
- 3) Fe-W-N合金の498K以下における恒温変態では恒温変態中に起こるマルテンサイト変態の出現が他のFe-Mn・Fe-Ni合金よりも遅れた。

参考文献

- 1) B.Bose and M.F.Hawks : Transaction AIME, 188 (1950) 307.
- 2) 坂本政紀 : 宮城工業高等専門学校研究紀要, 35 (1999) 49.
- 3) M.Sakamoto : Proceedings of 6 th Int. Conf. on High Nitrogen Steels, (2002) 10.
- 4) 今井勇之進, 泉山昌夫, 土屋正行 : 日本金属学会誌, 29 (1965) 1047.

(2003年11月18日受付)