

第三回高強度低合金鋼国際会議

宮城工業高等専門学校 材料工学科

教授 坂本政記

(平成7年度国際会議等参加助成 AF-95043)

1. 開催日時：1995年10月25日～29日

2. 開催場所：中国。北京

3. 国際会議報告：

『冷間加工後窒化したFe-NbとFe-Nb-Mn合金の機械的性質』

1. 緒言

市販鋼中の窒素の濃度は炭素と比較してかなり少ないが、窒素は鋼の諸性質に対して密接な影響を示している。一般に窒化した鉄合金は微量の窒素にもかかわらず高い強化を示すが、一方非常に脆くなる。それゆえ 窒素はHSLA（高強度低合金）鋼には用いられてこなかった。K. H. Jack (1)(2)は窒素による鋼の開発研究を行っていた。近年坂本 (3)(4)は冷間加工後の窒化によりFe-NbとFe-Nb-Mn合金で良好な伸びが得られることを報告した。本論文はこれら合金の機械的性質を300℃まで昇温し、測定したものである。これら合金の変形挙動の観察にはSEMを用いた。

2. 実験方法

本研究に用いた試料は電解鉄、純Nbと純Mnを原料とし、高周波炉で真空溶解された。その後 熱間圧延と冷間圧延により厚さ1mmの板材とした。800℃で30分間の焼鈍後40%まで冷間加工を行った。引張試験片の形状は20mm gage length, 1.0×5mm cross-sectionであり、窒化前に電解研磨された。窒化はNH₃+H₂の混合ガス中で、550～650℃に1時間加熱された。引張試験は0.2～0.5mm/minのcross head speedで行われた。200℃以上での引張試験はArガス中でまた200℃以下では10⁻⁵torrの真空中で行われた。

3. 実験結果

1) Fe-0.1Nb合金の機械的性質

図1はFe-0.1Nb-0.02N合金の応力-歪曲線を水素処理したものとし、水素処理より全体伸びが大きく増加することが明らかである。延性は冷間加工、窒化温度、N濃度や水素処理などの種々の条件に依存

する。これらの影響の結果を図2に示した。最も高い伸びは600MPaでの12.5%であり、一般に600℃の窒化が良好な伸びを与えている。窒化したFe-0.1Nb合金が良好な

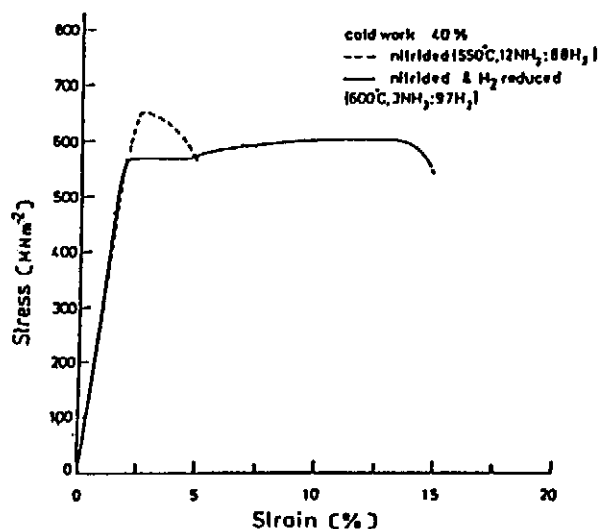


図1 Fe-0.1Nb-0.02N合金の応力-歪曲線

伸びと靱性を持つことは非常に重要なことである。水素処理

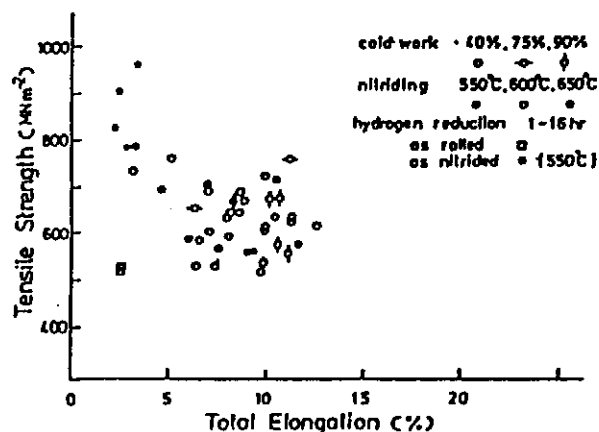


図2 窒化したFe-0.1Nb合金の機械的性質

のない場合は引張強さは高いが、しかし伸びは5%以下と小さく、良い延性を得るためには水素処理は欠かせないことを示している。図3は引張強さと伸びをN濃度についてまとめたものである。高いN濃度では伸びが低い、しかしながらN濃度に対する伸びの依存性は他で報告されているようあまり明瞭ではない。引張強さはN濃度と共に増加している。

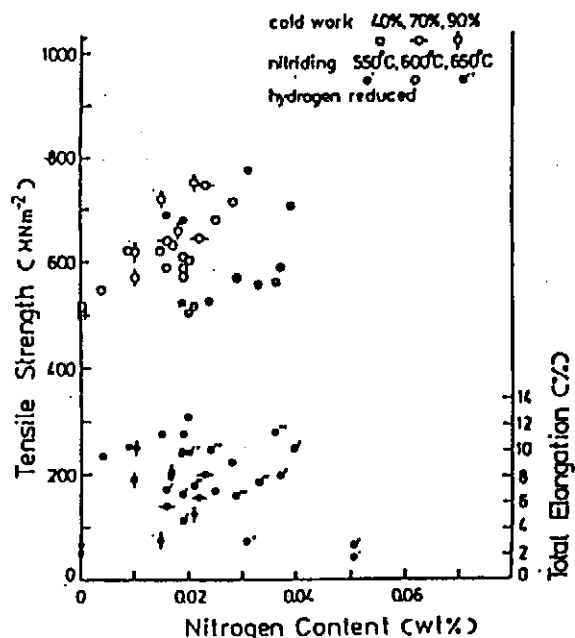


図3 Fe-0.1Nb合金のN濃度と機械的性質

2) Fe-0.1Nb-1Mn合金の機械的性質

Mnの影響をFe-0.1Nb合金について調べた結果を図4に示す。ここでは20%までの圧化率の影響がN濃度0.016wt

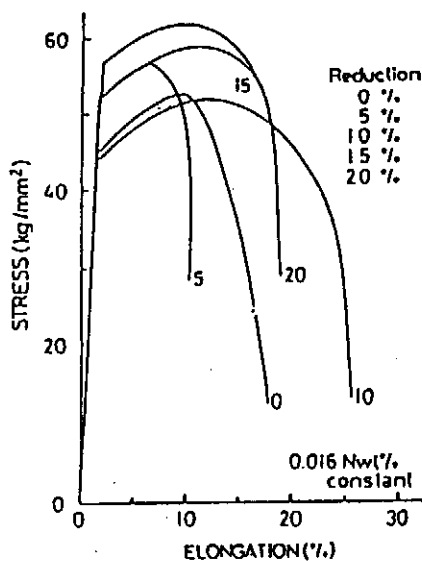


図4 Fe-0.1Nb-1Mn-0.016N合金の応力-伸び曲線

%の場合について調べられている。圧下率10~20%では良好な靱性が認められ、Mnの添加は伸びに対して著しい効果を示している。図5は引張強さとN濃度との関係を各圧下率についてまとめたものである。0.03%のN濃度で高い引張強さに到達して

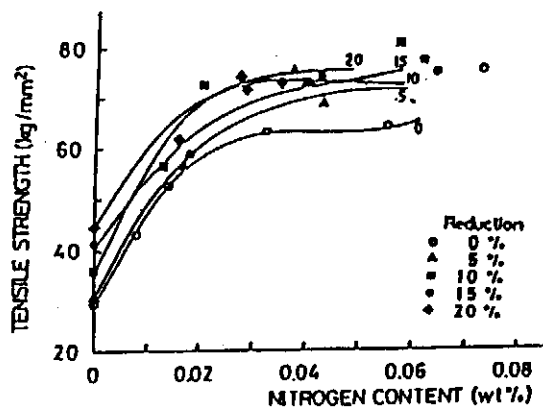


図5 Fe-0.1Nb-1Mn合金のN濃度と引張強さの関係

している。10~20%の圧下率で約700MNm²の強度である。図6にはFe-0.1Nb合金とFe-0.1Nb-1Mn合金の結果をまとめて示した。Fe-0.1Nb合金に比べるとMnの添加に

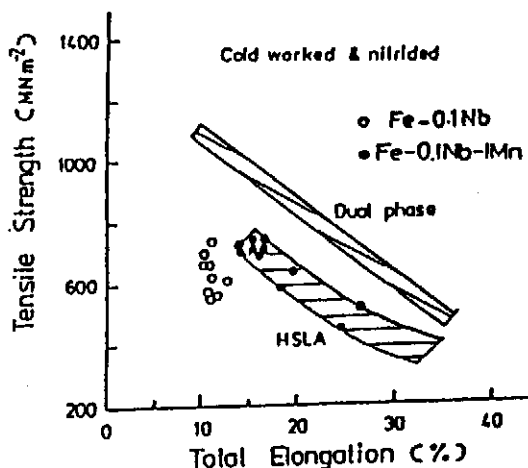


図6 窒化したFe-0.1Nb-1Mn合金の機械的性質

により伸びの著しい向上が 高い引張強さの領域でも認められる。さらに HSLA鋼や Dual Phase 鋼などの強化鋼と比較してみると これらの合金はHSLA鋼の領域に十分に達していると見せる。次に 図7は本合金にNiを添加した合金と2% Mn 合金の結果をまとめて示している。一般にNiの添加は結晶粒の微細化と良好な伸びの向上を期待できるが 本研究でも良好な結果が得られた。20~30%の伸びと 600~700MNm²の引張強さを示し、HSLA鋼の領域を超えるものも現れてきている。これらの結果から、Mn やNiの添加はFe-0.1 Nb 合金の伸びに関して著しい有効性を持つことが分かった。また 冷間加工後窒化したFe-Nb合金は非常に良好な靱性を持ちさらにニュータイプのHSLA鋼として用いることが期待できるであろう。

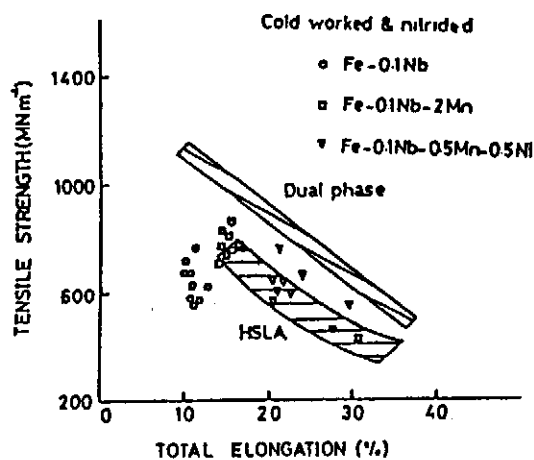


図7 Fe-0.1Nb-(Mn, Mn-Ni)合金の機械的性質

3) Fe-Nb合金の機械的性質の温度依存性

窒化したFe-Nb合金の機械的性質の温度依存性を図8に示す。低温(液体窒素)では 引張強さは非常に高い値(1200MPa)を示すがしかし伸びは非常に小さい。この値はDavis and Magee(5)の値とほぼ同じである。これら試料は40%まで冷間加工されまた0.02~0.03%のNを含んでいる。室温から200℃までは引張強さや伸びはほとんど変化がない。225℃以上になると引張強さは急に低下するが一方伸びはほとんど変化していない。図9はFe-0.1Nb合金の応力-歪み曲線を各温度についてまとめて示している。この図には100~200℃の範囲で鋸歯状のserrationが見られる。一般にこのserrationは軟鋼で良く見られ、150~250℃で現れるそして窒素と転位との相互作用に起因するといわれている。この合金では著しく低い温度に出現している。この結果は重要である。この現象の原因の一つは窒素と合金元素との化学的な親和力であるといわれている。N原子のNbとFe原子との結合力を比較すると、Nbは明らかにFeよりも大きな値を持っている。普通このような場合 転位とN

原子との相互作用エネルギーはNb原子によって増加し、そしてserrationの出現温度を著しく高めることが予測される。それゆえ、本研究の結果は上述の理由で説明できない。

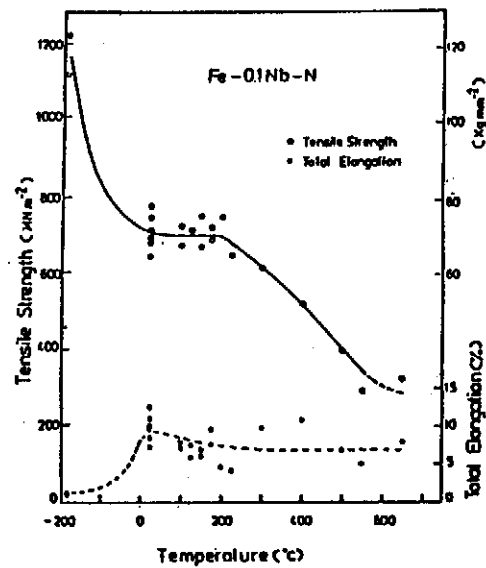


図8 Fe-Nb合金の機械的性質の温度依存性

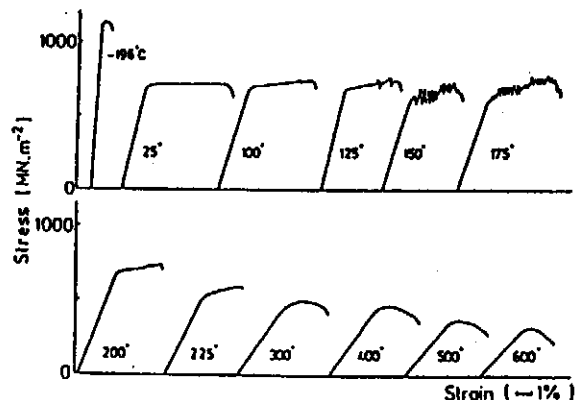


図9 Fe-Nb合金の各温度の応力-歪み曲線

4) Fe-Nb-Mn合金の昇温引張試験

窒化したFe-0.1Nb-1Mn合金の応力-伸び曲線を室温、100、125、と150℃の各温度における結果を図10にまとめて示した。serrationは100℃では現れなかったが 高いN濃度になると僅かに出現した。125と150℃では現れているが これらのserrationはあまり大きくない。低いN濃度の試料はほとんど延性破壊であり、200℃までの各温度で高い伸びを示した。高N濃度の試料では脆性破壊から延性破壊への遷移温度は125℃付近であった。

図10では、応力-伸び曲線において応力急激な低下が認められた。この現象はFe-Nb-Mn合金でのみ見られ、

謝 辞

本国際会議への参加に対して援助していただいた財団法人天田金属加工機会技術振興財団に深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) K. H. Jack; Scand. J. Metals: Vol. 1(1972), 195.
- 2) J. Driver, D. Unthank and K. H. Jack; Phil. Mag. : Vol. 26 (1972), 127.
- 3) M. Sakamoto; Proceedings of 2nd International Conf. of High Nitrogen Steels(Aachen); (1990), 244.
- 4) M. Sakamoto; Research Reports of Miyagi Natl. Coll. of Tech. ; Vol. 27(1991), 61.
- 5) R. Davis and C. Magee; J. of Metals: Vol. 17(1979), 290.

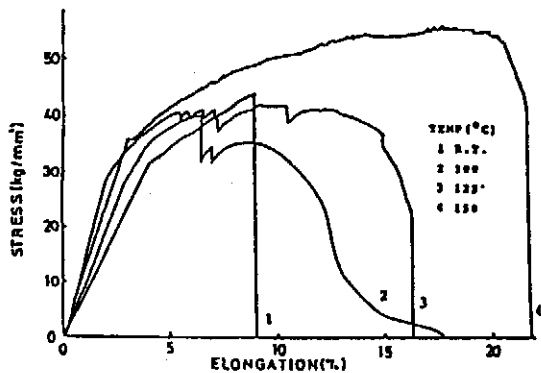


図10 Fe-0.15Nb-1.45Mn-0.03N合金の応力-伸び曲線

100と125℃の温度で現れた。これらの試料は鋼板の両側に数個のクラックを認められた。クラックが発生したとき同時にこの急激な応力の低下が曲線上に現れている。その後、曲線は再び上昇しそして加工硬化が起こっている。この急激な応力の低下の数と発生したクラックの数は同じであった。クラックのあるものはクラックの先端部に塑性変形域を持ちさらに45°方向にスリップバンドが現れた。その後塑性変形域が進展して試料は破断した。

結 論

本論文では冷間加工後に窒化したFe-NbとFe-Nb-Mn合金の機械的性質について調べた。さらに各合金の昇温時の変形挙動について研究した。その結果は次のようにまとめられる。

- 1) Fe-0.1Nb合金では引張強さ600MPaで最高が12.5%の伸びを示した。
- 2) Fe-0.1Nb-1Mn合金では引張強さはあまり大きくないが伸びは最高で21%の高い値を得た。
- 3) Fe-0.1Nb-0.5Mn-0.5Ni合金ではNiが伸びに大して良い影響を示した。なかにはHSLA鋼の領域を超えるものも現れた。従って、MnとNiは本合金の伸びに大して非常に良好な影響を持つ。それゆえ、窒化したこれら合金は新しいタイプのHSLA鋼として利用できる。
- 4) 応力-歪み曲線に現れるseriationはFe-0.1Nb合では軟鋼の場合より低い温度(100~200℃)で見られた。
- 5) Fe-Nb-Mn合金では、応力-歪み曲線において応力が急激に低下しその後上昇する現象が100~125℃で認められた。この際試料の端部にクラックを同時に発生していることが確認された。