

669.112.227.346.2:669.15'24
539.374 1537.38

大となる.

2. パーライト段階の変態開始の臨界冷却速度によって評価したベイナイト焼入性は供試鋼C→A→Dの順に大となる. ベイナイト焼入性の増加にはNiが特に有効である. Niを含まない供試鋼Cは, パーライト段階の変態を生じやすく, 他の供試鋼は100°C/hの冷却速度でも, パーライト段階の変態を生じていないが, 供試鋼Cでは300°C/hでパーライト段階の変態を開始し, 100°C/h~50°C/hの冷却速度ではすでにパーライト段階以外の変態を生じていない. また供試鋼Dは, マルテンサイト焼入性は比較的小さく, パーライト段階の変態を極めて生じ難いので極めて広い冷却速度範囲にわたって主としてベイナイトからなる組織となる.

3. ベイナイト段階の変態生成温度は, 供試鋼Aが最も低く, 供試鋼CおよびDはほぼ同程度である. B+Mの組織となる冷却速度範囲で, 同一冷却速度において比較すると, 供試鋼Aが最も硬度が高く, ついで供試鋼C→Dの順になる. 供試鋼Dは特に上記冷却時間が3000s以上の徐冷においてかなり低硬度を示すが, ベイナイト組織も他の供試鋼とは異なつた様相を呈している.

4. Ni-Cr-Mo鋼についてC量の影響(C0.27および0.32%)をみると, C量の増加はマルテンサイト焼入性を若干増せしめるが, ベイナイト焼入性をかえつて減少せしめる. また低Cのものは高Cのものに比してベイナイト変態生成温度が若干高くなり, 同一冷却速度においてB+M組織の硬度が低くなる.

さらに各供試鋼についてベイナイト組織の特徴, 常温まで連続冷却後の残留オーステナイト量の相違, 大型鍛鋼品の熱処理時の冷却速度¹⁾に対する感応, 従来報告されている種々の類似成分の鋼の変態特性^{2)~5)}との比較について述べる.

文 献

- 1) "Atlas für Wärmebehandlung der Stähle", Max-Planck-Institut für Eisenforschung, 1954/56/58.
- 2) W. C. HAGEL, et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 50 (1958), 184~201.
- 3) 西原他: 鉄と鋼, 46 (1960) 3, 406~408.
- 4) F. E. WERNER, et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 52 (1960), 376~395.
- 5) M. P. BRAUN, et al.: Metallovedenie i Term. Obrabotka Metallov, July 1959, No. 7, p. 58~60, Henry Bratcher Translations, No. 4659.

(160) Fe-Ni合金のマルテンサイト変態におよぼす塑性変形および応力の影響

金属材料技術研究所

○細井 祐三・川上 義人

Effect of Plastic Deformation and Stress on Martensite Transformation in Fe-Ni Alloy.

Yuzo Hosoi and Yoshito KAWAKAMI.

I. 緒 言

マルテンサイト変態におよぼす塑性変形および応力の影響については McReynolds¹⁾, Cohen 等²⁾をはじめ2, 3の研究³⁾⁴⁾があり, 特に応力の影響について変態機構と関連させて種々検討が加えられている. しかし変態後における機械的性質およびマルテンサイトの形態について論じたものはない. 筆者の一人はここ数年, 鋼のマルテンサイト変態前の塑性変形が変態後の鋼の諸性質におよぼす影響について研究してきた^{5)~7)}. 上の処理により鋼の強度を増すことができるがその強化機構は主として変態前の塑性変形によるマルテンサイトの微細化によると云われている. 本研究はこの事実をFe-Ni合金を用いて実証せんと試みたものであり, 主としてマルテンサイトの強度, 形態について論じた.

また引張り応力下においてマルテンサイト変態をさせ同変態におよぼす応力の影響および滑り線とマルテンサイトの羽との相互作用も併せて研究した.

II. 実験試料および方法

実験に供したFe-Ni合金は電解Feおよび電解Niを真空溶解してつくつた. 試料の化学成分は31.72% Ni-Feである. (以下Fe-32 Ni合金と記す). この焼準試料に室温で適当な加工度を圧延により与え, -60°Cあるいは-196°Cに急冷してマルテンサイト変態させ, 硬さ, 引張り強さを測定し, またマルテンサイトの大きさの変化を検討し回折X線におよぼす影響を調べた. 圧延後 sub-zero 処理をする前に試験片はすべて電解研磨した.

応力の影響は焼準試料を電解研磨し, これを-48°Cより-25°Cの範囲で引張り, マルテンサイト変態に伴なう応力弛緩により生じる荷重-伸び線図上の鋸歯状の不連続現象に注目して検討した.

III. 実験結果および考察

(1) 塑性変形の影響

本研究に用いたFe-32 Ni合金のMs点は-51°Cであることをまづ確めた. Fig. 1は加工にとりまわすビッカース硬さの変化を示したものである. 曲線1は室温において圧延した場合, 曲線2は加工後-60°Cにおいてマルテンサイト変態させた場合, 曲線3は加工後-196°Cにおいてマルテンサイト変態させた場合である. 同図よりFe-32 Ni合金もマルテンサイト変態により硬化することがわかる. 曲線1と3を比較するとよくわかるように, 加工度が低い場合には変態後加工の影響が少なくなるが, 50%以上の加工を与えた場合には変態後も硬化がいちじるしい. 顕微鏡組織を観察すると30%までの加工を受けたものは変態後のマルテンサイトの大

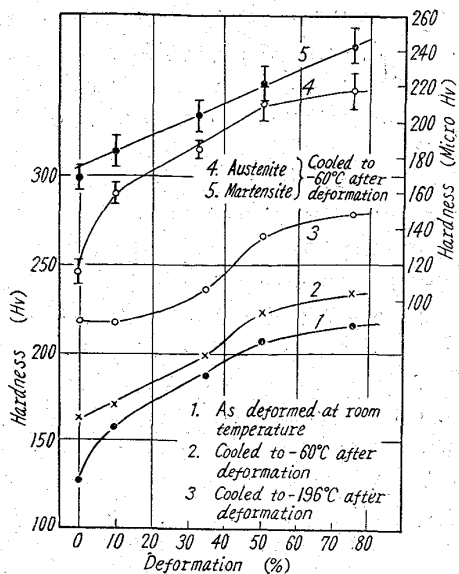


Fig. 1. Effect of deformation and sub-zero treatment on the hardness of Fe-32% Ni alloy.

大きさが焼準試料より得られたマルテンサイトの大きさとほとんど等しかったが、50%以上の加工を与えたのち変態させて得られたマルテンサイトの大きさはかなり小さくなり、変態前の塑性変形により明らかにマルテンサイトが微細化することを示した (Photo. 1 および 2 参照)。加工にともなうマルテンサイトの羽の長さの変化を統計的に処理し、76% の変形により羽の長さは平均



Photo. 1. Martensite structure in Fe-32% Ni alloy transformed at -196°C . $\times 200$ (2/3)



Photo. 2. Martensite structure in Fe-32% Ni alloy deformed 76% prior to transformation at -196°C . $\times 200$ (2/3)

値で約 1/2 となり、また 50%以上の変形を与えた場合には 1%以下の危険率で有意差があることを確めた。このような組織の微細化が変態後の硬化曲線に大きな影響を与えているものと想像される。つぎにマルテンサイト自身の硬さの変化を微小硬度計で検討すると Fig. 1 の曲線 4, 5 に見るようにオーステナイトの硬さは曲線 1 の加工硬化曲線ときわめて良く一致し、マルテンサイトの硬さは変態前の加工度が増すにつれてほぼ直線的に増加した。もし変態によつて変態前の塑性変形の履歴が消失するものであれば、マルテンサイトそれ自身の硬さは加工度に関係なくほぼ等しくならなければならない。しかしマルテンサイト自身の硬さが加工度とともに直線的に増加しているのは興味ある現象である。オーステナイト地の加工硬化にしたがうものとするればその曲線の型はオーステナイトの硬さ曲線と平行にならなければならない。マルテンサイトの硬さがこれ等にしたがわず独自の変化をしているのは、変態前の塑性変形によりマルテンサイトの微細構造が異なってくるのではないと思われる。この事実については変形前後におけるオーステナイトとマルテンサイトの回折 X 線の半値巾の変化を求めてさらに裏付を行なつた。

(2) 応力の影響

Fe-32 Ni 合金をその Ms 点 -51°C の少し上の温度範囲 $-48^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$ において引張り試験を行なうと、温度に応じある応力以上の所から荷重一伸び線図に不連続な折点が生じ荷重一伸び線図は鋸歯状となる。この折点はマルテンサイト形成による応力弛緩にもとづくものであり、最初に応力弛緩のおこる点はその温度における Ms 点とみなされる。Fig. 2 はその様子を示した代表的な一例である。 -28°C にて引張つた場合 (曲線 1) は普通の滑らかな応力一歪曲線が得られ、 -35°C の場合 (曲線 2) は塑性域に入つてからマルテンサイト変態による応力弛緩がおこり、 -48°C の場合 (曲線 3) は弾性域ですでに応力弛緩が始まり、両曲線とも鋸歯状の線図が得られている。図中 a, b がそれぞれの温度における Ms 点である。このようにして Ms 点におよぼ

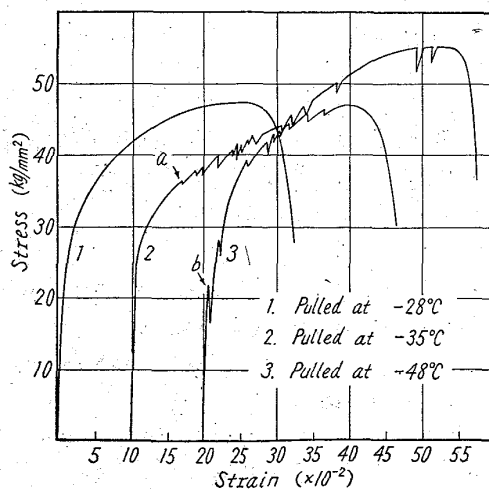


Fig. 2. Stress-strain curves of Fe-32% Ni alloy given tension at near Ms temperature.

す応力の影響を求めた。Cohen 等²⁾は Ms 点は応力の増加とともに直線的に上昇すると報告しているが、本実験の結果では Ms 点の約 5°C 以上ではマルテンサイトを形成するに要する応力は温度の上昇とともにほぼ直線的に増加しているが、Ms 点の極く近くの温度では応力は急激に減少し一つの直線上には載らなかつた。この曲線を二本の直線と考えて、Ms 点を 1°C 上昇させるに要する応力を求めると -30°C ~ -45°C では 0.7 kg/mm²/°C、-45°C ~ -51°C では 6.2 kg/mm²/°C となつた。

マルテンサイトの形成が塑性域でおこる場合には、滑り線の影響を考慮する必要がある。滑り線をさきに室温で生ぜしめ、-60°C に急冷してマルテンサイトの羽との相互作用を観察したところ、マルテンサイトは滑り線を横切つて成長するのが明瞭にわかり、滑り線の存在はマルテンサイト変態にはあまり影響しないと思われる。

IV. 総 括

Fe-32 Ni 合金において、マルテンサイト変態前に塑性変形をするとその効果は変態後も残り、また 50% 以上の変形を変態前に与えるとマルテンサイトを微細化でき高い硬化が得られる。

Ms 点を 1°C 上昇させるに必要な応力は -30°C ~ -45°C 範囲では 0.7 kg/mm²、-45°C ~ -51°C の範囲では 6.2 kg/mm² であつた。そして滑り線を越えてマルテンサイトは成長することを確認した。

文 献

- 1) A. W. Mc REYNOLDS: J. Appl. Phys., 20 (1949) 896.
- 2) J. R. PATEL, M. COHEN: Acta Metallurgica, 1 (1953) 531.
- 3) J. C. FISHER, D. TURNBULL: ibid, 1 (1953) 310.
- 4) L. F. PORTER, P. C. ROSENTHAL: ibid, 7(1959) 504.
- 5) Y. HOSOI, K. E. PINNOW: Trans, Amer. Soc. Metals, 53 (1961) 591.
- 6) 細井: 鉄と鋼 (第 61 回講演大会講演大要), 47 (1961) 446.
- 7) 細井: 鉄と鋼, 47 (1961) 448.

669/112, 227, 1:667, 0/4, 6:669, 294
 1669, 1782, 669, 294
 (161) オーステナイト中の C の活量に
 およぼす第 3 元素の影響

住友金属工業中央技術研究所 P. 618 ~ 620

○中谷文忠

Effect of Other Elements on the
 Activity of C in Austenite.

Fumitada NAKATANI.

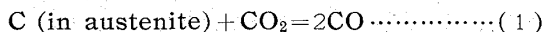
I. 緒 言

オーステナイト中に溶存している炭素と一定組成を有する CO-CO₂ ガス相との平衡は古くから数多く研究せられており、これらの研究によると Fe-C 二元系においても、オーステナイト中の C は理想溶液を作らないで Raoult の法則から負の偏位を示すことが知られてい

る。したがって単に鋼の滲炭脱炭光輝焼鈍等を考察する際単に反応に関係する物質の分析濃度ばかりでなくその活量をも考察しなければならない。一方鋼は、C の他に Mn, Si, P, S, さらに Ni, Cr, Mn, Mo, V……等の合金元素を含んでいるのでこれら第 3 元素がオーステナイト中の C の活量に対して如何に挙動するかと云うことは極めて重要な事柄である。著者はこれらの元素のうちで Ni, Si および Mn について、オーステナイト中の C の活量におよぼす影響を研究した。

II. オーステナイト中の C の活量

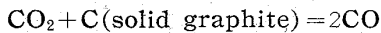
オーステナイト中の C と CO-CO₂ 混合ガス相との平衡については、オーステナイトが安定な温度域において



上式の平衡常数を K₁ としオーステナイト中の C の活量を a_C とすると、

$$K_1 = P^2_{CO} / P_{CO_2} \cdot a_C \dots\dots\dots (2)$$

今同じ温度における固体黒鉛と CO-CO₂ ガスとの平衡は、



上の平衡常数を K₂ とすると

$$K_2 = P^2_{CO} / P_{CO_2} \dots\dots\dots (3)$$

したがって今固体黒鉛を標準状態にとると、

$$a_C = \frac{P^2_{CO} / P_{CO_2}}{K_2} = \frac{\gamma}{K_2} \dots\dots\dots (4)$$

ただし P²_{CO}/P_{CO₂} = γ とする。

(4) 式において a_C は標準状態として純黒鉛をとつた場合のオーステナイト中の炭素の活量である。したがって Ni, Si および Mn 等の含有量の異なる試料を数個ないし十数個を反応管に入れて一定温度で CO-CO₂ 気相と平衡させると、気相の P²_{CO}/P_{CO₂} は一定であるから全試料のオーステナイト中の C の活量は等しいから、これを増大せしめるような元素を含有しているものでは純 Fe-C のみのものにくらべてその含有量に応じて、オーステナイト中の C の分析濃度は減ずる筈であり、逆の場合にはその含有量に応じて C の分析濃度を高める筈である。

III. 実 験 装 置

従来のガス送入手法では、低温部での C 析出のおそれがあるので、著者は、会場に掲示するが石英ガラス製のアンプルー反応管を考案し、その中に固体試料を入れ、試験温度で 1 気圧になる如く CO-CO₂ 混合ガスを封入したのちその両端を溶封し、このアンプルー式反応管全体を炉内の均一温度帯に装入して低温度部における C 析出による欠点をさけてガス相と固体試料を平衡させ、のちアンプルー反応管内のガス相の CO-CO₂ の比を外気と混合させることなく分析した。

IV. 試 料

電解鉄より真空高周波炉により溶製した純 Fe-C 試料の他に Ni 0.57%, 0.75%, 1.01%, 1.50%, 1.99%, 2.88%, 3.89%, 4.70%, 5.89%, 7.07%, 8.80%, 9.74% を含む試料および Si 0.78%, 2.15%, 2.85%, 3.72%, 4.93% を含む試料、および Mn 0.82%, 1.15%, 2.20%, 2.93%, 3.85%, 4.92% を含む試料を溶製し、1mm φ に引抜いた針金を実験に供した。

V. 実 験 結 果

- 1) Fe-Ni-C 系