

Ti-Ni形状記憶合金に及ぼす水素の影響(III) ——通電加熱方式による形状記憶サイクル繰り返し 試験機の製作及び基礎データ——

Influence of Hydrogen on Ti-Ni Shape Memory Alloys (III)
——A New Shape Memory Cyclic Test Machine and Basic Data——

浅 岡 照 夫*・上 村 泰 介**・斎 藤 秀 雄*・石 田 洋 一*

Teruo ASAOKA, Taisuke KAMIMURA, Hideo SAITO and Yoichi ISHIDA

1. は じ め に

これまでに我々は、環境中よりTi-Ni合金に吸収される水素がこの合金の機械的性質¹⁾、変態点^{2),3)}等に与える影響について報告してきた。それに続いて、長時間にわたる形状記憶サイクルの繰り返し特性を調べるため独自の試験機を製作し、吸収された水素がこの繰り返し特性にどのような影響を及ぼすか、また水素浸入環境においての許容応力、歪の条件がどの範囲にあるかを検討した。

本報告ではまず形状記憶サイクル繰り返し試験機の概要を述べ、基礎的データを示す。

2. 試 験 機 概 要

これまでもTi-Ni合金の形状記憶繰り返し特性を調べる目的でいくつかのタイプの試験機が製作されているが、大きく分けると、荷重方式に関しては固定荷重をかけておいて温度を変え回復応力を測定するタイプと、1サイクルごとに荷重を除荷するタイプとがある。2つのタイプは弾性歪分の違いがあるのみで回復応力に関して本質的な違いはないと考えられるが、1サイクル当りの時間を短くする意味と比較的簡単に組み立て、制御の出来ることから、前者のタイプが多いようである。加熱には通電による方式と空気またはオイルバスを用いて加熱する方式とがあり、使用の目的に応じて得失があるが、サイクル時間の短縮のためには直接通電方式が、加熱の均一性の点からは間接加熱方式が良いと思われる。またそれとは別に、赤外線による加熱が実際のインプラント材で応用されているが、これを繰り返し試験装置に使用した例は見あたらない。冷却方式に関しては空冷、強制空冷、冷媒を用いるもの、ヒートシンクによる方法などがあり、最も冷却速度の高いものはヒートシンクによる方法であるが冷却装置の部分が大きかりになる。

これまでに製作された試験機はこれらの組み合わせで

それぞれ目的に応じた長所を持っているが、本研究では実用の際に有用性が高いと思われる直接通電加熱方式を採用し、形状記憶サイクル繰り返しの際の材料特性の変化を追うために、Fig. 1に示すような形状記憶サイクルを1サイクルとして行わせ、回復応力、回復率、たわみ、引っ張りによる応力-歪み曲線形状等を連続的に測定できることを目的として試験機の設計を行った。なお試料としては線材を用い、また本報告では温度サイクルは室温とAf点以上20—30Kの温度の間とした。

Fig. 1の形状記憶サイクルは、次のような行程をたどる。

(1)まず試料を室温で所定の予歪まで引っ張る。(ab)今回は室温で完全にマルテンサイト相状態である材料を用いているので、この行程はマルテンサイト兄弟晶の食い合いによって変形が進行する。ただし2回目以降のサイクルでは、oa間は部分可逆形状記憶効果のため低温相での引っ張り形状をある程度記憶していることによりたわんでいる。

(2)応力を負荷ゼロまで除去する。(bc)ここで見かけの塑性歪ocが残る。

(3)cの状態を試料を通電加熱することにより、変形したマルテンサイト相はオーステナイト相に変態をし高い応力を発生する。(cd)逆変態の終了するまで、すなわち

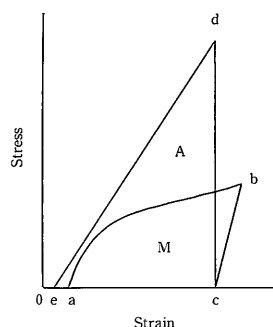


Fig. 1 形状記憶サイクル図

*東京大学生産技術研究所 第4部

**東京電機大学理工学部 (現・東芝)

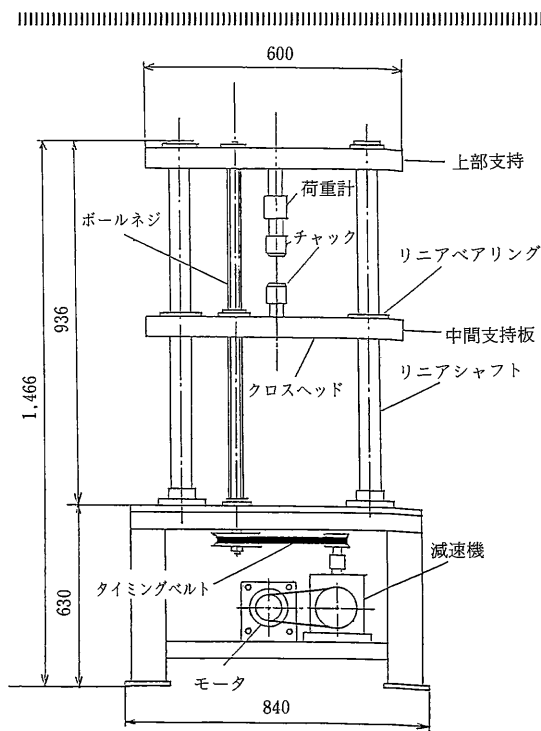


Fig. 2 形状記憶サイクル試験機概要

d 点の値が飽和に達するまで保持する。

(4) 高温のまま応力を負荷ゼロまで除去する。(de)

(5) e の状態で、低温圧縮空気吹き付けにより室温まで冷却する。

ここで、回復率は $(ce/oc) \times 100$ とし、回復応力は cd の応力と定義する。

Fig. 2 に試験機の本体を示す。引っ張りおよび除荷はクロスヘッドの昇降により行われる。クロスヘッドの稼働はボールネジにより行われ、その昇降運動は左右 2 本のリニアガイドベアリングにより案内されて、クロスヘッドが左右どちらかに傾いた状態で昇降するのを防ぐよう考慮した。動力は DC サーボモーターからタイミングベルト→減速機→タイミングベルト→ボールネジの順に伝達され、定速で試料に歪を与える。モータからボールネジにいたる最終減速比は 1 : 600 としている。引っ張り荷重はチェック上部の荷重計 (ロードセル) により読み取られる。本試験機は最大 3 ton まで引っ張り能力を有するように設計され、今回の Ti-Ni 材の試験に対し十分な剛性を持っている。

チェックにはコレット・チェックを用い、上方チェックはロードセルを通して上方支持はりに固定、下方チェックはクロスヘッドに固定した。チェック受けは 2 本のボルトで回りどめを施してねじれを防いでいる。ま

た止め具の部分はヴァルカナイズド・ファイバーにより絶縁してある。

Fig. 3 に形状記憶サイクルを行わせるためのシステム構成を示す。負荷制御系としては、ロードセル→動歪計→A/D コンバーター PC8801mk2—I/O ポート→トランジスタ回路 (正転・反転)→デジタルサーボ用 D/A コンバーター Amp.—DC サーボモータの閉回路を構成した。

変位制御系としては、変位計→動歪計→A/D コンバーター PC8801—I/O ポート→トランジスタ回路→デジタルサーボ用 D/A コンバーター Amp.—DC サーボモータの閉回路を構成した。

冷却系はコンプレッサで約 9.8 kg/cm^2 の圧縮空気を作り、サージタンクからフィルタセパレータを通しレギュレータで約 7.5 kg/cm^2 に安定させ、ルブリケータから電磁弁に送られる。電磁弁の開閉はパソコンにより数秒間のタイマーサブルーチンを作り、トランジスタ回路により増幅して行われる。

加熱系はパソコンで数秒間のタイマー・サブルーチンを作り、トランジスタ回路を通してまず小型のソリッド・ステート・リレーを作動させ、これから次に大型のリレーを作動させ直流電流を試料に通電する。通電は上下のチェックから 1 mm 離れた試料部分にクリップ型電極を取り付け、安定化電源により直接試料に電流を流している。温度測定は専用のクリップ型熱電対 (クロメル・コンスタンタン) を試料に取り付け、データ・コレクタにより測定値を処理する。

形状記憶サイクル曲線は X-Y レコーダにより、任意の繰り返し数に対し描かせることが出来る。

本システムの制御行程におけるプログラムの概略を、Fig. 1 のサイクル図中の各行程と対応させて Fig. 4 に示す。

3. 試験条件

試料は古河電工製の Ti-50.0at.%Ni, 1 mm の線材で、冷間加工状態の供試材を 673K, $3.6 \times 10^3 \text{ s}$ 焼鈍したものをを用いた。DSC により測定した変態温度は、 $M_f = 325 \text{ K}$, $A_f = 349 \text{ K}$ であった。試験片長さは 70 mm, チェック間の標点距離は 30 mm とした。

加熱電圧は 5V 一定とし、電流・加熱時間を変えて温度を制御した。本報告では $A_f + 20 \text{ K}$ を高温側の値として設定した。加熱速度は $15 - 20 \text{ K/s}$ である。冷却は圧力 7.5 kg/mm^2 , 271K の圧縮低温空気を吹き付け、試料温度を高温から室温程度にまで下げた。冷却速度は $20 - 30 \text{ K/s}$ である。

繰り返し歪を与える歪速度は $1 \times 10^{-2} \text{ /s}$ とし、1 回の形状記憶サイクルに要する時間は 24—30 s である。

研 究 速 報

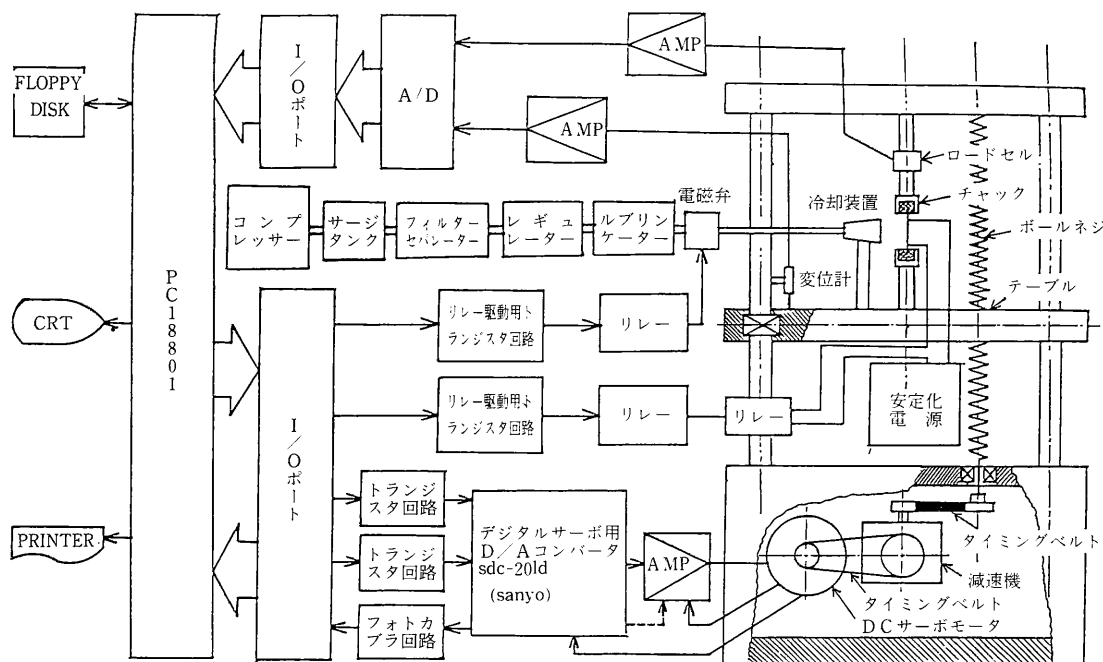


Fig. 3 形状記憶サイクル試験機のシステム構成

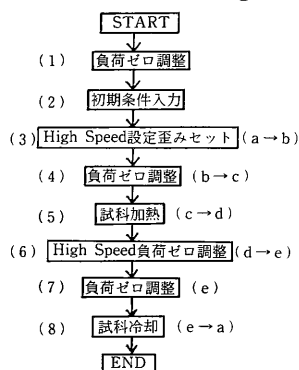


Fig. 4 形状記憶サイクル測定プログラムの流れ

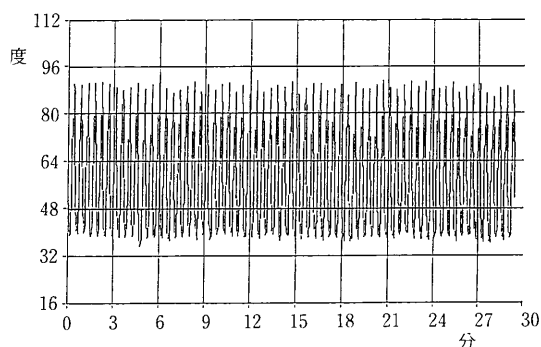


Fig. 6 サイクルくり返し中の温度変化

4. 試 験 結 果

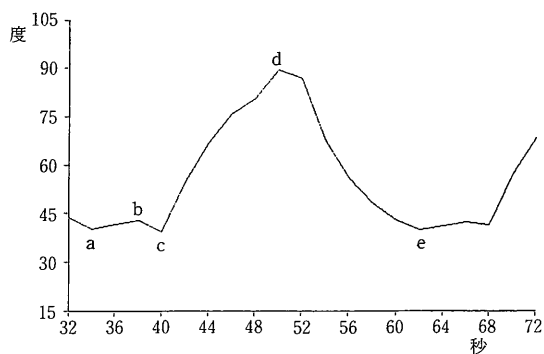


Fig. 5 1サイクル中の温度変化

Fig. 5にサイクル中の温度変化の例をFig. 1のサイクル概念図の各点と対応させて示す。これは加熱5V, 7.5 A, 7sで繰り返し歪3%の例であるが、a点からe点の温度は設定目標をほぼ満足していることがわかる。Fig. 6は上記の条件での繰り返しのうちN=141(回)からN=204(回)までの温度記録を示す。高温部において多少の変動が認められるが、全体として良好な温度変化を示している。また通電電極間のどの位置に熱電対を取り付けても、温度の大きな違いは認められなかった。

プログラムに従いX-Yプロットに描かせた形状記憶サイクル曲線の例をFig. 7に示す。2%繰り返し歪と与

研究速報

え, 7.5A, 8s通電の例であるが, いずれの曲線もきれいに重なっており, 本試験機と制御プログラムが良好に作動していることを示している。室温(マルテンサイト相)で2%歪をかけたときの曲線は, $N=60$ を越えるあたりから少しやせた形を示すようになる。変形を受けたマルテンサイト相を通電加熱した場合, オーステナイト相への変態に伴う回復力は急激に立ち上がり, 数秒の間にほぼ飽和値に達する。

Fig. 8は回復応力と回復率を 2×10^3 回までプロットした結果である。回復率の初期変化を除くと, 2%程度の繰り返し歪みではどちらもほとんど変化をしていないことがわかる。回復率の初期低下は, 室温で変形を与える際の初期たわみが $N=100$ 前後まで増加しその後飽和することに原因があるものと考えられる。

今回使用した試料は冷間加工後低温で焼鈍を施したものであり, 繰り返し歪を受けることによる変態点の変化はないとされており, 事実本試験機で繰り返し試験を行った後DSCで測定した変態点はほとんどずれを示していなかった。このため繰り返し試験中に加熱温度の補正をする必要はなかったが, 変態点の変化する可能性のある材料ではプログラムにより通電電流値を変えることが求められよう。今後, まず水素フリーの試料の繰り返し特性を押さえ, 次に水素吸収材の長時間繰り返しを行って比較検討をする予定である。

5. ま と め

(1)Ti-Ni形状記憶合金の水素環境下での形状記憶繰り返し特性を調べる目的で独自の試験機を製作した。試験機は通電加熱—強制空冷方式をとり, 回復応力, 回復率

のほか, 形状記憶サイクル曲線を描かせて長時間繰り返し試験中の挙動を検討出来ることを特長としている。

(2)温度制御, 形状記憶サイクル制御は良好な結果を示した。
(1991年10月14日受理)

参 考 文 献

- 1) T. Asaoka et al.: Proc. of 6th Int. Conf. on Titanium, (1988) Canne, p. 1039
- 2) 浅岡, 斉藤, 野川, 森川, 石田: 生産研究, 38 (1986) p. 497
- 3) 浅岡, 斉藤, 野川, 森川, 石田: 生産研究, 39 (1987) p. 501

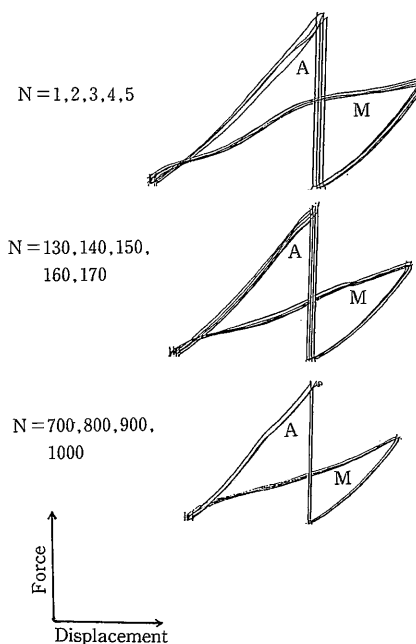


Fig. 7 X-Yプロットに荷重-変位曲線のサイクルを描かせた結果

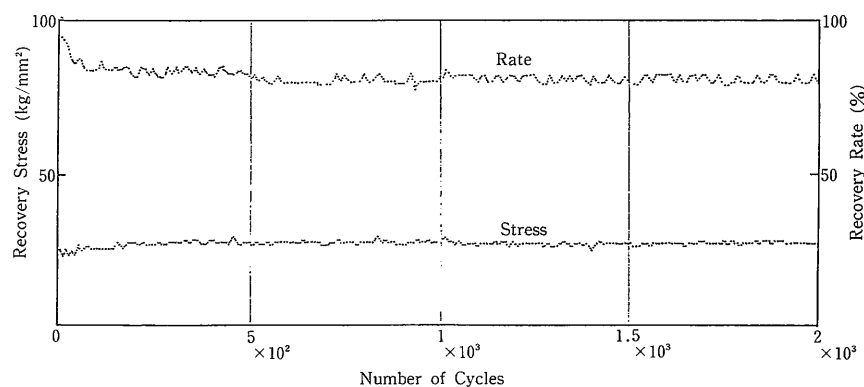


Fig. 8 回復応力, 回復率の測定結果