

Table 2. Average rate of thermal dilatation. ( $\times 10^{-6}$ )

Region	Specimen	5 cycle	10 cycle	15 cycle	20 cycle	25 cycle	Average
Austenite region	No. 1	31.0	—	23.4	23.1	21.2	24.9
	No. 2	31.0	—	28.2	22.5	21.8	25.9
	No. 3	—	29.2	31.0	30.5	31.0	30.4
	No. 4	31.8	36.2	35.2	35.0	35.2	34.7
	No. 5	36.5	38.2	36.4	34.2	33.0	35.7
Subcritical region	No. 1	14.6	—	16.1	14.5	15.5	15.2
	No. 2	14.4	—	15.0	14.6	14.9	14.7
	No. 4	—	13.2	14.8	13.3	13.0	13.7
	No. 3	15.0	16.5	15.0	14.4	14.4	15.1
	No. 5	17.1	15.5	16.0	14.9	14.9	15.7

おける膨張収縮の消失が著者の一人によつて報告されている<sup>3)</sup>が、冷却変態の膨張のみが消失する事例については、黒鉛鋼の実験における新しい観察であつて、さらに検討すべき問題である。

### 3.3 顕微鏡組織

実験に用いた黒鉛鋼は鑄造のままでは黒鉛が析出していない。その後の加熱によつて黒鉛化が進むが、繰返し加熱によつてさらに黒鉛と基質に変化が生ずる。950°Cの恒温加熱により黒鉛化した後の試料によれば、黒鉛核数は No. 1 より No. 2, No. 3 と増加するが、No. 4 はきわめて少なく、No. 5 は No. 3 と同じ程度に多い。これは成分により黒鉛化傾向に関係があると思われる。25回繰返し加熱した後の生長した黒鉛について観察した結果の要点をあげると次のごとくである。

(1) 試験片中心部の基質は、No. 1, No. 2 は概ねブルアイ組織であるが、No. 3 は黒鉛の周辺にフェライトの析出が少ない。No. 4 にはセメントイトが多量に認められる。しかし No. 5 はパーライトとフェライトの組織である。

(2) 試験片の周辺では、いずれもパーライト質になり、フェライトの析出がほとんどない。

(3) 黒鉛数は No. 1 が最小であり、No. 2 が最も多い。No. 2 は核数が多いが、黒鉛寸法はきわめて小である。

(4) 黒鉛の形状は、一般に輪郭が不規則である。また微小の黒鉛が加わつて、黒鉛粒子が不揃いである。

以上の観察は5サイクルの加熱による組織と比較して明瞭であるが、さらにこれらの変化の追跡が必要であろう。とくに No. 4 についてはこの結果のみからいうと、セメントイトが増加したといわなければならない。

### 4. 結 言

黒鉛鋼を真空中で生長試験を行なつた結果、次のごとき結果が得られた。

(1) 黒鉛鋼は生長し、その生長量は炭素量の多いほど大になつた。

(2) 繰返し加熱冷却中に黒鉛化膨張が完了した後も生長が継続する。

(3) オーステナイト域の膨張率は、試料および加熱回数によつて著しい変化が認められた。高炭素の黒鉛鋼ほどその値が大あつた。

(4) 繰返し加熱冷却を継続すると、一般に冷却変態の膨張量が減少し、再び増加する傾向が認められる。

(5) 生長試験後の顕微鏡組織には、黒鉛粒数と形状に変化が認められた。

### 文 献

- 1) 長岡: 鑄物, 34 (1962) 9, p. 54
- 2) 長岡: 鉄と鋼, 50 (1964) 5, p. 773
- 3) 長岡: 鉄と鋼, 39 (1953) 11, p. 1250

## (186) 高純度砂鉄銑を原料とする高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鑄鉄の熱間加工性について

(高純度砂鉄銑を原料とする各種鉄鋼の性質—II)

日曹製鋼, 富山工場

工博 佐藤祐一郎・○松倉 清・松田茂信

Hot Workability of High Carbon Cr-Mo Steels and Cr-Mo Cast Irons Made from High Purity Iron Sand Pig.

(Properties of several kinds of iron and steels made from high purity iron sand pig—II)

Dr. Yūichiro SATŌ, Kiyoshi MATSUKURA and Shigenobu MATSUDA.

### 1. 緒 言

前報<sup>10)</sup>において、著者らは高純度砂鉄銑を原料とする鍛造した高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鑄鉄の諸性質について調査した結果、これらの鍛造した鉄鋼は鉄鋼材料としてすぐれた諸特性をもち、とくに機械的性質がすぐれていることを報告した。

しかし、これらの鉄鋼はC含有量が高く、高温における組織がオーステナイトおよびセメントイト [(Fe, Cr)<sub>3</sub>C]あるいは微小黒鉛の共存する組織であるため、熱間加工がはなはだ困難とみなされる。事実、この推察はこの種の鉄鋼の鍛造作業面でよく経験するところである。

本報では高純度砂鉄銑を原料とする高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鑄鉄について鑄塊、均質化処理材および熱間加工材の高温変形能に関する調査結果を報告する。

### 2. 供試材および実験方法

#### 2.1 供試材

試料はすべて高純度砂鉄銑を原料として、12 t 塩基性

Table 1. Chemical composition of specimens tested. (%)

Sample No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu	T	V	Sn	As	Sb	Pb	Al
A 1	1.26	0.56	0.67	0.94	0.34	0.011	0.010	0.04	0.05	0.008	0.006	tr	0.004	tr	tr	0.008
A 2	1.43	0.51	0.62	1.00	0.37	0.010	0.008	0.05	0.04	0.007	0.010	//	0.005	//	//	0.012
A 3	1.68	0.56	0.55	1.08	0.36	0.019	0.010	0.05	0.06	0.007	0.007	//	0.003	//	//	0.011
A 4	1.91	0.58	0.68	1.12	0.35	0.011	0.009	0.03	0.04	0.007	0.008	//	0.003	//	//	0.009
A 5	2.33	0.49	0.57	1.02	0.37	0.009	0.007	0.06	0.04	0.006	0.005	//	0.004	//	//	0.010
T 1	2.68	0.53	0.60	0.98	0.32	0.009	0.009	0.05	0.03	0.008	0.006	//	0.003	//	//	0.008
T 2	3.05	0.50	0.53	1.07	0.31	0.011	0.011	0.07	0.02	0.004	0.011	//	0.006	//	//	0.008
T 4	3.35	0.52	0.51	1.15	0.35	0.013	0.008	0.03	0.02	0.006	0.007	//	0.005	//	//	0.012

電気炉で溶解，精錬した 100 kg 丸型試験鋳塊より採取したものである。すなわち，この鋳塊は軟化焼鈍後鋳塊中央部で鋸切断により2分した。さらに鋳塊頭部側のは縦断して鋳造試料と均質化処理試料とした。均質化処理試料は 1050°C × 24 hr の均質化処理後軟化焼鈍を施行した。これにたいし，鋳塊底部側のは均質化処理後ただちに 100 mm φ 丸棒に鍛伸し，さらに軟化焼鈍を施行して鍛造試料とした。鍛錬成形比は約 3.6s である。

高温ねじり試験片はいずれも各試料の外周部より軸方向に削り出して調製した。

供試材の化学成分は Table 1 に示す。

化学分析試料は鋳塊中央部で鋸切断によつて2分した鍛造試料素材の中心部から採取したものである。

#### 2.2 実験方法

高温変形能は高温ねじり試験によつて行なつた。試験片は平行部の径が 10 mm φ，長さが 60 mm，全長 160 mm に機械仕上げを行ない，管状電気炉中で 950, 1,000

1,050, 1,100, 1,150 および 1,200°C に加熱してその温度にそれぞれ 30 min. 保持後回転速度 50 rpm でねじり，破断までのねじり回数を測定した。試験結果の再現性を確認するために，試料 A1 および T2 の試験片各 10 本について 1,050°C の高温ねじり試験を行なつた結果，破断ねじり回数の標準偏差は平均値の 10% 以内であった。

ねじり破断した試験片は高温ねじり試験後空冷した。その後試験片の破断部分の先端ならびに試験片保持部を軸方向に検鏡した。

#### 3. 実験結果および考察

Fig. 1 は鋳造試料の高温変形能におよぼす試験温度の影響について図示したものである。K. BUNGARDT<sup>2)</sup>の Fe-Cr-C 系平衡状態図から推定される Fig. 2 の約 1% Cr 切断状態図によれば，高温加工時の組織は試料 A1 および A2 がオーステナイトの均一組織あるいはオーステナイトと初析セメンタイトの混合組織，試料 A3 ~ A5 および T1 ~ T3 がオーステナイト，共晶セメンタイトおよび初析セメンタイトの共存する組織であるが，前報において報告したように試料 T1 ~ T3 ではこれらの組織成分のほかにごく微細に析出した焼戻炭素が認められる。したがつて試料 A1 および A2 はねじり回数がほかの試料に比較してはるかに大きく，最高ねじり回

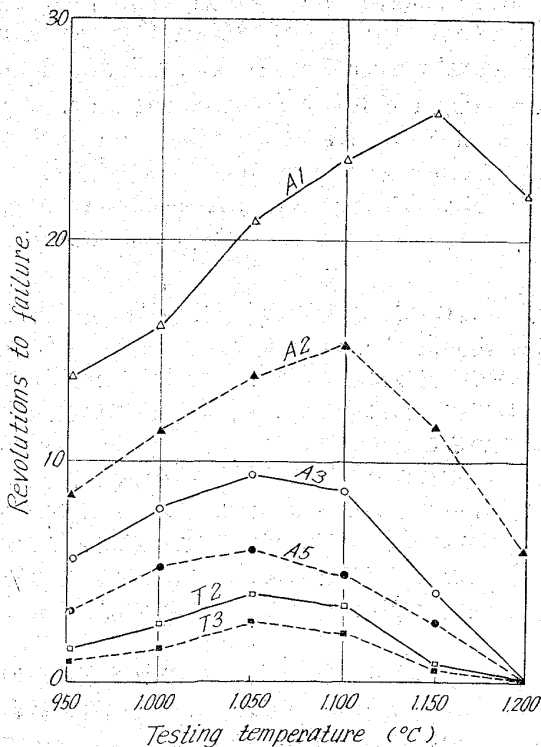


Fig. 1. Effect of testing temperature on revolutions to failure in twist for as cast specimens.

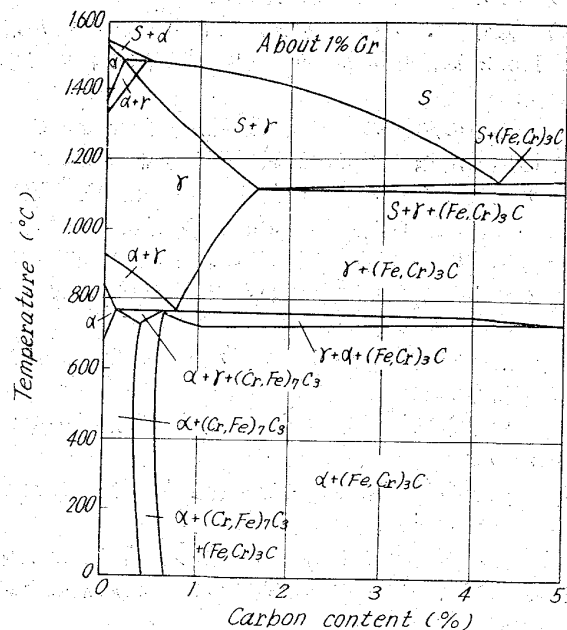


Fig. 2. Sectional diagram at about 1% Cr for the system Fe-Cr-C.

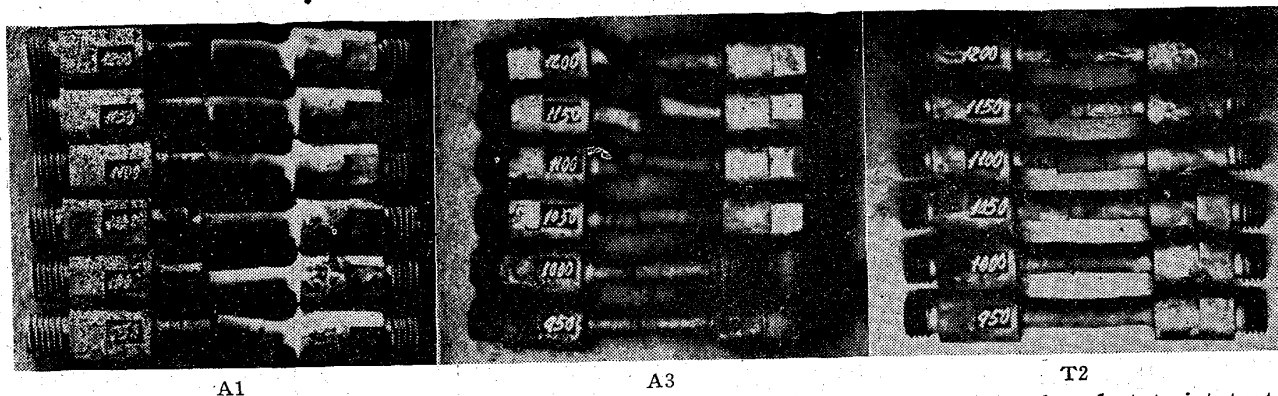


Photo. 1. Effect of testing temperature on fractures of as cast specimens after hot twist test.

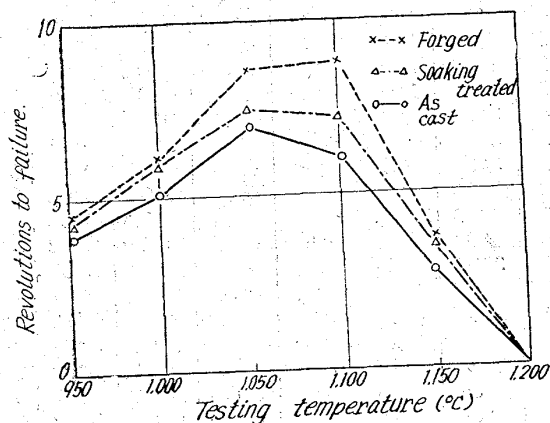
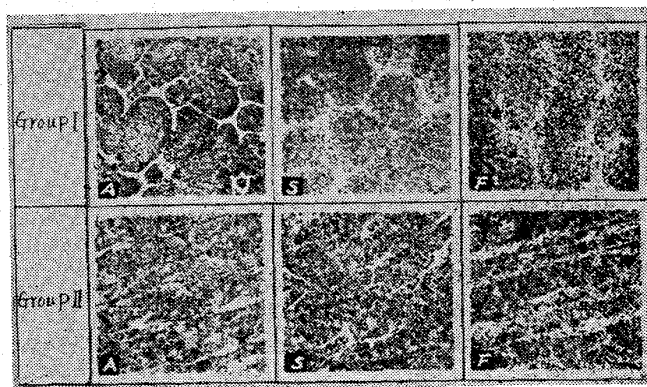


Fig. 3. Effect of testing temperature on revolutions to failure in twist for A4 test specimens with various conditions.

数の温度が約 1,150°C および約 1,120°C である。しかし A1 および A2 をのぞくすべての試料は大体一致した傾向のねじり回数曲線を示し、最高ねじり回数の温度は約 1,080°C である。ねじり回数は C 含有量の高くなるほど減少する。しかしその減少の度合は C 含有量の高くなるほど小さくなる。これと同じ関係が均質化処理試料ならびに鍛造試料においても認められる。次にねじり試験後の試験片の破断状況を観察し、変形能が大, 中, 小の各試料 A1, A3, T2 について例示すると Photo. 1 のごとくである。この写真では各試料ともにねじり回数の少ないもの特有の破断状況を示し、また試料 A3 および T2 が Fig. 1 で示される温度でバーニング現象を呈することがわかる。

Fig. 3 は鍛造, 均質化処理および鍛造後の各試料について各温度における高温変形能を比較した結果の 1 例である。最高ねじり回数の温度は各試料間でほとんど変わらないが、ねじり回数は鍛造, 均質化処理, 鍛造の順序で大きくなっている。この傾向は A1 ~ T3 の各試料において認められる。このように均質化処理および鍛造が高温変形能を著しく向上させる原因については、前者が凝固時のマイクロ偏析を拡散消失させ、また結晶粒界に析出する初析セメントサイトを粒状化させること、一方後者が材質的にせい弱な樹枝状結晶ならびにレデライト組織を破壊し微細化することに起因するものと考えられる。Photo. 2 は Fig. 3 に示した各試料について高温ねじ



Group I: Holder parts of specimen (non twist).  
Group II: Fractured parts (most twisted).  
A: As cast. S: Soaking treated.  
F: Forged.

Photo. 2. Microstructures of specimens after hot twist test, etched by 5% picric acid.

り試験後の顕微鏡組織を示す。均質化処理後ならびに鍛造後のセメントサイトの形状および分布状態は鍛造時の場合と全く異なり、グループ I のごとく熱間変形しやすい組織に変つている。さらにこのセメントサイトは高温ねじり試験によつて変形を受けてグループ II のような形状となる。この種の鉄鋼において熱間加工時に発生するき裂はグループ II の写真で明らかなようにセメントサイト粒内を起点として発生するものと考えられる。

#### 4. 結 言

高純度砂鉄銑を原料とする高炭素 Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鋼鉄の鑄塊, 均質化処理材および熱間加工材について高温ねじり試験を行なつた結果, 次のことが明らかになつた。

(1) 高温変形能は約 1.5% C 以上ではいずれも試験温度が約 1,080°C で最大を示す。C 含有量がそれよりも低い場合には Fe-Cr-C 系 1% Cr 切断状態図の固相線より約 50°C 低い温度が最大の高温変形能を示す。また高温変形能は C 含有量の増加とともに減少するがその減少の度合は C 含有量の高くなるほど小さくなる。

(2) 高温変形能は均質化処理および鍛造を施行することによつて著しく改善される。このことは特に高温におけるセメントサイトの挙動に起因するものと考えられる。

文 献

- 1) 佐藤, 松倉: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2037
- 2) K. BUNGARDT, E. KUNZE, E. HORN: Arch. Eisenhüttenw., 29 (1958), p. 193

(187) 各種鑄鉄の耐熱き裂性について  
(高純度砂鉄銑を原料とする各種鉄鋼の性質—Ⅲ)

日曹製鋼, 富山工場

工博 佐藤祐一郎・〇伴 義雄

Resistance to Fire Cracking of Various Cast Irons.

(Properties of several kinds of iron and steels made from high purity iron sand pig—Ⅲ)

Dr. Yūichiro SATŌ and Yoshio BAN.

1. 緒 言

鋼塊用鑄型廃却の理由である鑄型のきつ甲割れあるいは初期割れは, 比較的高温の熱にさらされ, しかも繰り返しの加熱冷却の熱作用をうけるために生ずるものである。一般にこれが鑄型内面の肌あれあるいははく離などの原因となつて鋼塊用鑄型の寿命を短縮することが知られている。このような鑄型に発生する熱き裂を防ぐためには, その材質をどのように選ばよいかということが非常に重要であり, かつ困難な問題である。

著者らは微量の不純元素が各種鉄鋼の諸性質におよぼす影響について調べた結果, C, Si および Mn 以外の有害元素, 特に P, S および Ti などの含有量の少ない鉄鋼が焼入, 焼戻などのか酷な熱処理にたいしてすぐれた性能を示すことを見出した<sup>1)3)</sup>。

本報は高純度砂鉄銑から作った各種の鑄鉄試験片に繰り返しの加熱, 冷却を加えることによつて, 各種鑄鉄の耐熱き裂性におよぼす化学成分の影響について調査した結果を報告する。

2. 試験材料および試験方法

高純度砂鉄銑および高純度ベースメタルを目標成分になるように配合し, あらかじめ 1,470°C に予熱した 50 kVA クリプトル炉内の 8 番黒鉛坩堝に装入する。約 30 min 間で加熱溶解したのち 1,450°C に 10min 間保持し, 合金鉄を添加して約 6kg の溶湯を作る。さらに 1,450°C に温度を上昇して 10min 間その温度に保持したのち, 1,300°C で 100°C に予熱した 5 個の 35 f × 100 mm 乾燥砂型に注入して試料を作製した。この砂型に使用した砂の配合割合は土岐津 5 号珪砂 100 にたいして亜麻仁油 3.3, ベニガラ 0.07, 二酸化マンガン 0.035 の割合である。

試験材料の化学成分を Table 1 に示す。試料は試験棒の底面より 25mm 上部の断面中心部より採取した。なお熱き裂試験面は試験棒の底面より 50mm 上部の断面とした。各試料とも基準成分として C 3.80%, Si 1.20%, Mn 0.60%, P 0.028%, S 0.020%, Ti 0.01% および V 0.02% を一定とし, 試料 C1~C5 では C 含有を 3.40~4.20%, 試料 K1~K5 では Si 含有

Table 1. Chemical composition of various specimens. (%)

Specimen No.	C	Si	Mn	P	S	Ti	V
C 1	3.29	1.22	0.64	0.029	0.021	0.01	0.02
C 2	3.53	1.22	0.63	0.029	0.028	0.01	0.02
C 3	3.85	1.23	0.63	0.023	0.022	0.02	0.02
C 4	4.03	1.29	0.60	0.026	0.019	0.02	0.02
C 5	4.20	1.10	0.63	0.028	0.024	0.01	0.02
K 1	3.75	0.71	0.60	0.032	0.024	0.01	0.02
K 2	3.86	0.93	0.59	0.028	0.024	0.01	0.02
K 4	3.87	1.16	0.54	0.026	0.022	0.01	0.02
K 5	3.81	1.68	0.60	0.031	0.022	0.01	0.02
M 1	3.78	1.05	0.02	0.015	0.024	0.01	0.01
M 2	3.76	1.21	0.39	0.026	0.024	0.01	0.02
M 4	3.71	1.21	0.77	0.028	0.022	0.01	0.01
M 5	3.92	1.12	0.91	0.029	0.022	0.01	0.01
P 2	3.81	1.08	0.65	0.046	0.022	0.01	0.03
P 3	3.83	1.06	0.62	0.090	0.022	0.01	0.03
P 4	3.76	1.01	0.62	0.179	0.022	0.01	0.03
P 5	3.76	0.99	0.59	0.352	0.026	0.01	0.03
S 2	3.86	1.27	0.56	0.031	0.032	0.01	0.03
S 3	3.76	1.02	0.60	0.028	0.054	0.02	0.02
S 4	3.90	1.06	0.58	0.029	0.106	0.02	0.02
S 5	3.97	1.08	0.52	0.028	0.245	0.02	0.02
T 2	3.97	1.20	0.60	0.031	0.016	0.03	0.02
T 3	3.97	1.29	0.61	0.028	0.016	0.07	0.02
T 4	3.85	1.10	0.58	0.026	0.013	0.13	0.02
T 5	3.85	1.23	0.59	0.028	0.013	0.24	0.02
V 2	3.93	1.17	0.57	0.029	0.013	0.02	0.04
V 3	3.82	1.13	0.57	0.028	0.019	0.02	0.11
V 4	3.84	1.15	0.57	0.026	0.018	0.02	0.23
V 5	3.84	1.12	0.57	0.029	0.022	0.02	0.40

量を 0.70~1.50%, 試料 M1~M5 では Mn 含有量を 0.01~1.00%, 試料 P2~P5 では P 含有量を 0.04~0.32%, 試料 S2~S5 では S 含有量を 0.04~0.32%, 試料 T2~T5 では Ti 含有量を 0.04~0.32% および試料 V2~V5 では V 含有量 0.06~0.48% の化学成分を選んだ。

本試験に使用した繰り返し加熱冷却試験装置を Fig. 1 に示す。装置の作動の概要は, 試験片①が加熱用鋼片②をとおして電気炉③で加熱されており, その下端面から深さ 2.5mm のところに挿入された熱電対の温度が主温度調節計④の上設定温度にたつすると電磁リレー⑤が働き電磁弁⑥が開くと一定の水位に保たれた冷却水タンク⑦より冷却水が冷却水パイプを通して試験片の下端面に注がれ, その面を冷却する。冷却されて主熱電対の温度が下設定温度になると, 再び電磁リレーが働いて電磁弁が閉じ, 試験片は加熱される。このようにして加熱—冷却のサイクルが自動的, 間歇的に繰り返される。実際使用している鋼塊用鑄型はその内面において 800~900°C に急熱され, 外面はそれに応じて 400~600°C に温度が上昇する。そのうち比較的ゆるやかに冷却され, この作用を繰り返すものである。

本試験においてはファイアクラッキングの現象を単純化するために, 上設定温度を A<sub>1</sub> 変態点以下の 650°C とし, 下設定温度を 450°C とした。この温度範囲で 1,000 回の加熱, 冷却を繰り返して試験を行なった。加熱—冷却に必要な 1 サイクルの所要時間は約 3.5min 間である。試験片の形状および大きさを Fig. 2 に示す。