鋼の變態時における異狀變形

玉 置 正 一*

Shoichi Tamaki : Abnormal Deformation of Steel during its Transformation. The dilatation curves of steel by heating and by cooling cycles by obtained means of a common dilatometer (attached few springs) do not exactly coincide, that is, the cooling curve is usually located below the heating curve. This difference shows always the same degree of contraction in every repetition of heating and cooling under the same conditions provided that the specimens are cooled down to room temperature. Having made an investigation about the reason for such a peculiar phenomenon in steel, the author has reached the following conclusion. It is a well known fact that during the transformation period of steel, a volume change occurs due to internal molecular movement or atomic rearrangement caused by dissolution of carbides in austenite (or separation of carbides). It is also well-understood that an enormously large internal stress accompanies this transformation, which according to Dr. Honda's [K. Honda, Proceedings of the Japan Academy, Vol. 25 (1949), No.1] calculation in tension or compression amounts to a few thousand Atm. pressures. This internal stresses keep equilibrium within, but if an external pressure be applied into one direction, even though the pressure is meager, the equilibrium will be disbalanced, consequently a deformation is liable to take place in the direction of applied force, however, It is, however difficult to continue the deformation after this transformation has once ceased. Judging by the above fact it will be concluded that the plastic deformation results by small applied compression during the transformation period only.

(Received October 9, 1964)

* 日本特殊鋼株式會社

I. 異 状 変 形

鋼の變態点あるいは熱膨脹率測定の一方法として従來行われていた全熱膨脹計によって觀測した加熱ならびに冷却曲線において、長さ對温度の加熱曲線と變態を終つた後の冷却曲線とが完全に一致しない現象に注意した。すなわち加熱曲線を A とし冷却曲線を B とすれば、常温に復歸した場合に B は A と一致せず、B は常に A より下位にあつて若干の收縮を示すのである。この現象は同一試料を同一加熱および冷却速度をもつて數回繰り返しても、その都度常に B は A の下位を走り常温に復した後も A の出發點に戻らず收縮していることを示す。これは加熱冷却を無限に繰り返せば收縮もまた無限に繼續することになる。かゝる現象は極めて不合理で、これには何かの原因がなければならない。よつてこの現象を究明し鋼の特異の性質を闡明することにした。

II. 熱膨脹計による加熱冷却不一致の例

本研究に使用した熱膨脹計は廣く使用されている全熱膨脹計でこゝに説明を要しないが、装置の要部は本研究の目

Fig. 1 The main parts of dilatometer.

Fig. 2 Dilation curves of carbon steel.

ボナイト栓, N: 細い真鍮棒, m: 小鏡, S_3 : 小鏡を引きつけているバネ, Fig. 2 はこの装置で炭素鋼の加熱および

冷却曲線を求めたものである。曲線①はこの装置で2回目の加熱冷却曲線で A と B とに僅かながら開きがある。

Fig. 3 Dilation curve of eutectoid carbon steel.

Fig. 4 Dilation curves of Cr-Mo steel (continuous heating and cooling).

III. 原因の 探 究

以上の實驗諸例によれば A, B の開きは鋼の變態に關係していることは推定出来る。何となれば變態点以下または變態のないオーステナイト鋼には A と B との開きはなく變態温度を通過した場合に限り A と B の開きがあるからである。この推定の下に下記の如く實驗を進めた。

1. 熱膨脹計による長さの變化の測定

Fig. 5 の第 3 回目の加熱冷却曲線から 50° における變形量を長さについて計算してみると次の値となる。

試験片の長さ $l=80\text{mm}$, 装置の小鏡 m と望遠鏡尺度までの距離 $D=1500\text{mm}$, m の支點 b と押針の押點 a と

の距離 $\overline{ab}=10\text{mm}$, 長さの變化の目盛 (Fig. 5 の縦軸から読みとる) $s=24\text{ mm}$ 實際の收縮量 $x=\overline{ab}\cdot S/2D=$

Fig. 5 Dilatation curves of Ni-Cr-Mo steel (continuous heating and cooling).

Fig. 6 Coincides curves heating and cooling upon austenite steel.

Fig. 7 Apparatus for the measurement of the force upon the springs (S_1+S_2) (See Fig. 1).

皿の自重=1.1g; S_3 だけ1本のバネの張力を同様の要領で測定すると $W_3=46.4\text{ g}$ でこのバネの着点是小鏡mの裏中央にあるから押針Nを押戻す力は W_3 の半分となる, そうするとこの装置による試験片の一端に加わる

0.080 mm.

一方 A'' 曲線の 50° における長さは B'' 曲線の 140° における長さに等しいことが圖から知れる. すなわち上記の x は試験片が 50° から 140° になつた間の熱膨脹量に等しいからその値は $x=\alpha l (t_{140}-t_{50})$

ここに α は鋼の熱膨脹係數.

1. 12×10^{-5} を代入すれば次の如く計算される. $x=1.12 \times 10^{-5} \times 80 \times 90=0.0806$ となつて前記の計算値と一致する.

2. 試料に対する壓力の測定

Fig. 7に示したようにボールベアリング滑車Pを経てアルミニウム皿に重錘Wを載せてバネ S_1+S_2 の張力に丁度釣り合った時の重さ W_1 を求めた. 次に S_1, S_2 を除き石英管 T_2 と T_1 との間の滑り摩擦力だけを同様に測定して W_2 を得た. 實測値は次の通りである. $W_1=71\text{ g}$; $W_2=9.5\text{ g}$

壓力は $71-(9.5+1.1) + (46.4+1.1) / 2=84.2\text{ g}$; となる. この僅かな加壓力で直径8 mm の試料が壓縮變形

Fig. 8 Dilatation curves on the various load of the springs.

Fig. 9 Dilatation curves of Cr-Mo steel (very slow heating 770° between 835°).

の變態時に起るとすれば, 變態の途中で溫度を一定に保てば著しく大なる塑性變形を起すか否やを検討した.

Fig. 9 は加熱時の變態開始點 770° より 835° の間を2 hr 保つた場合で Ac_1 點で大きく收縮が起り, その後は Ac_3 點まで徐々に收縮があり, Ac_3 點で再び目立つた收縮が現われる. 點線は普通の加熱速度の場合を示す. 兩者を比較すると加熱速度の相違により曲線形の相違は認められるが, 變態區域全體としての收縮量の相違は現われない. その理由は變態時における外力の影響は變態の進行中

形を起すことは普通には考えられない. そこでバネの強さを種々に變えて曲線A, Bの開きを検討した.

Fig. 8 はA, Bの開きの比較的大なる群に屬するCr-Mo-V 合金鋼についての一例で, バネの張力を圖面に記入した如く數段に變えてその都度加熱冷却曲線を求めた.

比較のためそれらの加熱曲線を附記してこれに對する冷却曲線の開きを書いてみると, 圖において明らかなように試験中に加わる壓力が小となるに従い開きは減小している. 従つて試験片の變形收縮量は加壓力の大小に影響され, かつその變形は變態時に起るものと考えられる.

3. 變態溫度範圍内で長時間保つた場合

前項に述べたように異狀變形は鋼

に起るものであつて、温度が一定すればその温度で平衡に達し変態は停止するから、内部分子あるいは原子の移動も

Fig. 10 Dilatation curve on the stepped cooling at Ar'' transformation range.

C: Hanging axle.
W: Blansing weight.
M: Small permanent magnet.
m: Small mirror..
S: Specimen.

Fig. 11 Improved apparatus of dilatometer.
(See Fig. 1).

度を下げると 350° 附近で第二の膨脹が開始され 30 min で停止し、 300° で第三の膨脹が若干見られる。圖において點線は同じ試料について普通の徐冷を行つた場合で 200° 附近で B 線と一致する。このことはまた變態温度範圍で温度を一定に保つてもそのために特に變形量を増大されないことを示している。

4. 試料の長さの直接測定

試験片に全く加圧力を作用せしめず、單に加熱および冷却を行うことによつて再結晶による長さの變化を生ずるや否やを確かむるための實驗を行つた。試験片の兩端近くに測定線 2 線を交叉して刻し、その交叉點の内側の距離をコンパレーターで 1μ の精度で測定した。試験片は一定の爐で 900° まで加熱後爐冷したものを用いた。測定結果の數値は省略したが、何れも測定誤差範圍で長さの變化はないと見做された。

5. 熱膨脹計による試験片の長さの直接測定

熱膨脹計にかかる前と熱膨脹計で測定を終了した後の長さを前記と同様にコンパレーターで測定した結果は、何れ

止み、小なる外力では變形も停止するので一定温度で變形が長く繼續することがないと解される。

Fig. 10 は自硬性鋼を徐冷した場合についての冷却曲線を求めたもので、徐冷においても Ar_1 變態は阻止せられ、 440° 附近から Ar'' 變態が開始される。

400° で温度を一定に保つと約 1 hr でその變態は停止し、さらに温

も若干收縮しその程度は熱膨脹計により測定した値と大凡合致している。

6. 實驗裝置の改造

以上述べたように本研究の異狀現象は、變態時における

Fig. 12 Show the coincide curves heating and cooling upon the small pressure.

Fig. 13 Relation between applied small pressure and contraction of length.

Fig. 14 Relation between applied small pressure and contraction of length.

加壓力によることが明らかである。

その加壓力は装置のバネによるものであるから S_1 , S_2 , S_3 などのバネを全部取り除き、試料の膨脹收縮を伝える石英管 T_2 のみを軽く試料に接するように改造した。Fig. 11 にその略圖を示す。その要點は石英管 T_2 を撞木式に糸

で吊し、かつ T_1 と T_2 との摩擦のないように中間に浮かした點にある。従つて試料もまた石英管 T_1 の中心位にあるように 2 個の耐熱鋼で作つた ring で支えるようにした。圖中 W は T_2 を水平に保つための釣ひ合い錘で太い電気フェーズを巻きつけた。M は永久磁石棒でバネ S_3 の代りに小鏡

m と接觸を保つものである。Fig. 12 はこの装置によつて測定した結果である。兩圖とも加壓力は圖中に示したように非

常に小であるために A_1B_1 の開きはほとんど認められない。

Fig. 13 および 14 は新舊兩装置によつて種々異なる加壓力による A, B の開きを曲線から 30° において読みとつた目盛を縱軸に、加壓力を横軸にとつて兩者の關係を圖示したものである。諸點はかなりバラツキがあるが、加壓力小なるほど變形量も小である傾向は歴然としている。

IV. 總 括

(1) 鋼の變態時には強大なる内部應力を伴うものであることはすでに知られた事實であるが、そのため鋼の弾性限よりはるかに小なる外力の作用を受けて、その方向に變形を生ずることは從來注意されなかつた。

(2) バネを有する全熱膨脹計で加熱および冷却曲線を求めると兩者の間に若干の開きがあつて、常溫に復した場合には一定の收縮現象を認める。

(3) 炭素鋼のように變態速度の非常に速いものほど加熱冷却曲線の開きは小で、殊に共析鋼では變態溫域がないのでその開きがほとんどない。自硬性の大なる鋼種は變態速度が遅いため開きが大きくなる。

(4) Ac_1 變態點以下までの加熱冷却または オーステナイト鋼の如く變態點のない鋼の加熱冷却曲線には兩者の開きはない。

(5) 變態溫度區間で長時間保持しても特に著しい變形量の増加は認められない。

(6) 試料を全く外力の作用を受けないように單に加熱冷却を行つたのでは變形は起らない。

(7) 装置附屬のバネの加壓力を減ずるに従つて加熱冷却曲線の開きは小となる。

(8) 装置を改造して加壓力を 6 g 程度とすると兩者の開きはほとんど認められない。

(9) 加壓力と試料の收縮量との關係を圖示するとほぼ拋物線的關係をなし、加壓力の小なるほど變形量は小となり原點を過ぎる傾向を示す。

V. 原因の考察および結論

以上の諸實驗からバネを有する熱膨脹計による加熱冷却中における異狀收縮現象は次の如く考えられる。

鋼の加熱冷却中に起る格子變態、あるいは炭化物の固溶または析出などは結晶内部での原子配列の變換、および分子の移動が行われ、その際著しい内部應力を生ずることはすでに知られている。これら内部應力の方向はあらゆる方向をとり、總體的には體積の變化を伴うが、特定の方向へのみの變形は現われない。しかるに若し結晶内部での原子あるいは分子の大攪亂中に外力が作用すると内部應力の釣り合いは破られて外力の方向へ變位が助長せらるべきことが考えられる。この變形の大きさは外力の大きさに關係すること勿論であるが、たとえ外力が極めて小であつてもその作用を受け易い状態にある。よつて熱膨脹計の附屬バネにより絶えず加壓力を受けている試料は變態時において收縮現象を現わすことはあり得べきことと考へねばならない。

長さの方向に收縮するので、直徑方向の膨らみも考へねばならないが、試料の直徑小であるためその直徑の増加は測定困難であつた。また試料の曲りも考へねばならないが、オーステナイト鋼では長さの變化が現われない點から曲りのための收縮現象とは考へられない。

本研究の結果は異狀變形の起る原因は主として變態時に變態の進行中にのみ装置附屬のバネの加壓力によると結論される。その加壓力は極めて小であつても、變態時の内部應力の平衡を破るに足るものと解せられる。