

加熱および冷却による炭素鋼棒の変形について* (III)
丸棒試片の寸法の影響

稻垣道夫**

Michio Inagaki : On Dimensional Changes of Carbon Steel Bars due to Heating and Cooling (III). Effect of Dimension of Bar. (1) The dimensional changes of carbon steel bars due to heating above the transformation points and cooling are not attributed to errors

** 名古屋大學工學部

* 1951年4月本會東京大會に一部發表

of measurement owing to the small pressure of dilatometer-spring. (2) When the steel bars become long and slender, their lengths tend to decrease by heating and cooling, regardless of their carbon contents. However the effect is constant when the ratio of the length to the diameter exceeds a certain value. If the shape of specimen approaches a sphere, such dimensional changes become smaller. (3) It is considered that the carbon content, the microstructure, the dimension (and the shape) of a carbon steel bar are factors which influence the dimensional changes due to heating and cooling.

(Received May 20, 1955)

I. 緒 言

第1報および第2報においては、豫め焼準（爐冷または函冷）した各種炭素鋼棒の加熱冷却（空冷よりも遅い速度）による變形におよぼす種々の影響、すなわち加熱温度特に變態點附近的加熱温度、變態點以上における加熱時間、加熱冷却の繰返し回数、炭素含量および加熱冷却速度の影響について、かなり詳細に調べた結果を報告した。そのさい用いた試片の寸法形状は、2, 3種類のもので、試片の寸法形状の影響についてはほとんど觸れなかつた。そこで本報では、特に試片の寸法形状の影響に着目し、これを系統的に調べた結果を報告する。また全熱膨脹計による測定の結果をも述べたい。

II. 實驗方法

供試材料は主として第1報および第2報で用いたものと同じ熱間延鋼棒で、その化学成分は Table 1 に示す通

Table 1 Chemical compositions of used steels (%).

Steel	C	Mn	S	P	S	Ni	Cr	Cu
A	0.08	0.45	0.12	0.011	0.024	—	—	—
B	0.10	0.47	0.30	0.020	0.018	0.30	0.19	0.37
C	0.26	0.56	0.02	0.019	0.011	—	—	—
D	0.28	0.41	0.02	0.007	0.011	—	—	—
E	0.56	0.67	0.06	0.020	0.030	0.04	0.02	0.12
F	0.84	0.56	0.15	0.023	0.012	0.23	0.24	0.32

りである。試片の寸法としては、直径 5~25mm、長さ 20~120 mm の範囲内の丸棒で、長さ と直径との比を異にする種々の試片を作製した。なお第2報においては、この寸法範囲外の直径 21mm、長さ 405 mm の試片も用いられたことを附言して置く。試片の形状としては、丸棒の両端を平らにしたものと頂角90°の圓錐形にしたものを用いた。

加熱冷却による長さの變化の測定には、萬能測長機、比較測長機および全熱膨脹計を用いた。それらの測定方法については、第1報および第2報で述べた通りである。

III. 實驗結果

1. 測定機器の影響

玉置氏⁽¹⁾は變態温度を通過して加熱し冷却した鋼棒の加熱冷却による長さの變化を、主として熱膨脹計を用いて測定した。そしてこの現象は鋼の變態過程中における小加壓力（熱膨脹計による）によつて、塑性變形を生じ、その結

果現われる現象であると考えておられる。しかし私はかゝる見解には疑いを持つた。そこで、熱膨脹計によつて測定した加熱冷却による長さ變化の値と、これとは全く別個の試片を通常の真空加熱爐で加熱冷却し、比較測長機によつて測定した値とを比較してみた。Fig. 1 は直径 5 mm,

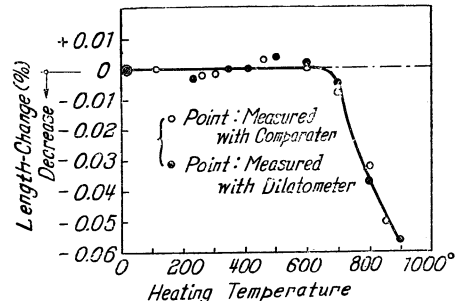


Fig. 1 Effect of measuring apparatus on the length-change due to heating and cooling for 0.26% carbon steel bar.

Remarks:—

Holding time at each temperature: 30min;
Specimen: dia. 5mm, length 83mm.

長さ 83 mm の 0.26% C 鋼棒について得た結果で、兩者の値はかなりよく一致している。また第1報および第2報で述べた長さ變化の値は大部分比較測長機または萬能測長機を用いて得たものである。従つてかような高温度に加熱し冷却することにより起る變形は、熱膨脹計附屬の小發條の小加壓力によるのではなく、自由状態に置かれた試片についても起るものであることが明らかとなつた。

2. 熱膨脹計による長さ變化の測定

0.10% C 鋼棒の熱膨脹計による測定結果については、第1報において述べたので、ここではさらに炭素含量の高い鋼棒（豫め 950° に 1 hr 焼鈍し爐冷したもの）について得た結果を述べる。用いた熱膨脹計は佐藤式のもので、丸棒試片の直径は 5mm、長さは 83~84 mm である。第2報によれば、加熱および冷却速度が 5~10°/min の範囲では、加熱冷却による變形におよぼす影響が同程度であるので、變態點附近的加熱および冷却速度をほぼ 6°/min に選んで測定した。

Fig. 2 は 0.26% C 鋼棒の場合である。これで見ると、 A_1 變態點よりも低い温度たとえ 530° または 600° に 30 min 加熱後爐冷した場合、常温における長さの變化はほとんど認められない。なお低温度において加熱曲線と冷却曲線が一致していないのは、熱電對の高温度側接點の温度と試片の温度との間に若干のずれがあるためであると考えられる。また變態點以上に加熱し冷却した場合、常温にお

(1) 玉置, 本誌, 19 (1955), 189.

ける長さは減少し、その加熱冷却を繰返すことによつて益々長さが減少する。これらのことは、前報までに述べ

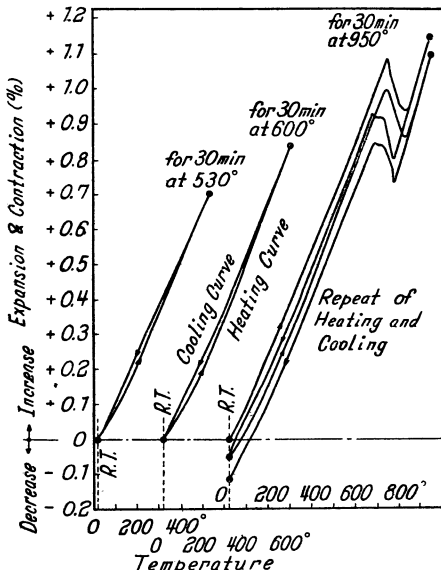


Fig. 2 Temperature-dilatation curves for 0.26% carbon steel bar. Remarks:— Rate of heating and cooling: about 6°/min. Specimen: dia. 5mm, length 83mm.

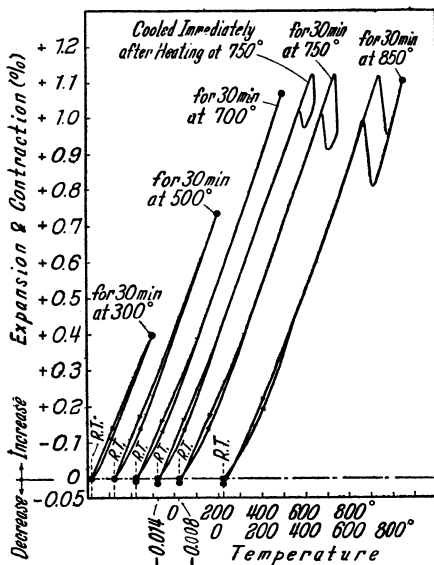


Fig. 3 Temperature-dilatation curves for 0.56% carbon steel bar. Remarks:— Rate of heating and cooling: about 6°/min, Specimen: dia. 5mm, length 84mm.

750° に加熱し、その温度に保持しないで徐々に徐冷した場合、常温における長さは 0.014% だけ減少した。また同じく 750° に加熱し、その温度に 30 min 保持後徐冷したものは A₁ 変態による収縮量が、徐々に徐冷した場合のそれに比して大きく、常温における長さの減少率は反対に小さく、0.008% となつた。このことは後報で述べる

きた低炭素鋼棒の結果と全く同じである。

Fig. 3 は 0.56% C 鋼棒の場合である。これで見ると、30 min 加熱し冷却した場合、長さはほとんど変化しないが、A₁ 変態点よりもわずかに低い温度 700° に 30 min 加熱し冷却した場合には、常温における長さの變化がわずかながら認められ、0.007% だけ減少した。次に Ac₁ 變態點直上の温度

豫定の「加熱冷却による變形の機構」を考える上に一つの據りどころを與えるものであるが、こゝでは現象のみを記して、これ以上この問題に觸れないことにする。

Ac₁ 點以上の温度たとえ 850° に 30min 加熱し冷却した場合も同様に長さが減じ、0.013% の減少となつた。さて第 1 報および第 2 報によれば、この程度の炭素含量を有する直径 15 乃至 20mm, 長さ 50 乃至 70mm の炭素鋼棒の場合には、變態點以上の加熱冷却によつて長さが増加するかまたはほとんど變化しなかつた。従つてこゝに直径 5mm, 長さ 84mm の丸棒試片が、變態點以上の加熱冷却によつて長さの減少をきたしたのは、試片の寸法形状の影響のためであると考えられる。

Fig. 4 は 0.84% C 共析鋼棒の場合である。この場合も加熱温度 300° または 500° に 30min 保持後徐冷したものは、長さがほとんど變化しなかつたが、A₁ 變態點よりわずかに低い温度 700° に加熱し、30min 保持後徐冷したものは、長さがわずかながら減少し、-

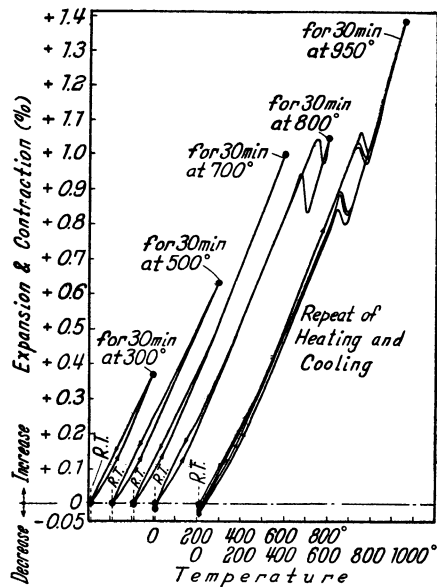


Fig. 4 Temperature-dilatation curves for 0.84% carbon steel bar.

Remarks:— Rate of heating and cooling about 6°/min, Specimen: dia. 5mm, length 84mm.

0.006% であつた。また Ac₁ 變態

點以上に加熱したものは、徐冷後長さが減少し、繰返えし加熱冷却によつてその長さが益々減少した。これらの傾向は上記の 0.56% C 鋼棒の場合と同様で、第 1 報および第 2 報で述べたような太くて短い共析鋼棒では、加熱冷却によつて長さが増加したにもかかわらず、本報で扱つた細くて長い共析鋼棒では長さが減少するのは、丸棒試片の寸法の影響によるものであると考えられる。

Fig. 3 および Fig. 4 の結果から、0.56% C 鋼および 0.84% C 鋼の直径 5mm, 長さ 84mm 丸棒試片について、各温度に 30 min 加熱後徐冷せる場合、常温における長さの變化と加熱した温度との關係を求めると Fig. 5 のようになる。圖の Ac₁ 變態點直上までの長さ變化の傾向は、第 2 報に示した Fig. 6 の 0.72% C および 1.10% C 鋼の直径 15 mm, 長さ 70mm 試片の場合における Ac₁ 變態點

直上まで加熱冷却した場合の傾向と一致している。

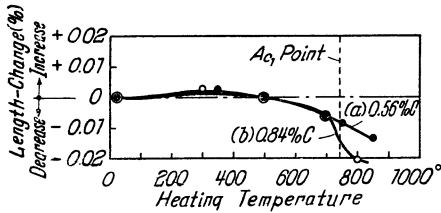


Fig 5 Relation between length-change after cooling and heating temperature for high carbon steel bars.

Remarks:—

Curve(a)...for 0.65% carbon steel bar.

Curve(b)...for 0.84% carbon steel bar.

Holding time at each heating temperature: 30min, Rate of heating and cooling: about 6°/min, Specimen: dia. 5mm, length 84mm.

3. 丸棒試片の寸法および形状の影響

豫め 95° に 1hr 焼鈍後爐冷した丸棒を、再び 95° に加熱し、30 min 保持後爐冷（そのさい變態點附近の加熱および冷却速度は約 6°/min）した場合、その加熱冷却による長さの變化におよぼす炭素含量および丸棒試片の寸法の影響を示すと Fig. 6 のようになる。この圖で、直径

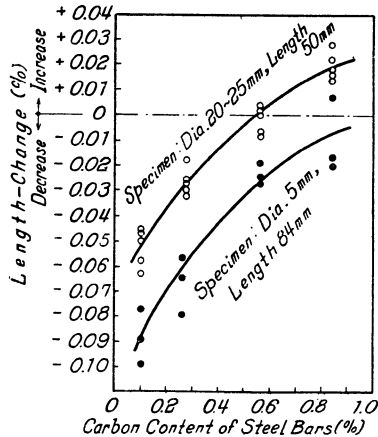


Fig.6 Effects of carbon content and dimension of carbon steel bars on length-change due to cooling after heating at 950°.

Remarks:—

Holding time at 950°: 30min, Rate of heating and cooling: about 6°/min.

の丸棒試片については、本報上記の熱膨脹計を用いて測定した試片と同じ寸法のもので、0.10% C 鋼棒、0.26% C 鋼棒および 0.84% C 鋼棒の値は熱膨脹計を用いて測定し、0.56% C 鋼棒の値は比較測長機を用いて測定して得たものである。

この圖からわかる通り、直径 5mm、長さ 84mm の丸棒試片は、直径 20~25mm、長さ 50mm の丸棒試片に較べて、何れの炭素含量の場合にも同じ程度だけ、長さが減少している。そして 0.56~0.84% C 鋼については、徑 20

mm、長さ 50mm 丸棒試片の場合、長さが増加しているのに対して、徑 5mm、長さ 84mm 丸棒試片の場合には、長さが減少している。なおこれらの丸棒試片の両端は、試片の軸に直角に切斷した平面であつた。

さて熱膨脹計による測定結果によれば、極低炭素鋼棒はほとんど A₃ 變態のみを行い、A₃ 變態の溫度區間が廣く、A₃ 變態による加熱のさいの收縮量、冷却のさいの膨脹量が大きい。また共析鋼棒は A₁ 變態のみを行い、A₁ 變態は一定溫度で起り、A₁ 變態による加熱の際の收縮量および冷却の際の膨脹量は、A₃ 變態に較べて小さい。そしてその中間の炭素含量を有する炭素鋼棒は、A₁ および A₃ 變態を行い、炭素含量の増加と共に A₁ 變態量が増加し、A₃ 變態量が減少して、A₁~A₃ 變態の溫度區間が狭くなり、A₁ および A₃ 變態による加熱の際の收縮量および冷却の際の膨脹量が小さくなる。従つて Fig. 6 に、第 2 報に述べた事實をも想起し、次の如く解釋される。入手した熱間壓延鋼棒の壓延方向、すなわち帶狀組織の方向に軸を有する丸棒試片を採取して、この試片を變態點以上に加熱し冷却した場合には、まず試片の顯微鏡組織の影響によつて、ほとんどフェライトのみからなる極低炭素鋼棒は、その長さが減少し、炭素含量が増加するにしたがつて、フェライトの量が減少しパーライトの量が増加すると、その長さの減少率は小となり、ほとんどパーライトのみからなる炭素鋼棒はその長さが反對に増加する。次に試片の顯微鏡組織とはほど無關係に、たい試片の寸法および形状のみの影響によつて、何れの炭素鋼の場合も同じように、長さが變化する。そして實際の場合には、この二つの因子の綜合的結果として、試片が變形するものと考えられる。

最後に試片の形状および寸法の兩者の影響を調べるために、第 2 報の Fig. 1 に示したように、丸棒試片の兩端を頂角 90° の圓堆形とし、尖端を 3mm 半径で丸味をつけ、長さ寸法を種々變えた試片を用いて、900° に 1hr 加熱し冷却した場合の加熱冷却による長さの變化を萬能測長機によつて求めた。その結果は Fig. 7 に示す通りである*。

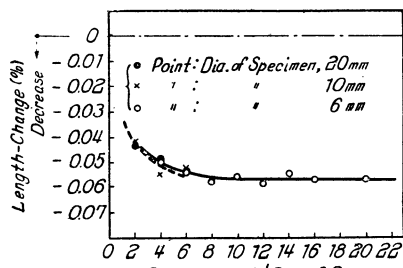


Fig. 7 Effect of dimension of 0.08% carbon steel bar on length-change due to cooling after heating at 900°.

Remarks:—

Holding time at 900°: 1hr, Rate of heating and cooling: 4°/min.

この場合用いた試片の炭素含量は 0.08% で、豫め 920° に 30 min、ダライ粉を填めた函中で燒準し、爐外で函のまま放冷した。また加熱および冷

* Fig. 7 は豊和工業株式會社宮島清一君および渡邊浩孝君の御助力によつて得られたものである。

却の速度は $4^{\circ}/\text{min}$ とした。試片の直径は 20mm, 10mm および 6 mm とし、長さ と 直径 と の 比 を 横 軸 と した。これで見ると、長さ と 直径 と の 比 が 8 以上 の 場 合 に は、長さ の 減少 率 に ほとん ど 變 り が ない が、その 比 が 8 以下 の 場 合 に は、値 が 小 と なる に した が つて、すなわち 試 片 が 太 く 短 か く なる に した が つて、加熱 冷却 に よる 長さ の 減少 率 は 小 と なる。この 傾 向 は Fig. 6 に 示 した 結 果 と 同 じ である。しかし Fig. 7 に お いて 直径 20mm, 長さ 40 mm (長さ/直径=2) 試 片 の 長さ の 減少 率 が 0.044% で 直径 6 mm, 長さ 102 mm (長さ/直径=17) 試 片 の 長 さ が 0.057% である の に 對 して、Fig. 6 に お いて は 0.10% C 鋼 棒 の 径 25mm, 長さ 50mm (長さ/直径=2) 試 片 の 長さ の 減少 率 が 平均 0.053% で 径 5mm, 長さ 84 mm (長さ/直径=17) 試 片 の 長 さ が 平均 0.085% と な っ て いる。すなわち Fig. 6 の それ ら の 値 が Fig. 7 の それ ら よ り も かなり 大 き く な っ て いる。この 兩 者 は 材 料、寸 法 お よ び 處 理 條 件 が 異 なる の で、兩 者 の 充 分 な 比 較 は 困 難 である が、丸 棒 試 片 の 兩 端 の 形 状 の 相 異 が かなり 影 響 して いる よう に 思 わ れ る。極 端 な 場 合 と して 試 片 が 全 く 球 形 で、一 様 な 顯 微 鏡 組 織 を 持 っ て いる なら ば、その 球 状 試 片 は 加熱 冷却 に よ っ て 寸 法 變 化 を 生 じ ない であ ろ う。從 っ て 試 片 の 形 状 が 球 形 に 近 い も の ほど、寸 法 變 化 が 小 と なる と 考 え ら れ る。さて Fig. 6 で 用 いた 丸 棒 試 片 の 兩 端 は、試 片 の 軸 に 直 角 な 平 面

である の に 對 し、Fig. 7 で 用 いた 丸 棒 試 片 の 兩 端 は 頂 角 90° の 圓 堆 形 で かつ 尖 端 を 丸 く して あり ます の で、Fig. 7 で 用 いた 丸 棒 試 片 の 長 さ が Fig. 6 で 用 いた も の よ り も 球 に 近 い。從 っ て 形 状 の み の 影 響 に よ っ て は、Fig. 7 の 場 合 に お ける 長さ の 變 化 の 長 さ が、Fig. 6 の 場 合 に お ける よ り も 小 さ い と 考 え ら れ る。

IV. 總 括

諸 實 驗 結 果 を 要 約 す る と 次 の 通 り である。

(1) 炭 素 鋼 棒 を 變 態 點 以上 に 加熱 し 冷却 し た 後 の 變 形 は、本 質 的 に 熱 膨 脹 計 附 屬 の 小 變 形 に よ っ て 起 る も の で は ない。

(2) 丸 棒 試 片 が 細 く 長 く な る と、その 炭 素 含 量 に か ら わ ら ず、試 片 の 長 さ は 加熱 冷却 に よ っ て 減少 す る 傾 向 に あり ます。しかし 試 片 の 長 さ と 直径 と の 比 が 一 定 程 度 以上 に な る と、その 影 響 は ほとん ど 一 定 と なる。また 試 片 の 形 状 が 球 に 近 く なる ほど、か よ う な 變 形 は 小 さ く なる。

(3) 炭 素 鋼 棒 の 加熱 冷却 に よる 變 形 に お よ ぼ す 因 子 と して、顯 微 鏡 組 織 の 影 響 と 試 片 の 寸 法 形 状 の 影 響 と の 二 つ が 考 え ら れ る。

終 り に 臨 み 本 研 究 遂 行 に 當 り、終 始 懇 篤 な る 御 指 導 御 鞭 撻 を 賜 わ っ た 關 口 春 次 郎 教 授 に 深 く 感 謝 す る。また 種 々 御 便宜 を 與 え ら れ た 豊 和 工 業 株 式 會 社 に 對 し 謝 意 を 表 す る。