



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



繰返加熱による炭素鋼の機械的性質の変化について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 三浦, 寛 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3516

繰返加熱による炭素鋼の機械的 性質の変化について*

三 浦 寛**

On the Changes in the Mechanical Properties of Plain Carbon Steels by Thermal Cycling

Hiroshi Miura

Abstract

The changes in the mechanical properties of three kinds of plain carbon steel (0.09, 0.32 and 0.59% C) by thermal cycling below A_{c1} were investigated. The maximum heating temperature of thermal cycle was 690°C and the holding time was 4 minutes. In order to find out the characteristic feature of the changes in the mechanical properties by thermal cycling, the changes in the mechanical properties by steady iso-thermal heating were compared with those by thermal cycling.

The result obtained were summarized as follows;

(1) The rate of changes in the strength and ductility by thermal cycling was more than three times as fast as that by steady heating. The important characteristic feature of the changes in the mechanical properties was the marked increase in the Charpy impact value by thermal cycling. The changes in the mechanical properties was increased with increase of the rate of thermal cycling.

(2) In the case of thermal cycling, the strength and the ductility value of materials having the same hardness as steady heating were higher than those of steady heating.

(3) The ratio of area of brittle fracture at 0°C was increased with increase of thermal cycles. The impact value in the low temperature range was decreased but that above room temperature was increased remarkably. However, the ratio of brittle fracture above room temperature and transition temperature was increased, too.

I. 緒 言

鉄鋼材料を繰返加熱した場合の機械的性質の変化について検討した研究はこれまで数多く報告されている。たとえば、Coffin¹⁾は薄肉中空円筒型の試験片を用いて18-8型ステンレス鋼の繰返加熱を行ない、材料の靱性は変化しないと報告している。平ら²⁾は中空円筒型の試験片を用いて、クリープと繰返加熱とを比較し、加熱時間が100分の場合、低炭素鋼の伸びの減少量は繰返加熱の場合のほうが大きいと報告している。川崎ら³⁾は中実円筒型の試験片を用い、

* 1966年4月日本金属学会第58回講演大会に発表

** 元本学助教授、1970年5月29日死去

繰返加熱による低炭素鋼の機械的性質の変化を調べ、最高温度が720°Cの繰返加熱を1,000サイクル行なうと引張強さと伸びが減少すると報告している。繰返加熱による硬度の変化については藤原⁴⁾や渡辺ら⁵⁾の報告がある。

しかしながら、これらの研究はいずれも系統的なものではなく、熱疲労によって割れが発生する機構はまだ明らかにされていない。著者は繰返加熱によって材質が割れを発生しやすい状態に変化することが割れの発生機構と密接な関係をもつものと考え、繰返加熱による鉄鋼材料の材質の変化を系統的に検討することにより熱疲労の解明を試みているものである。このための予備的な研究として、著者は繰返加熱による炭素鋼の顕微鏡組織と機械的性質の変化について検討し、原組織(熱処理ままの組織)がフェライトとパーライトの場合の組織の変化に特色があることを報告^{6)~9)}した。

この報告は繰返加熱による機械的性質の変化の過程の詳細を調べることにより、機械的性質の変化における特色を明らかにし、繰返加熱によって脆化するか否かを実験的に検討することを目的として行なった実験結果に関するものであり、組織の変化との関係についても述べる。

II. 実験方法

供試材は市販の機械構造用炭素鋼、S55C (0.59% C, 0.67% Mn), S30C (0.32% C, 0.46% Mn) および S10C (0.09% C, 0.44% Mn) の丸棒 (17~19φ) である。これらの供試材を長さ130~160 mmに切断後、熱処理し、原組織をおもにパーライトよりなる組織、おもにフェライトよりなる組織、スフェロダイトおよびマルテンサイトなどに調整した。熱処理後、試験片の一端に小孔を明け、針金でつるして、「塩浴浸漬加熱—水冷方式」の繰返加熱を行なった。熱サイクルは「690°C×4 min, WC」であり、用いた塩浴炉は前報⁹⁾と同じである。試験片中心部の温度が690°Cまでに到達するのに要する時間は約180 secであり、時間—温度曲線も前報と類似しているため、加熱冷却方法の詳細は省略する。繰返加熱後、試験片より引張試験用の試料(10×10×50 mm)を採取して機械的性質を調べた。試験片の端部より硬度測定用の試料を採取し、ビッカース硬度を測定した。また、硬度測定面の顕微鏡組織の観察も行ない、ポイントカウンティング法により組織解析を行なった。

なお、繰返加熱の場合の特色を明らかにするため、定常的加熱(恒温連続加熱: 690°C×thr, WC)を行なった場合の機械的性質も調べた。

III. 実験結果および考察

1. 原組織がおもに層状パーライトよりなる場合の繰返加熱による機械的性質の変化

Fig. 1は原組織(符号: HT)が層状パーライトと初析フェライトよりなる供試材, S55C

(0.59% C 鋼と略する) の繰返加熱による機械的性質の変化を示したものである。図中には「簡便法」⁹⁾ で測定したパーライトの粒状化率 (Sph) とフェライト量 (F) もプロットした。Fig. 1 で明らかなように、繰返数の増加とともにパーライトの粒状化が進行し、硬度と引張強さは連続的に減少する。降伏点は 100 サイクルまで比較的急激に減少し、その後は著しく変化しない。衝撃値と絞り率は連続的に増加する。伸びは 300 サイクルまで比較的急激に増加し、300 サイクル以上では増加が緩慢となる。すなわち、繰返数の増加に伴い軟化し、引張強度が低下し、靱性が改善される。これらの機械的性質の変化のおもな原因は層状パーライトの粒状化によるものと考えられる。500 サイクル付近にみられる降伏点がわずかに上昇する傾向は原組織をスフェロダイトにした場合にも認められ、低炭素鋼ではこの傾向が著しくなる。この点については後述する。なお衝撃試験片は 2 mm U 型切欠試験片であり、試験温度は 0°C である。衝撃値のプロットは 2 測定値の平均値である。

原組織がおもに微細パーライトよりなる場合、スフェロダイトの場合およびマルテンサイトの場合の繰返数と機械的性質の関係はいずれも原組織がおもに層状パーライトの場合と同じ傾向であった。

繰返加熱により試験片の表面はわずかに酸化されるが、いずれの試験片も熱疲労のクラックは認められなかった。繰返加熱により試験片の長さが減少するので、繰返数が 800 サイクル以上の試験片では同じ寸法の材料試験用の試料の採取が不可能となり、実際上は 800 サイクル以上の機械的性質の測定は不可能であった。

一方、定常的加熱の場合の加熱時間と機械的性質の関係 (図は省略) は繰返加熱の場合と類似して、変化の速さが著しく緩慢であった。繰返加熱の場合と異なる点は加熱時間が 100 hr 以上になると靱性が低下することである。このおもな原因は定常的加熱の場合は粒界に析出したセメントイトが粒状化することなく、成長して粒界に網目状に分布するためと考えられる。

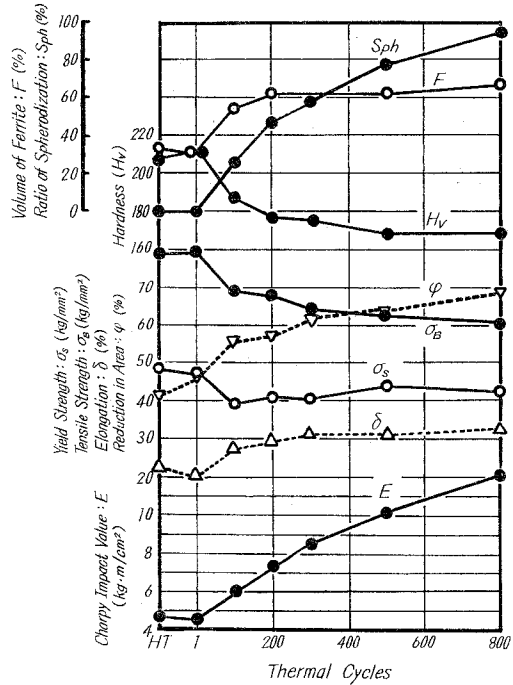


Fig. 1. Relation between the mechanical properties and the structure of 0.59% carbon steel, and number of thermal cycles. Thermal cycle; 690°C×4 min. WC.

2. 原組織がフェライトよりなる場合の繰返加熱による機械的性質の変化

Fig. 2 は原組織がおもにフェライトよりなる供試材, S10C (0.9% C 鋼) の繰返加熱による機械的性質の変化を示したものである。図中にはパーライトの粒状化率 (Sph), 「全数法」⁹⁾ で測定した微粒セメントタイト⁹⁾ の数 (cf) および横断法で測定した結晶粒数 (n) の測定結果もプロットした。**Fig. 2** によって明らかのようにパーライトの粒状化は急激に進行し, 100 サイクルで粒状化が完了する。なお, 原組織の層状パーライトの量は7%である。硬度は1サイクルで急激に上昇後, 50 サイクル付近で減少し, 50 サイクル以上ではむしろ増加の傾向を示す。降伏点は1~100 サイクルが減少, 100 サイクル以上では逆に増加している。引張強さの変化も降伏点の場合とほぼ同じ傾向であり, 200~300 サイクル間にわずかな上昇過程がみられる。一方, 衝撃値 (試験片, $7 \times 10 \times 55$ mm, 2 mm U 型切欠, 試験温度 0°C) は繰返数の増加とともに連続的に増加し, パーライトの粒状化の完了後も衝撃値の増加は継続している。伸びと絞りの変化は衝撃値の場合と同じ傾向なのでプロットは省略した。

層状パーライトの粒状化は100サイクルで完了するので, 100サイクル以上における硬度, 降伏点および衝撃値の増加およびこれらの相対的關係はパーライトの粒状化によっては説明できない現象であり, 繰返加熱を受けた低炭素鋼に認められる重要な現象である。一般的には, 硬度や降伏点が増加するならば衝撃値は減少すると考えているが, **Fig. 2** においては逆の挙動を示している。このような現象は通常の熱処理を行なった材料にはみられない特異な現象である。100サイクル以上で硬度, 降伏点および衝撃値が増加することはフェライトが繰返加熱によって強化されたことを示すものと考えなければならない。この強化因子としては微粒セメントタイトの析出, フェライトの細粒化現象およびフェライトの微細構造の変化¹⁰⁾などを挙げる事ができる。定性的ではあるが, これらの因子のフェライトの強度におよぼす影響について若干の考察を試みることにする。

Fig. 2 に示したように, 微粒セメントタイトの数の増加は100サイクルで完了する。一方, 結晶粒数は繰返数の増加とともに増加するので, 繰返数が著しく多くなると, フェライトの強

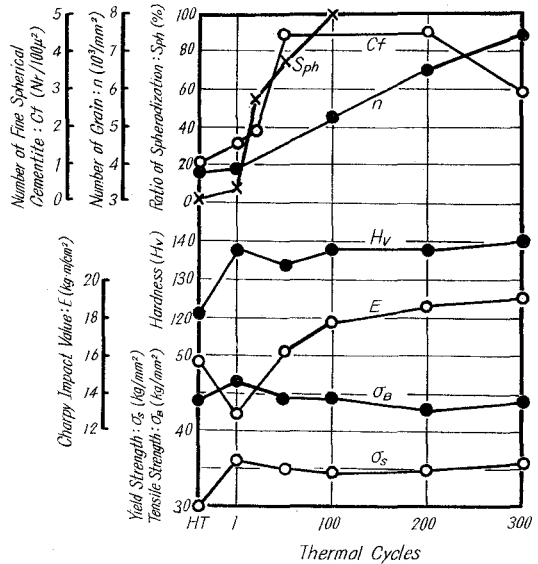


Fig. 2. Relation between the mechanical properties and the structure of 0.09% carbon steel, and number of thermal cycles. Thermal cycle; $690^\circ\text{C} \times 4$ min. WC.

度は微粒セメントイトよりは細粒化の影響をより多く受けるものと考えられる。

Photo. 1 に示すように、繰返加熱によって生じた亜粒界は光学顕微鏡で観察しうる程度のもので、新しい亜粒界を通常の粒界と同じものと仮定し、Petch¹¹⁾ の関係式によって細粒化現象の降伏点におよぼす影響を検討してみる。

Petch の関係式

$$\sigma_i = \sigma_0 + K_y \cdot d^{-1/2}$$

の結晶粒の直径 (d) は本実験の場合 1~300 サイクル間で 0.0016~0.0011 cm と変化する。 σ_0 と K_y の常温における値は Gouzon¹²⁾ の

$$\sigma_0 = 4.9 \sim 11.2 \text{ kg/mm}^2 \quad K_y = 0.60 \sim 0.84 \text{ (kg/mm}^2\text{) cm}^{1/2}$$

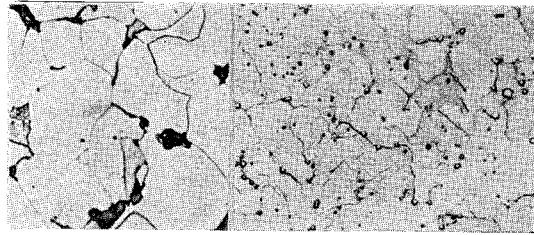
の最大値と最小値をとり、(1) 式によって σ_i を求めると、計算上は 300 サイクルで 3.0~4.2 kg/mm² の降伏点の増加が期待される。一方、実測値の σ_i の増加量は 3.8 kg/mm² であり、(1) 式で計算した増加量とほぼ同じ値である。上述の比較では 1 サイクルの硬化現象とパーライトの粒状化の影響を無視している点で問題があるが、200~300 サイクル間で引張強さも増加しているのでフェライトの細粒化現象が降伏点を増加する重要な因子であると考えて大過ないであろう。

Fig. 2 において最も重要な問題は硬度と引張強度が増加する過程において衝撃値が増加する特異な現象である。**Fig. 1** の 0.59% C 鋼の場合にもこのような傾向がみられた。図は省略するが S25C (0.25% C) の場合にも同じ現象が認められた。この特異な現象については後述する。

定常的加熱の場合 (図省略) の機械的性質の変化は全体的傾向として変化が緩慢であり、繰返加熱の場合のような特異な現象は認められなかった。すなわち、加熱時間 4 min で硬度、降伏点および引張強さは急激に増加し、加熱時間の増加とともに単調に減少する。衝撃値は加熱時間 4 min で急激に減少後、わずかに増加の傾向を示すが、繰返加熱の場合のように原組織の衝撃以上にはならない。

3. 繰返頻度の機械的性質におよぼす影響

Fig. 3 は機械的性質におよぼす繰返加熱の効果を調べるために行なった実験結果であり、単位時間当りの繰返数をかえて、繰返頻度 (繰返速度) の繰返加熱後の機械的性質におよぼす影響を調べた。保持時間合計はいずれも 10 hr であり、Nr/10 hrs=1 は 690°C×10 hr の定常的加熱に相当する。**Fig. 3** の機械的性質は C 量および原組織の如何を問わず、いずれの場合



As annealed after 300 cycles

Photo 1. Microstructure and thermal cycling.
Specimen: same as Fig. 2, (×600).

も繰返頻度が大きくなると靱性が増加している。そして、硬度、降伏点および靱性の間には前述した特異な現象が認められる。写真は省略するが、0.09% C 鋼は繰返頻度が大きくなるほどパーライトの粒状化が急速になり、亜粒界の数が増加し、微粒セメントタイトの数が増加する。0.59% C 鋼の場合は繰返頻度が大きくなるほど、パーライトの粒状化が急速になる。また、いずれの場合も繰返頻度が大きくなるほど、繰返加熱による試験片の長手方向の収縮率が増加する。

上述のように、繰返頻度が増加するほど材質の変化が急速になるので、熱疲労現象を検討する場合には繰返頻度を重要な因子として考慮する必要がある。

4. 繰返加熱による機械的性質の変化の特色について

繰返加熱の場合の機械的性質の変化には硬化過程に靱性の増加が認められるなどの特異な現象があることは前述したが、これ以外にも2~3の特色が認められた。

Fig. 4 は Hollomon ら¹³⁾ の関係式によって繰返加熱と定常的加熱後の機械的性質を比較した1例である。この関係式は焼入鋼のための式であるが、図が示すように

1サイクルのプロットを除くと、定常的加熱の場合にはかなり直線性がよい。繰返加熱後の引張強さと衝撃値はいずれも時間(t)の少ない側に位置し、変化が急速であることを示している。繰返加熱の衝撃値の曲線は急激な勾配で増加し、定常的加熱の場合とは異なった現象が進行していることを暗示している。硬度や降伏点の場合の図は省略したが、定常的加熱の場合と比較すると、いずれも引張強さの場合と同じ関係であり、プロットは1サイクルを原点とした放射線上に位置する。そして、この放射線は繰返頻度が大きくなるほど左側へ移行する。組織の変化の場合のように補正保持時間⁴⁾によって繰返加熱と定常的加熱を比較すると、繰返加熱による

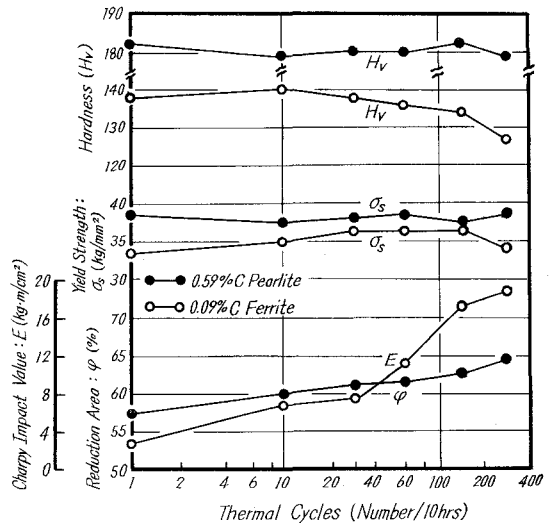


Fig. 3. Effect of the rate of thermal cycle on the mechanical properties of carbon steels. Holding time \times number of thermal cycle = 10 hrs.

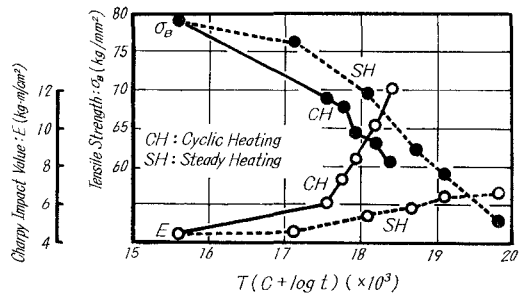


Fig. 4. Relation between $T(C + \log t)$ and the mechanical properties of 0.59% carbon steel after thermal cycling and steady isothermal heating. T ; temperature ($^{\circ}$ K), $c = 3.42$; constant, t ; calibrated holding time (hr).

機械的性質の変化の速さは定常加熱の3倍以上であった。

Fig. 5 は 0.59% C 鋼の繰返加熱および定常加熱後の機械的性質を硬度によって整理した図である。この図で明らかなように繰返加熱の場合（実線）のプロットと定常加熱の場合（点線）のプロットは離れていて、それぞれ別の直線上に位置する。同じ硬度で比較すると繰返加熱の場合は定常加熱の場合より引張強さも絞りも大きいのである。この相違は原組織がマルテンサイトの場合のほうがパーライトの場合より著しい。**Fig. 5** の硬度と絞りの関係に注目すると、繰返加熱の場合は定常加熱の場合と異なり繰返数が増加すると絞りが急激に増加し、曲線の勾配が大きくなるのがわかる。硬度と引張強さの間にも類似の現象が認められる。

上述のように繰返加熱後の機械的性質には通常の熱処理では認められないような特色

が認められる。これらの特色は析出相であるパーライトの粒状化やソルバイトの粒状セメントタイトの成長によっては説明することのできない現象なので、上述のような特色が生ずる原因は析出相以外の因子の影響によるものと考えなければならない。

5. 繰返加熱後の衝撃値についての実験的検討

Fig. 1~Fig. 3 に示したように、繰返加熱の場合には衝撃値が著しく増加することが特色の1つである。そして、この靱性の増加はある場合には硬度や降伏点の増加を伴う点において特異な現象と考えなければならない。前述 (**Fig. 1~Fig. 3**) の衝撃値はいずれも繰返数の増加とともに増加している。一方、降伏点は繰返数の増加とともに変化しないか、あるいは増加の傾向を示している。繰返数の増加によりフェライト量が増加するので、降伏点は減少すべきものと考えられる。したがって、繰返加熱の場合には降伏点の減少を妨げるか、あるいは増加するような因子が存在することになる。降伏点のみに注目すると降伏点の増加は脆化の徴候を示すと考えてもよいので、繰返加熱によって脆化する可能性を考えてよい。このため、繰返加熱による靱性の変化についてさらに詳細に検討した。

Fig. 6 は 0.32% C 鋼の繰返加熱および定常加熱後の衝撃値、脆性破面率および硬度の

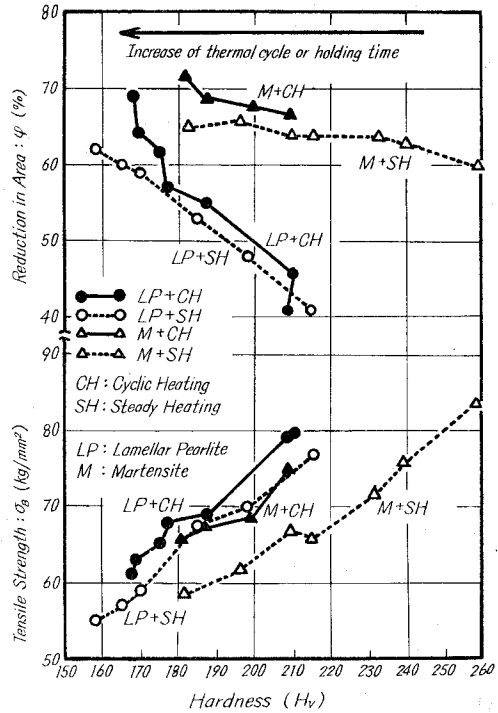


Fig. 5. Relation between hardness and strength and ductility of 0.59% carbon steels. Original structure; pearlite and martensite.

測定結果である。繰返加熱および定常的加熱は角柱型 (15×15 mm) の試験片を用いた。なお、角柱型の試験片を用いた場合は繰返加熱により、断面方向の収縮が著しくなり、長手方向の収縮は円柱型の試験片の場合より少なくなるので、衝撃値の変化を調べるのには好都合である。衝撃値 (衝撃試験片, 2 mm V 型切欠標準試験片, 試験温度 0°C) は 4~3 測定値の平均値である。繰返加熱の 200~300 サイクル間に硬度が上昇しているのは繰返加熱による熱ひずみによるものである。定常的加熱の場合に衝撃値が減少する理由については後述する。

Fig. 6 において重要な点は繰返加熱の場合には衝撃値の増加とともに脆性破面率も増加することである。一方、定常的加熱の場合には衝撃値の減少とともに脆性破面率が増加している。衝撃値の増加とともに脆性破面率が増加することは異常なことである。脆性破面率に注目すると繰返加熱によって本質的には脆化すると考えてよい。なお、0.09% C 鋼の場合には脆性破面率が著しく小さいため、そして、0.59% C 鋼の場合は脆性破面率が著しく大きいため、いずれの場合も繰返回数と脆性破面率の関係を検討することは困難であった。

Fig. 7 は Fig. 6 の原組織 (HT), 繰返加熱 1 サイクル (CH 1), 100 サイクル (CH 100) および定常的加熱 20 hr (SH 20 hr) の試験片の衝撃値および脆性破面率と試験温度の関係を示した図である。衝撃値はそれぞれの試験温度で 30 分保持して測定した 4~3 測定値の平均値である。CH 100 および SH 20 hr の試験片はそれぞれ繰返加熱と定常的加熱の場合の代表として選んだ試験片であり、いずれも衝撃値の上昇過程における試験片である。

Fig. 7 によると、CH 1 の衝撃値は HT よりわずかに減少している。HT と CH 100 とを比較すると低温域においては CH 100 の衝撃値が HT より小さく、常温以上の温度域では HT より衝撃値が大きい。しかし、脆性破面率は全温度域において HT より大きい。

CH 100 が常温以上の温度域で衝撃値が著しく増加するにもかかわらず、脆性破面率が HT より大きいことは異常な現象であり、非常に重要な実験結果である。脆性破面率が HT よ

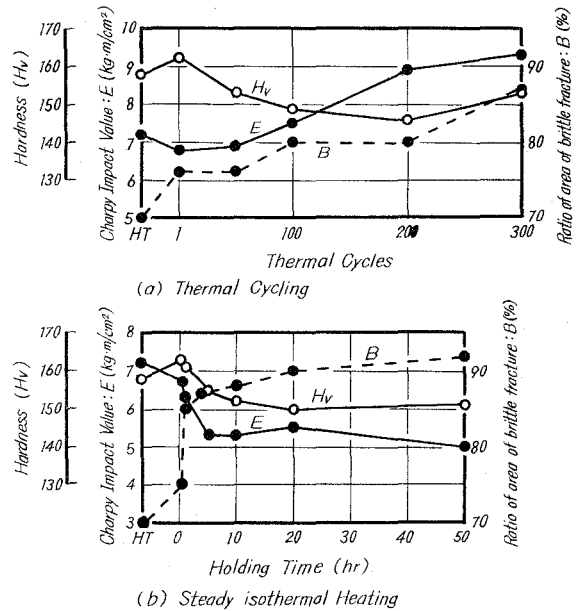


Fig. 6. Changes in the hardness, the Charpy impact value and the ratio of area of brittle fracture of 0.32% carbon steels by thermal cycling and steady isothermal heating. Thermal cycle; 690°C×4 min. WC. Holding temperature of steady heating; 690°C.

り大きくなることは、繰返加熱によって材質が脆化していることを示すものである。常温以上の温度域で衝撃値が著しく高くなる理由については後述する。一方、SH 20 hr は 60°C 以下の全温度範囲において HT より衝撃値が小さく、脆性破面率が全温度範囲において HT より大きいので、SH 20 hr の場合の衝撃値と脆性破面率の関係は通常の挙動を示していると考えてよい。

Fig. 8 は衝撃試験片と同じ試験片より採取した硬度測定用の試料を衝撃試験片と同じ条件で時効させた場合の時効硬化量である。これらの時効硬化量には室温に 3 カ月放置したための硬化量 (Hv で 4~10) を含んでいるが、いずれも試験温度で 30 分保持されることにより時効硬化している。CH 1 の場合は時効硬化により衝撃値が低下しているので通常の挙動と考えるとよい。SH 20 hr の場合にも 100°C 以上では時効硬化により衝撃値が増加しているの、CH 100 の衝撃値の増加のおもな原因は一種の過時効と考えられる。しかし、過時効のみによっては CH 100 の 20~80°C 間の衝撃値が著しく高いにもかかわらず、脆性破面率が HT より大きいことを説明することが困難である。すなわち、過時効によると仮定

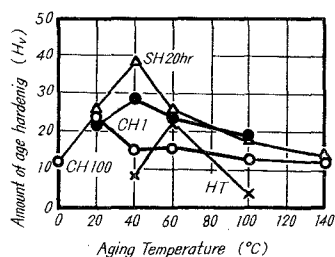


Fig. 8. Relation between aging temperature and amount of age hardening of the same specimens as Fig. 7. Aging time; 30 min.

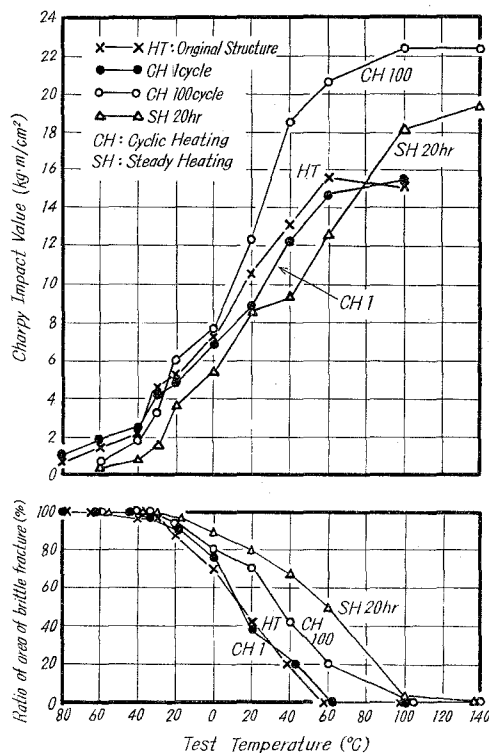


Fig. 7. Relation between test temperature and, V notch Charpy impact value and ratio of area of brittle fracture of 0.32% carbon steels by thermal cycling and steady iso-thermal heating. Holding time at test temperature; 30 min.

した場合、CH 100 の材質は著しく時効しやすく、脆性破面を発生しやすい状態であり、しかも、時効によって衝撃値が増加するような特殊な状態であればならない。このような状態は少なくともフェライトの C 原子が過飽和状態であり、炭化物の nucleation site となる転位や空孔などの格子欠陥の多い状態であればならない。しかも、顕微鏡組織か、あるいは格子欠陥の分布状態が脆性破面を発生しやすい状態であればならない。繰返加熱の場合は急冷の繰返しを受け、試験片の長さが収縮するので上述のような時効しやすい状態であると考えられる。Fig. 5 によっても CH 100 は最も時効

しやすい材質であると考えてよいので、過時効が衝撃値を増加する重要な因子と考えられる。繰返加熱によって試験片の密度が減少^{3),14)}するので、脆性破面率を増加する因子としてはきわめて微細な空洞やマイクロクラックのような比較的大きな欠陥が繰返加熱によって発生する可能性を考える必要がある。光学顕微鏡組織およびレプリカ電顕組織の観察によって上述のごとき欠陥の有無を調べたが、その存在を確認することができなかった。川崎ら³⁾は繰返加熱を行なった材料を超音波で観測し、マイクロクラックのごとき欠陥の存在を推測している。鶴戸ら¹⁵⁾は繰返加熱の塑性変形によって空洞が発生し、これらが連なってマイクロクラックを形成する機構を提唱している。しかし、これまでこのような欠陥の存在を確認した報告は見当たらない。

一方、定常的加熱の場合は粒界にセメントライトが析出し、網目状に成長する。そして、時効による硬化量も大きい (Fig. 6 と Fig. 8 参照) ので衝撃値が低くなり、脆性破面率も大きくなるものと考えられる。

Fig. 7 の最大吸収エネルギーの 1/2 を遷移温度 (TrE) として、 TrE を求めると繰返加熱 100 サイクルによって遷移温度が約 $10^{\circ}C$ 上昇している。この上昇は Fig. 2 に示した繰返加熱による細粒化、すなわち亜粒界の形成¹⁶⁾によるものと考えられる。

上述のように、繰返加熱による機械的性質の変化には通常の材料には認められないような 2~3 の特異な挙動が認められ、今後の研究に待たなければならない点が多い。しかし、繰返加熱によって低温における衝撃値が減少することおよび脆性破面率が增大することは、繰返加熱によって材質が脆化することを示す実験結果と考えられる。脆化の原因として、繰返加熱によって材料の微細構造が著しく変化するか、あるいは微細な空洞やマイクロクラックのごとき欠陥が発生する可能性があることを指摘したい。

IV. 総 括

亜共析炭素鋼を共析変態点以下で繰返加熱を行なった場合の機械的性質の変化を詳細に調べ、おもに繰返加熱による機械的性質の変化の特色について報告した。

熱処理により繰返加熱前の組織 (原組織) をおもにパーライトよりなる組織、おもにフェライトよりなる組織、スフェロダイトおよびマルテンサイトに調整して、「塩浴浸漬加熱—水冷方式」により、最高加熱温度が $690^{\circ}C$ の繰返加熱を行ない、繰返加熱により機械的性質の変化における特色の有無、および脆化の有無などを重点的に検討した。このため、定常的加熱 (恒温連続加熱) を行なった場合の機械的性質も調べた。得られた実験結果をとりまとめると次のとおりである。

(1) 繰返加熱による引張強度と靱性の変化の速さは定常的加熱の場合の 3 倍以上である。機械的性質の変化の重要な特色は繰返加熱によるシャルピー衝撃値の著しい増加である。繰返頻度の増加とともに機械的性質の変化が著しくなる。

(2) 繰返加熱を受けた材料は硬度が同じであっても定常的加熱の場合より引張強度と靱性のいずれも高い。

(3) 繰返数の増加とともに 0°C における脆性破面率が増加する。しかし、常温以上の衝撃値は著しく増加する。しかしながら、脆性破面率と遷移温度もまた増加する。

以上の実験結果より、繰返加熱によって材質は脆化した状態になるものと考えられる。

繰返加熱による機械的性質の変化の特色は地質のフェライトの細粒化現象や微細構造の変化などと密接な関係があるものと推測された。そして、繰返加熱により空洞やマイクロクラックのごとき比較的大きな欠陥が発生する可能性も考えられた。

このように、この報告で明らかにした繰返加熱後の機械的性質には難解な問題があり、かなり広範囲な系統的实验を行なわない限り速断を許さないものがある。

なお、引続き繰返加熱による微細構造の変化について報告する。

終わりに本研究に際し御助言をいただいた北海道工業大学萩原教授および室蘭工業大学金森教授に謝意を表する。

(昭46. 5. 13受理)

文 献

- 1) L. F. Coffin: Trans. ASME. **76**, 931 (1954).
- 2) 平・大南: 材料試験, **8**, 850 (1959).
- 3) 川崎・笹川・相沢: 材料試験, **10**, 215 (1961).
- 4) 藤原: 材料, **13**, 611 (1963).
- 5) 渡辺・柴崎: 材料, **12**, 599 (1963).
- 6) 三浦・大内: 日本金属学会誌, **30**, 361 (1966).
- 7) 三浦: 日本金属学会誌, **31**, 964 (1967).
- 8) 三浦: 日本金属学会誌, **31**, 970 (1967).
- 9) 三浦: 日本金属学会誌, **33**, 693 (1969).
- 10) 三浦: 日本金属学会, 昭和44年度春期(第64回・東京)大会にて講演, 講演概要集, 196 (1969).
- 11) N. T. Petch: JISI. **174**, 25 (1953).
- 12) J. Gouzon: Acta Met. **12**, 785 (1964).
- 13) Hollomon and Jaffe: AIME. **162**, 223 (1945).
- 14) 三浦: 室工大研報, **6**, 965 (1969).
- 15) 鴉戸口・朝田: 材料, **14**, 152 (1965).
- 16) J. C. Danko and Stout: Trans. Amer. Soc. Metals. **49**, 189 (1957).