結果が得られた。この場合陰極總面積は 8 cm^2 であつたから60分で約 0.03 g 當量が電着する。しかるに溶液は約 0.4 g 當量を含有するからこの程度の電着量では大體電着物の組成が一定で時間による變化はないとみなされる。なお新しい液では最初の15分位は電着組成が變化するから注意すべきである。

次に前記の條件で多數の實驗を行つたがそのうちから代表的の結果 Fig. 2 及び Fig. 3 に示した。Fig. 2 は 30° 又 Fig. 3 は 50° における結果である。電解液における Ni^{++}

と Fe^{++} の割合と電着物における Ni と Fe の割合とが等しければ兩圖において破線で示されるべきである。兩圖の結果より次のことが結論される。すなはち

III. 結 論

- (1) 一般に Ni より Fe の方が電着し易い。
- (2) 電流密度が大きければ Ni の電着率が増す。
- (3) 電流密度の減少に伴ひ Ni の電着率も著しく低下する。
- (4) 温度が高い方が Ni の電着率がよい。

鐵及び鐵合金の熱處理應力に關する 研究(第6報) 滲炭, 脱炭の場合

佐 野 忠 雄*

Tadao Sano : Residual Stress Restored in Carburized and Decarburized Steels Slowly Cooled and Quenched (6th report). On Residual Stress Measurement.

Some residual stress versus depth curves of heat treated steels are smooth while the others show minimum points. the occurrence of the minimum point in the curve is attributed to the unequal temperature of the Ar_1 , Ar' or Ar'' transformation in the specimen when its dimensions is large, or when its composition is not uniform by decarburization or carburization. The minimum point moves toward the center or surface of the specimen according to the carbon concentration or the treatment. These facts are shown in this report.

(Received November, 11, 1949)

I. 緒 言

前報告⁽¹⁾は主として試料内の應力分布曲線が單純な場合についてであつた。この際には試料の外表に最大應力を殘留するのでこれ等の事實を基として各種の事項について考察を行つた。本報は應力曲線に谷を生ずる場合に關するものであつて、試料は滲炭や脱炭を行つたものである。從來發表されている各種文獻⁽²⁾の殘留應力の結果にはその曲線に山や谷を生じ複雑なものであるが、著者の場合よりはるかに大なる試料についてであり、従つてその焼入能によつては試料の内外に組織の差を生じていることも考へられるに拘らず、それには觸れていない。これを見逃したのでは細かい考察は下し難い。Bühler⁽³⁾等の行つた直徑 50 mm の 0.3% 炭素鋼の試料ではその質量効果より考へて内外組織の異なることは明瞭であり、又著者も先の報告⁽¹⁾に於て組織

と應力の關係を求めた際またま 0.6% C, 3% Ni, 0.3% C をそれぞれ 950° に2時間加熱し 100° の水に焼入したところ Fig. 1 に示す如く殘留應力曲線に谷を生ずる結果を得た。これら試料の焼入後の顯微鏡組織をみるに、 0.6% C の場合には試料外表は“ソルバイト+フェライト”の組織を示し、内部に入るに従つて順次ソルバイト組織は減少し、中心部

Fig. 1 Residual Stress and Structure of Steels Quenched in Water at 100° from 950° .

* 京都大學理學部金相學研究室

(1) 著者, (第1報)本誌, 11(1947), 9號14; (第2報), 13(1949), No. 1, 17; (第3報), 13(1949), No. 1, 22; (第4報), 13(1949), No. 3, 19; (第5報), 13(1949), No. 6, 28.

(2) Bühler, Arch. Eisenhüttenwes., 6(1932), 283; 413; 7(1933)315; 359; 川口, 本誌, 8(1944), 578; 9(1945), 20; 菅野, 鐵と鋼, 30(1944), 19; 52.

(3) Bühler, Arch. Eisenhüttenwes., 6(1932), 413.

に於てはパーライトと相當多量のフェライトになつてゐる。又一方 3%Ni, 0.3%C では外表にトルースタイトとソルバイトを生じ、内部に行くに従つてトルースタイトは減少しフェライトを生じてゐる。著者が滲炭、脱炭試片を用ひたのは組織の不均一が曲線に谷を生ずる原因であると豫想されたからである。かような試片に關しては殆ど文獻⁽⁴⁾が見當らないが著者の得た結果はかなり興味深い。

II. 實驗方法並に試料

試料は 3% Ni 0.1%C 鋼を滲炭の又 1.3%C 鋼を脱炭の研究に使用した。各試料共 4×9×100mm の板狀試料に仕上げ、從來⁽¹⁾と同一方法により長さ方向の應力を測定した。滲炭試料脱炭試料共側面に銅鍍金を施し側面よりの滲炭、脱炭を防止した。滲炭の實驗には滲炭劑として“木炭 60%+BaCO₃40%”を使用し、滲炭箱には應力測定のため的小試片と共に滲炭の深さ、炭素濃度を決定するための小試片を同時に封入した。滲炭の深さは測微顯微鏡で測定し 4ヶ所の平均をとつた。脱炭の實驗は水素中加熱によつて行ひ、通じた水素量は 30cc/min の割合であつた。滲炭、脱炭共その處理前に試料を眞空中で 950°, 2 時間加熱焼鈍を行ひ均一にした。尚應力値の計算には各層の組成についてそれぞれのヤング率を用ひた。Table 1 には使用した試料の分析

Table 1

Specimens	C%	Ni%
3%Ni 0.1%C	0.10	2.95
1.3%C	1.28	—

結果を示す。その他はそれぞれ Si: 0.21%, 0.33%, Mn: 0.23%, 0.41%, P: 0.010%, 0.016%, S: 0.010

%, 0.012% である。

III. 結 果

緒言で述べた如く試料内外の組織に差があることは各部分の變態温度の異なることを意味するから變態時の強度の差により變形の差を生じ、従つて各部の殘留應力の異なることが想像される。

(i) 滲炭試料の徐冷後の殘留應力曲線 3%Ni, 0.1%C 鋼試片を 950° にて 3, 5, 8, 10, 15 時間, 900° にて 3, 5 時間, 850° にて 5 時間それぞれ滲炭後滲炭箱中に徐冷(3°/1')したものの應力を測定した。結果を Fig. 2 に示す。同圖(i)は試料内の滲炭狀況である。又各處理に於ける滲炭深さは Fig. 3 に示した。

もとの試料を 950° より徐冷した後の殘留應力は Fig. 2 (ii) に示す如く値は小さいが尚試料外表に引張り中心部に壓縮の單純分布を示す。しかるに滲炭後は同様の徐冷でも大なる應力が殘留し、しかも曲線に谷を生じ、谷は滲炭深さの大なるもの(従つて表面滲炭度大)程内部に滲炭深さの少いもの程試料外表近くに生じてゐる。又外表に出来る應力は (iii) に示す如く滲炭深さ大なるものは引張りとなり

深さ小なるものは壓縮となつてゐる。Mellor⁽⁵⁾によると、Ni: 3%, C: 0.1% を含む鋼の共析點は C% 約 0.7% である。Fig. 2 をみると各應力曲線の谷の位置が何れも滲炭試料内の共析部附近に生じてゐる如く見える。これは試料内

Fig. 2 (i) Influence of the Time and Temperature on the Carbon Distributions in the Specimens by Carburization.

(ii) Residual stress after Slow-cooling of the Specimens Carburized at 950° for Various Times.

(iii) Residual Stress after Slow-cooling of the Specimens carburized at Various Temperatures for 5 hours.

Fig. 3 Influence of The temperature on Case Depth of 3%Ni 0.1%C Specimen(C+BaCO₃ 60%)

(4) 上田, 本誌, 6(1942), 447.

河田, 本誌, 6(1942), 487.

(5) Mellor, Comprehensive Treatise Inorg & Theoretical Chem., XV, 266.

何れの部分の變態も粘性的範圍であつて、 A_{r1} 變態量の相違あるのみであるが、共析部附近が A_{r1} 變態量の最大部分であつたからで、各部の A_{r1} 變態量の差が應力曲線に差を生ぜしめてゐるものの如くである。尙この際 950° 處理の各曲線の谷は 5 時間のものが最も低く、5 時間以上では谷が高くなつて來ると共に外表の引張應力値は大となつてゐる。

(2) 脱炭試料の徐冷後の殘留應力曲線 試料内の濃度分布が滲炭と逆の脱炭後の試料に於ても曲線に谷を生ずることが想像される。Fig. 4 に 1.3% C を 950° で 0.3, 5, 8 時間水素氣流中で脱炭を行ひ爐中で徐冷 ($5 \sim 10^\circ/\text{hr}$) せるものの應力曲線を示す。同圖上部はその際の試料内濃度分布

Fig. 4

である。即ち脱炭した試料では滲炭の場合同様應力曲線に谷部を生じ (3 時間では谷は試料中心に來る。しかし 0 時間とは原因が異り炭素濃度大なる未反應内部が多いからと考へられる。) その位置は滲炭とは逆に脱炭時間の長くなる程左にずれ且つ谷は低くなつてゐる。従つて 3.5 時間の谷部は試料内の共析部よりは右にズレてゐる。

以上の結果より滲炭或は脱炭後の試料では徐冷後の應力曲線に谷を生じ、その大さ位置は試料内濃度分布によつて (従つて A_{r1} 變態量の相違) 影響されることが判つた。従つて少くとも谷を生ずる場合について考察を下すには組織の不均一を考慮すべきで今迄の文獻ではこれが見逃されている。尙滲炭、脱炭兩試片の結果を比較するに滲、脱炭前の徐冷試料は殆ど同様の分布曲線を示すにも拘らず滲脱炭後の徐冷では等しく壓縮部に谷を生じてゐるものゝ、

(i) 脱炭試料の應力は滲炭に比して常に低い。

(ii) " " は外表引張り内部壓縮であり、滲炭

試料では内部は常に引張りで外表は滲炭層うすきときは壓縮なるも滲炭層大となれば引張りとなつてゐる。

(iii) 従つて脱炭より滲炭試料の方が谷が狭しい。

以上の相違は兩試料の最初の炭素量にもよるものと考へられる。後の Fig. 5, Fig. 7 に示す如く滲、脱炭後焼入れる時は上記の (i) は逆になり、(ii) はそのまゝであり、(iii) は脱炭度によつては複雑で簡單には云へない結果となつてゐる。これらの點は興味深い問題である。

(3) 滲炭並に脱炭試料の焼入れ後の殘留應力 次に滲炭或は脱炭後焼入れを行つた場合について述べる。

(a) 油焼入の場合 Fig. 5 は 3% Ni, 0.1% C を 950° にて各時間滲炭後 Fig. 6 は $850^\circ, 900^\circ$ で脱炭後又 Fig. 7 は $750^\circ, 850^\circ, 950^\circ$ にて各時間脱炭後それぞれ 1000° より 20° の油に焼入れた結果を示す。焼入れ後の組織は炭素濃度高き過共析の一部を除き全部マルテンサイト組織を示す。(なおこれら試料の滲炭或は脱炭後の濃度勾配は Fig. 2, Fig. 4 に示してある。) Fig. 5~7 をみるに先の徐冷後の曲線と同じく應力曲線に谷を生じ滲炭或は脱炭量の異ると共に谷部の位置が變化してゐる。即ち 950° 滲炭の Fig. 5 をみるに、滲炭時間の増し滲炭深さの大なるもの程その谷部は右にずれ、滲炭のごく浅い範圍を除き谷は漸次高くなる。(即ち右につれ上に上る。) 又滲炭時間の増すと共に谷部も不明瞭となつてくると同時に試料表面には引張應力を生ずるようになる。滲炭温度の低く Fig. 6 の $850^\circ, 900^\circ$ のものでは、その應力曲線は 950° に類似するが、谷部の位置が左にずれ且つ外表は壓縮應力を示す。これらの焼入れ後の結果を徐冷後のものと對照して比較するに、 950° の短時間滲炭のものの外表の應力値が壓縮値となり、一般に外表の値が徐冷と異なる以外は谷部もその位置が殆ど等しい。次に Fig. 7 の脱炭の場合をみるに 950° の脱炭では脱炭時間の増加する程曲線の谷部は左にずれ、谷は低くなる。(即ち左下にづれる。) 脱炭後焼入れしたものの外表の引張り應力値は徐冷に比較し著しく大であり且つ滲炭試料に比較しても大きい。(これは一般に脱炭試料が割れ易く滲炭すれば割れにくくなることゝよく一致する。) このことは更に同じ脱炭であつても $750^\circ, 850^\circ$ の如き温度で脱炭を行ひ、試料表面の濃度と次層の濃度に相當に差のある試料を焼入れすると更にその値が大きくなつた。これを要するに曲線の谷部は滲炭深さ大となり、或は脱炭深さ小となるに従ひ右にずれ、上に上る。(滲炭のごく浅い範圍を除く) 尚試料内の濃度が均一となるに従ひ外表の應力値はそれ以前の値よりも減少することが Fig. 5 の 20 時間以上の滲炭或は Fig. 7 の脱炭の結果よりわかる。

(b) 水焼入の場合 Fig. 8 に示す如く滲炭後 20° の水に焼入れた場合は同一滲炭の油冷のものに比較して何れも谷部は右上にズレ外表の値も多きく且つ試料外表には $950^\circ, 5$ 時間處理のもので引張應力を示す。又 $900^\circ, 5$ 時間のももの Fig. 6 の同處理の油冷のものに比較し谷部が右にずれてゐることは 950° 處理のものと同様であるが、却つて 950° ,

Fig. 5 Residual Stress of the Specimens Quenched in Oil at 20° from 1000° after Carburized at 950° for Various Times.

Fig. 6 Residual Stress of the 1000° Specimens Quenched in Oil at 20° from 1000° after Carburized at 900° and 850°T for 5 Hours.

Fig. 7 Residual Stress of the Specimens Quenched in Oil at 20° from 1000° after Decarburized at Various Temperatures for Several Hours.

5 時間のものより右にズレ殆どその位置が 950°, 8 時間滲炭のものに等しく且つ外表の引張値も相當大となり油冷の場合と丸で趣きが異つてゐる。

以上の油冷、水冷後の結集は何れも試料内の濃度分布によつて影響されると考へられるのであるが、これ等殘留應力曲線について考察するに滲炭の場合では滲炭後の試料の外層は炭素濃度大で變態温度の低い爲 $\gamma \rightarrow \alpha$ 變態による發生應力も大きく、變態により大きな壓縮應力が最初表面に生ずる。然るに油冷の如き比較的緩かな焼入によつては試料内外の温度差も少く、又各部の變態點は内部程高いので従つて變態の time-lag が小さい、その上内部になるに従ひ膨脹量も小さくなるので、次層の變態による引張り力が漸次小となることより考へ最初表面に出來た壓縮力が反轉することなく、谷も低く(その値は試料内濃度分布による。)その位置も外表に近いような曲線となる。しかしこの場合でも更に滲炭時間が長くなると試料内部迄炭素濃度に富むようになり、且つ幾分 time-lag も大となるので順次内部の高濃度層の膨脹による引張り力を受けて遂に外表に引張り應力を生ずるに到り谷部は右にズレてくる。しかし徐冷後の谷部よりあまりズレない。次に水冷の如く變態の time-lag が大なるような冷却では外表に引張り應力を生じ易く、谷部も油冷に比して右になり易いことは自ら考へられる。特に 900° 滲炭後水冷のものは滲炭部の濃度勾配小なるため變態の time-lag が一層大となり表面に大きな引張り應力を示す。以上とは逆に外表の炭素濃度の小さ

Fig. 8 Residual Stress of the Specimens Quenched in Water at 20° from 1000° after Carburized at 950° and 900° for Various Hours.

い、脱炭油冷の場合には濃度大なる内部の變態により、且つ滲炭油冷より變態の time-lag 大なるため最初表面に出来た壓縮力も反轉し易く、Fig. 7 の結果はこれを證明している。これらの結果より第 2 報で述べた變態應力の出来方が更に明瞭となつた。即ち先に變態を起した層は次層の變態によりすぐ引張り應力となるのではなく、次層の變態による應力緩和と引張り力により順次應力を反轉して行くのである。最後に滲炭或は脱炭の油冷後の外表の應力値が内外の濃度のより均一な試料では(滲炭は 950°, 20 時間以上、脱炭は 950°, 5 時間以下)却つて小さくなつてゐるのは變態點の低い部分が増すので合金強度が大となる影響によるものと思はれる。これ等の事柄より一般に均一鋼を焼入し試料内外の組織の異なる時應力曲線は單純な曲線とならず谷を生じ、その谷部は試料内外の變態の相違(Ar'' , Ar' , Ar 等)によつて右又は左に移動し試料内の組織が等しい程右に移動することが知られる。

VI. 總 括

試料内の組織が大巾に不均一な時には各部分の變態温度及び量が異なるために應力曲線は單純な曲線にならないで谷を生ずる。従来多くの文獻はこの點を考慮していないので著者は内外組織の異なる滲炭或は脱炭後の試料を用ひ、これに各種熱處理を行ひ殘留應力曲線の谷部の位置並に成因等を研究した。これを總括すると、

- (1) 滲炭後徐冷或は油冷した試料の殘留應力曲線には谷部を生じ、その谷は滲炭深さの大なると共に右にズレ且つ滲炭深さの少い場合を除き上に上る。
- (2) 滲炭後徐冷試料に谷を生ずるのは試料各部の炭素濃度の異なることによる Ar 變態量の相違による。
- (3) 滲炭後水冷した試料は同一試料を徐冷又は油冷したものに比しその谷部が右にズレる。
- (4) 滲炭後徐急冷の試料の外表の應力は滲炭深さの小さい時は壓縮應力なるも、水冷では引張りとなり易く、何れの場合も滲炭深さ大なると共に引張り應力となる。
- (5) 脱炭後の試料の徐油冷後の殘留應力曲線にも谷部を生じ、脱炭の進むと共に左下にズレる。試料外表には常に

引張り應力を生じその値は油冷の場合には滲炭に比して大きい。尚脱炭後徐冷の應力は逆に一般に滲炭に比して低い。

(6) 濃度差を急激に生ずる滲炭温度低い試料を水冷或は脱炭温度の低いような試料を油冷した時は谷部は著しく右にズレ易く又外表の引張り應力値が大きい。

(7) 高温で滲炭脱炭後油冷した試料の外表の引張り應力値が却つて減少する處理時間がある。

(8) これ等の結果は試料内濃度分布と變態の外へ内へつ time-lag によるものであつて、これについて説明した。

(9) 滲炭或は脱炭後の殘留應力曲線は、組織が均一な鋼が焼入後の殘留應力分布に達する迄途中の状態は再現しておりこの事柄より變態應力の發生の機構が明瞭となり第 2 報で述べたが、一層明確に、應力の一時緩和と次層による引張り力を受けて外層の應力は順次反轉することが判つた。

本研究を報告するに當り終始御懇篤な御指導を頂きました岩瀬慶三先生に衷心感謝申上ぐると共に熱心な研究に従事された當研究室京谷益次君の營を多とする。尚本研究費の御援助を仰いだ日本學術研究會議並に試料について御便宜を受けた京都機械株式會社にお禮申上ます。

備考: 以上は著者の得た結果であるが従來の文獻に採用されてゐる Sach's の測定法についてここで考察する。この方法の技術的困難に伴ふ實驗誤差については暫くおくも、工具を用ひて削ることは今迄の例をみても一測定點より、次の測定點迄相當の間隔を生ずること及び特に第一點の測定は試料中心に穴をあけるので、中心より遠くはなれた點となつてゐる。それ故果して得られた曲線が眞の曲線を示すかどうかは疑問があり、(従來の結果を忠實にあたつてみると曲線を如何に引くべきか困難をおぼえる。)最近の文獻⁽⁶⁾によると Sach's 自身既に削る方法に疑義をもたれてゐる。この方法による時は三方向の應力分布を求め得るも正確に曲線の山や谷の位置を決めることが、むづかしく、従來の曲線そのものも更にあらゆる點に注意し丁寧な測定を行へば(測定點を細くする。)あるいは全然異つた曲線になることも考へられる。

(6) Sachs, Trans. A. I. M. E., 147 (1942), 348.

各種耐熱鋼の諸性質の比較について*

小 柴 定 雄** 野 原 孝 三 郎**

Sadao Koshiba and Kosaburō Nobara
of Different Heat Resisting Steels.
in mechanical and chemical industries, being chiefly applied to internal combustion engines.
Picking up thirteen different kinds of heat resisting steels, the writers first examined their

: On the Comparison of the Properties
The heat resisting steel is hitherto widely used

** 日立製作所安來工場

* 昭和23年10月本會福島大會に發表