

鋼の滲炭層の残留應力に就て

山 木 正 義*

ON THE RESIDUAL STRESS OF CARBURIZED
CASE OF STEEL.

Masayoshi Yamaki

Synopsis:—

The residual stress of carburized case of armco iron and Si-Mn-Cr-Mo steel was measured by using Heyn's method. The result was as follows: In armco iron and Si-Mn-Cr-Mo steel having ordinary carburized case, high carbon part is under compression and low carbon part is under tension. And also, particular structure (analogous to Bainite) in carburized case of Si-Mn-Cr-Mo steel is under compression.

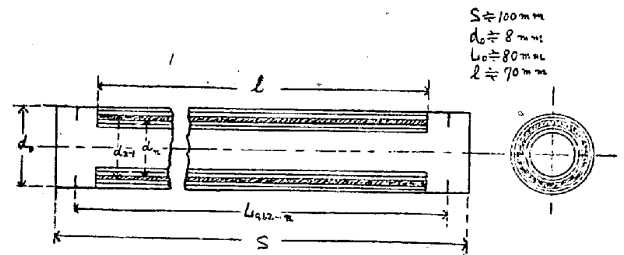
I: 緒 言

一般に鋼の熱処理に際して生ずる内部應力に関しては既に多くの文献があり特に H. Bühler 及 E. Seheil¹⁾ は低炭素 Ni 鋼を用ひて變態應力及び熱應力が焼入時の残留應力の上に如何に現はれるかに就き詳細なる結果を発表してゐる。鋼の滲炭層に於ても炭素の濃度勾配があるから之を滲炭温度から徐冷して熱應力を完全に除いたとしても、炭素の濃度に應じて各部分の熱膨脹係数が異なることに基因する應力が生ずる。又場合に依つては滲炭層内外の變態温度及び變態時期が異なることに依つても應力の生ずることが考へられる。従つて滲炭温度から徐冷した滲炭層にも内部應力が残留してゐる。この滲炭層の残留應力の測定に關しては餘り文献がなく最近では岩瀬博士及佐野氏²⁾の發表があるのみである。其他、下田氏³⁾、松本氏⁴⁾、河田氏⁵⁾等の發表もあるが之等は何れも滲炭層の残留應力測定を主目的としたものではないから餘り参考にならない。そこで著者は先づ普通の滲炭層に於る残留應力を測定し、次には、別報^{6), 7)}で述べた如く滲炭層中にベーナイト類似の特異組織を生じた場合と同じく残留應力を測定して兩者の差異を調べ、以つてこの特異組織の生成が滲炭層の残留應力に及ぼす影響を確かめんとしたのである。

II: 實 験 概 要

残留應力測定法としては Sachs の穿孔法に依るのが普通であるが、滲炭層の如く極めてうすい層の場合には之は適用し難い。依つて Heyn の方法⁸⁾を用ひ、圓筒形の試片を滲炭後その表面の滲炭層を HNO₃ で逐次溶

解し去りその際の長さ及び直徑の變化を測定し之より次式に従つて軸方向の残留應力を測定したのである。(第 1 圖)



第 1 圖 残留應力測定用試片

$$\sigma_n = \frac{E}{l} \cdot \frac{d_n^2(L_n L_0) - d_{n-1}^2(L_{n-1} - L_0)}{d_{n-1}^2 - d_n^2}$$

$\sigma_n > 0$ のとき引張 $\sigma_n < 0$ のとき壓縮

E = 彈性率 21, 000 kg/mm² とした。

l = 溶解し去る層の長さ。

d_n = 第 n 番目の溶解後の棒の直徑。

d_{n-1} = 第 $(n-1)$ 番目の溶解後の棒の直徑。

L_0 = 最初の標線間の距離。

L_n = 第 n 番目の溶解後の標線間の距離。

L_{n-1} = 第 $(n-1)$ 番目の溶解後の標線間の距離。

試料としてはアルムニウム鋼及び Si-Mn-Cr-Mo 鋼の二種を用ひた。後者の分析結果は第 1 表の如くであつて別報^{6), 7)}で既に述べた如く滲炭層にベーナイト類似の特異組織を生ずべき成分のものである。試片は徑 8 mm 長さ 100 mm の丸棒に仕上げた。熱應力の影響を除くために試片は滲炭に依り歪まぬ程度に成るべく細い丸棒を用ひて

* 東大第二工學部冶金學教室。

第1表 Si-Mn-Cr-Mo 鋼の分析成分

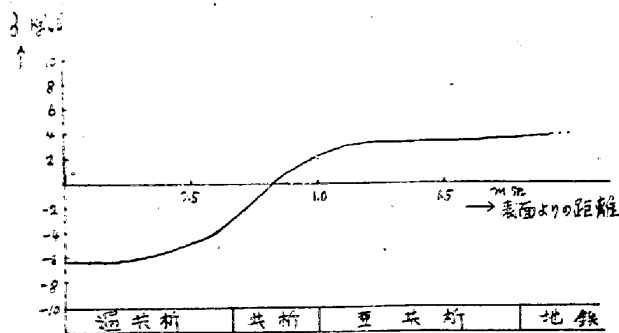
C	Si	Mn	Cr	Mo
0.11	0.89	0.92	1.01	0.41

ある。尚、両端よりの滲炭を防ぐ爲に、両端に銅メッキを施した。滲炭剤としては木炭粉末と BaCO₃ を 3:2 の割合で混じたものを用ひ鋼製の滲炭函につめて電気爐で所定の温度に所定の時間加熱した。滲炭終了後はそのまま徐冷して取出し、試片の表面の両端近くに約 80mm の間隔を置いて標線を刻み、溶解し去るべき所を除いて両端及び標線附近をパラフィンで被つた上、10% HNO₃ の溶液中に浸し、圓筒の表面の滲炭層を逐次溶解せしめ隨時取出して直径と標線間の距離を測定した。測定には 1/1000 mm の精度を有するコンパレーターを用ひ、標線は 3ヶ所宛刻んで其の平均値を探り又直径も 3ヶ所で測定してその平均値を探つた。次いで之等の測定値を上式に代入して應力分布曲線を求めた。最後に試片の標線附近の断面を檢鏡して滲炭層の組織を調べ、Ocular Micrometer で其の深さをも測定した。

III: 實驗結果

イ) アルムコ鐵

アルムコ鐵の試片を 950°C にて 6 時間滲炭後約 2°C/min で徐冷した。この場合の滲炭層の深さ及び滲炭層の残留應力分布曲線は第 2 圖の如くである。大體共析組織を境にして夫より高炭素部分には壓縮應力を生じ、夫より低炭素部分から心部にかけて引張應力を生じてゐる。

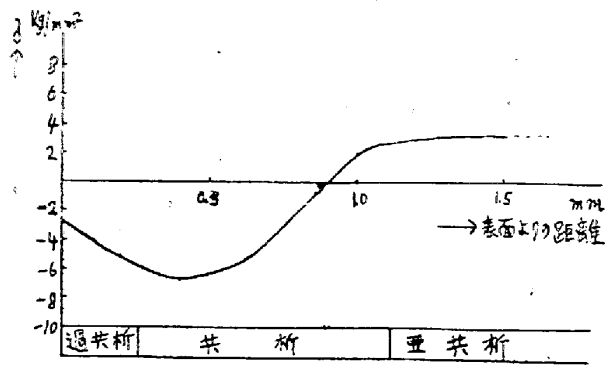


第2圖 アルムコ鐵の残留應力

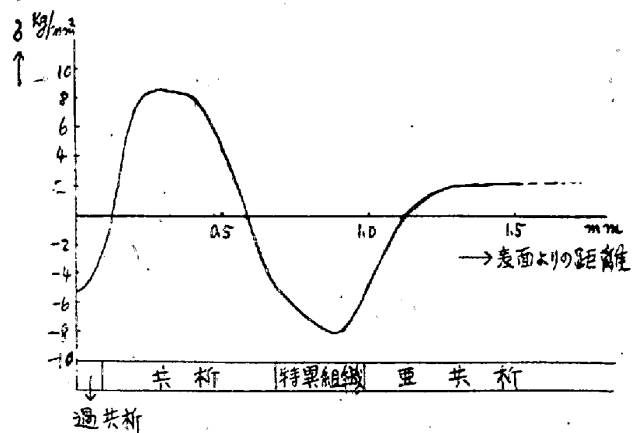
ロ) Si-Mn-Cr-Mo 鋼

本鋼に就ては次の如く 3 回實驗を行つた。

(i) 950°C に 5 時間滲炭後 1°C/min の速度で冷却し特異組織を生ぜしめなかつた場合は第 3 圖の如くである。應力分布曲線の形狀は大體 (イ) の場合と同様で高炭素部分に壓縮應力、低炭素部分に引張應力が働いてゐる



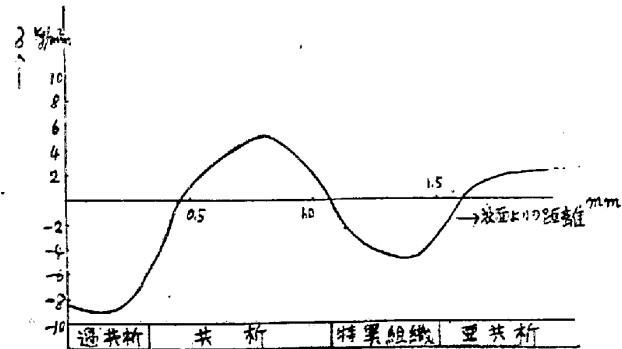
第3圖 Si-Mn-Cr-Mo 鋼の残留應力 (特異組織なきとき)



第4圖 同上 (特異組織を生じたとき)

(ii) 950°C に 4 時間滲炭後 2°C/min で冷却し滲炭層中にペーナイト類似の特異組織を生ぜしめた場合は第 4 圖の如くである。表面近くの過共析部には壓縮應力が働き次いで共析部に至ると引張應力に變り更に特異組織部に於ては再び壓縮應力となり最後に中心部では引張應力に變つてゐる。

(iii) 950°C に 6 時間滲炭後 2°C/min で冷却し同じく滲炭層中に特異組織を生ぜしめた場合は第 5 圖の如くであつてこの時も曲線の形狀は (ii) の場合と殆ど同じである。



第5圖 同上 (特異組織を生じたとき)

之を要するに、特異組織部には壓縮應力が働いてゐる。

爲に然らざる場合に比し曲線が一段と複雑になつてゐる。

IV: 考 察

試片の直径が 8mm で小さい上に冷却速度が極めて遅いから滲炭温度より冷却中の試片の内外の温度差はなく、従つてすべて熱應力は無視し得ると考へられる。

先づアルムコ鐵の場合を考へると、試片の温度が降下すると試片の各部は炭素濃度に應じて熱的收縮を起し次いで變態を開始する。従つて試片の各部は夫々膨脹し始めるが、之等の收縮率、膨脹率も又その時期も炭素濃度に應じて異なるから試片内に應力を生ずるが、高温である爲に試片は塑性變形を起して直ちに應力は解消するから、各部の A_{r1} 變態が終了するまでは結局應力は生じないことになる。 A_{r1} 變態終了後更に温度が下ると共に再び熱的收縮が始めるが、炭素鋼の熱膨脹係数は炭素量と共に減じ⁹⁾特に 400°C 以下ではその傾向が甚しいから高炭素部は收縮する程度が少い。而して温度が既に低いから試片は弾性變形を起し温度の降下と共に表面近くの高炭素部は壓縮應力を受け低炭素部には引張應力が働く、従つて第 2 圖の如き結果を得るのである。岩瀬博士²⁾、松本氏⁴⁾等の研究結果でも大體滲炭部に壓縮應力が働き、非滲炭部に引張應力が働いてゐる。

次に、Si-Mn-Cr-Mo 鋼の如く添加元素の多い場合の熱膨脹係数に及ぼす炭素量の影響に就ては文献もなく不明であるが、炭素鋼の熱膨脹係数に及ぼす Si, Mn, Cr, Mo 等個々の元素の影響に就ては若干の發表がある。Maurer 及 Schmidt¹⁰⁾に依れば、Mn が添加された場合には炭素量 0.4% 位までは炭素量の増加と共に熱膨脹係数は増すが夫以上炭素量が増すと熱膨脹係数は却つて減じてゐる。Cr が添加された場合には炭素量の増加につれて明かに熱膨脹係数も増加してゐる。之は炭化物 Cr_3C_2 の量が増す爲である。又、大河内氏等¹¹⁾に依れば Mo が少量添加された場合には高炭素鋼の方が低炭素鋼よりもその熱膨脹係数がやゝ大きくなつてゐる。Si 添加の場合の炭素の影響に就ては文献が見當らないが、Cr, Mo 等何れも複炭化物を作るものでは炭素量と共に熱膨脹係数が増加してゐることを考へれば Si 添加の場合には炭素量の影響は殆どないか、或は逆に炭素と同じ作用をするため含有炭素量と共に熱膨脹係数は減ずるのではないかと思はれる。斯くして見ると、炭素量の増加と共に熱膨脹係数を増す元素は Cr が決定的であるほかは信頼すべき發表値がない状態である。且つ単味の Cr 鋼では河田氏⁵⁾の實驗結果の如く明かに高炭素部の熱膨脹係数が大きい之に他の元素が加はつた場合、例へば Ni-Cr

鋼に就ての結果¹⁰⁾では 200°C 以上では高炭素鋼の熱膨脹係数の方が大きい、200°C 以下では逆に低炭素鋼の夫の方が著しく大きくなつてゐる。斯の如き有様であるから本研究に供した Si-Mn-Cr-Mo 鋼ではどうなるか分らないが、著者の實驗結果から考察すれば本鋼も炭素鋼と同様に含有炭素量の増加と共に熱膨脹係数が減ずると斷すべきである。即ち Si-Mn-Cr-Mo 鋼でも α) の如く特異組織を生じない場合はアルムコ鐵の場合と同じ結果を得てゐる。

次に、特異組織を生ずる場合を考へると、滲炭温度より降下するにつれて炭素濃度に應じて夫々熱的收縮を起し次いで別報⁷⁾で求めた S 曲線より明かな如く 750°C 位になると先づ周邊の高炭素部及び中心部の低炭素部分が相前後して變態を開始し膨脹する爲に、滲炭層のうちあとで特異組織を生ずべき所は引張應力を受けるが斯る高温では塑性變形を起すから直ちに應力は解消する。500°C 位になると今迄オーステナイト状態に保たれてゐたこの部分は變態を開始し、(滲炭温度より冷却途中の種々の温度より焼入れることに依り特異組織が 500°C 位で生成し始めることが分つてゐる。) 特異組織を生成し始めて膨脹してくる。この時は温度が低いからもはや塑性變形を起さずに弾性的に變形するのでこの部分は壓縮應力を受け他の部分は張力を受ける。斯くして各部の變態終了後は温度の降下と共に熱的に收縮するが、前述の如く炭素量に従つてその程度が異なり、高炭素部の膨脹係数が低炭素部の夫より小さいとすれば、周邊の高炭素部は他の所より特に收縮する程度が小さいからこの部分は壓縮應力を受けることになり、最後の應力分布曲線は第 4~第 5 圖の如くである。

V: 總 括

- 1) Heyn の方法を用ひて滲炭層の残留應力を測定した。
- 2) 普通の滲炭層に於ては、高炭素部分には壓縮應力が、低炭素部分には引張應力が働いてゐる。
- 3) 滲炭層中にペーナイト類似の特異組織^{6), 7)}を生ぜしめた場合には、この特異組織の部分には壓縮應力が働いてゐる。
- 4) 以上二つの場合の應力分布曲線の生じた理由を考察した。

終りに臨み、本研究の遂行に當り御懇切なる御指導と御激勵を賜はつた恩師吉川晴十博士並びに指導教官金森九郎教授に深甚の謝意を表す。(24. 1 月寄稿)

文 献

- 1) B. Hühler 及 E. Scheil: Archiv. Eisenhütt.

- 6 (1933) S 283~288, 7 (1934) S 359~363.
- 2) 岩瀬及佐野: 日本金屬學會第3分科會講演. 昭和23年4月.
- 3) 下田: 日本鐵鋼協會講演. 昭和22年10月.
- 4) 松本: 日本金屬學會講演. 昭和23年4月.
- 5) 河田: 日本金屬學會誌. 6卷9號 487頁.
- 6) 著者: 鐵と鋼. 32年7~9號 13頁.
- 7) 著者: [Moを含むSi-Mn-Cr鋼の滲炭組織] 第2報「鐵と鋼」35年9號 (昭和24年9月號).
- 8) E. Heyn: The Journal of the Institute of Metals No. 2. 1914, p. 3.
- 9) Driesen: Ferrum 11 (1914). p. 129.
- 10) E. Maurer 及 W. Schmidt: Mitt. Kais-Wilhelm Inst. 1921. S 4.
- 11) M. Okochi 他: Tokyo Imp. Univ. J. Coll. Eng. Vol. 9. No. 5. 1918. p. 153~195.

製鋼過程に於ける非金属介在物の定量法及除去法 (II)

非金属介在物の舉動並に除去法の研究

(日本鐵鋼協會第33回講演大會講演 昭22. 4. 於東京)

越 谷 粕 藏*

METHOD FOR THE DETERMINATION AND ELIMINATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN MOLTEN STEEL (II)

(Change and elimination of non-metallic inclusions in steel making)

Kasuzo Koshiya

Synopsis: —

1. The author measured the change of inclusions in the processes of refining in acid and basic open-hearth or electric arc furnace. The inclusions are assorted as follows.

- (1) Inclusion coming from outside.
- (2) Inclusion in metal.
- (3) Inclusion which occur during solidification.

2. In case of acid open-hearth process, we must keep an eye upon a large quantity of inclusions which came from outside or those occurred in solidification.

3. Ordinary method for eliminating non-metallic inclusions are as follows.

- (1) Prevention of inclusions coming from hearth.
- (2) Elimination of oxygen in metal. (By ingenious utilization of deoxidation with silicon.)
- (3) Decreasing oxidizing power of slag. (Making heavy slag in the final process of refining.)
- (4) Preventing from mixing of fire-clay and oxidizing by air after tapping.
- (5) Control of constituents in metal. (Increasing both manganese and silicon and ingenious utilization of aluminum.)
- (6) Active elimination of inclusions in metal. (Utilization of agent which eliminate inclusion as Fe-Mn slag or CaF_2 .)

4. The author has also investigated some special points of eliminating inclusions in each steel making process.

I: 緒 言

製鋼過程に於ける非金属介在物除去法に就ては、實際的並に理論的の兩方面から極めて多數の研究が發表され

てゐるが、實際操業に於てはそれらの結論の總てを満足に實施することは事實上殆んど不可能である。

* 日本製鋼所室蘭製作所。