

論 文

滲炭せる鋼の硬度および強度におよぼすサブ・ゼロの影響\*

山 木 正 義\*\*

THE EFFECT OF SUB-ZERO TREATMENT ON THE CASE HARDNESS AND THE STRENGTH OF SOME CARBURIZED STEELS

M. Yamaki

Synopsis:

The hardness distribution of carburized case, tensile strength and compressive strength were measured, after sub-zero treatment was applied to some Ni-Cr, Ni-Cr-Mo and Cr-Mo carburized steels. The results were as follows.

1) The carburized case of Cr-Mo (containing high % of Mo) and Ni-Cr-Mo steels were not so hard as we expected owing to the appearance of a large amount of retained austenite. But sub-zero treatment improved such a poor condition of carburized case, that is, the hardness became very high.

2) Generally speaking, the tensile strength of carburized specimens decreased after they were sub-zero treated, because the internal stress increased. But these specimens recovered their strength after tempering, because the internal stress was eliminated.

3) In general, the compressive strength of carburized specimens increased after they were sub-zero treated. This phenomenon can be explained by the same reason. But in Cr-Mo steels (containing high % of Mo), it was reverse. This phenomenon can be explained by the brittle carburized case with complex carbides in Cr-Mo steels.

I. 緒 言

Ni 肌焼鋼, Ni-Cr 肌焼鋼等では焼入後滲炭層の高炭素部分に残留オーステナイトが多量に出現し, そのために表面硬度が減少することが知られている事実, Fig. 1にも示す如く, Ni 2%, Cr 0.4% 程度の低 Ni-Cr 鋼においてさえも, 焼入温度が 850°C くらいに高くな

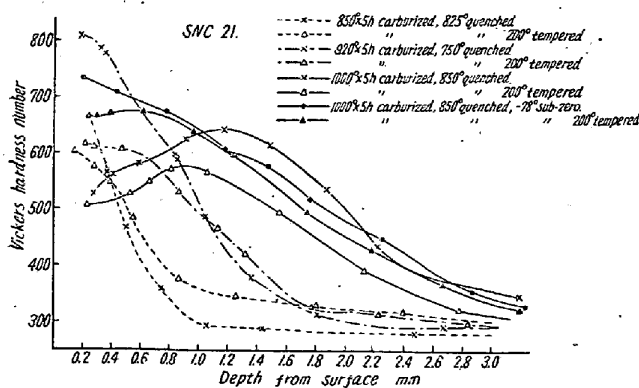


Fig. 1. Hardness distribution in the carburized case of Ni-Cr steel (sample SNC21)

ると, 滲炭層周辺の高炭素部分に残留オーステナイトを相当量生じ, ために硬度が低下している現象がみとめられる. この現象を防ぐには, サブ・ゼロ処理を行うことが有効であると考えられるのであつて, 例えば, Boyer等<sup>2)</sup>は肌焼鋼 3316 (SAE) においてサブ・ゼロ処理を施さぬ場合に表面硬度 Rc 45, サブ・ゼロ処理を施したときに Rc 60~63 を得たと報告している. 著者も前記の鋼についてサブ・ゼロをおこない, Fig. 1 に示すごとく表面硬度の著しい上昇をみとめた. また, Fig 2 に示されているごとく, Cr 1%, Mo 0.2% 程度の低 Cr-Mo 肌焼鋼においても, 830°C くらいの比較的高温で焼入れたものにあつては, サブ・ゼロを施すことにより表面近くの硬度が全般的に上昇する現象を認めたのである. かように, 簡単なサブ・ゼロを施した結果を見ても滲炭層の表面硬度を上昇せしめるには有効な処理であることが認められたので, 著者はここにあらためて数種の Cr-Mo, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo 系の肌焼鋼に対してサブ・ゼ

\* 昭和 30 年 10 月本会大会講演

\*\* 東都製鋼 K.K.

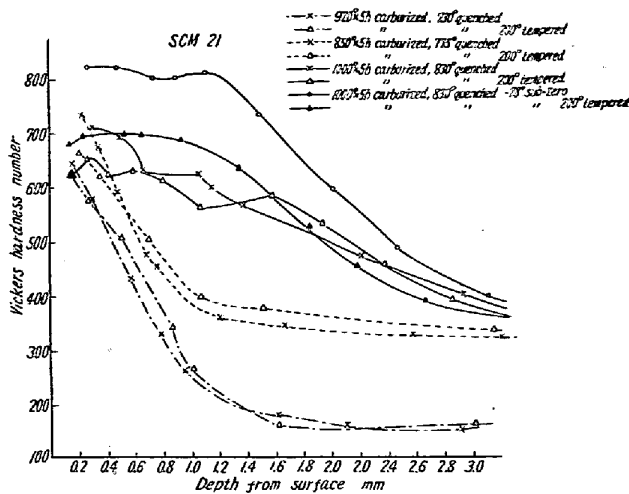


Fig. 2. Hardness distribution in the carburized case of Cr-Mo steel (sample SCM 21)

口をおこない、単に滲炭層の表面硬度におよぼす影響のみならず、この処理が滲炭した鋼の機械的性質におよぼす影響、すなわち、主として耐破壊強度におよぼす影響をも調べた。

II. 実験概要

試料としては Table 1 の 7 種の鋼を用いた。このうち CM 印のものは、小型高周波炉を用いて、電解鉄、Fe-Mn、金属 Cr、Fe-Mo 等を配合し、4.5 kg の鋼塊を作り、これを 19 mm φ の丸棒に熱間鍛造し、900°C で焼準した。他の 3 種は大型アーク炉で熔製し、19 mm φ の丸棒に圧延した後、900°C で焼準した。これらの丸棒から、次の如くに試験片を採取した。すなわち、滲炭層の硬度分布測定用としては、10 mm 角のものを削り出した。耐破壊強度を調べるためには、引張試験と圧縮試験とを行い、引張試験用としては、JIS 10 号試験片を用い、圧縮試験用としては 10 mm φ、10 mm l の円筒形試験片を削り出した。すべての試験片は所定の寸法に仕上げた後、固態滲炭剤 (木炭 : BaCO<sub>3</sub> = 3:2) による滲炭を施し、それぞれ所定の焼入、サブ・ゼロ、焼戻等を行った後、上述の各試験を行った。焼入は Pb 浴中に 5 mn 間保持後油中に投じ、焼戻は 200°C の管状電気炉

中に所定の時間保持後空冷した。また、サブ・ゼロ処理としては、石油エーテルにドライアイスを入れて -78°C に保った魔法瓶中に試片を投じ、原則として 2.5 h 保持した。

III. 実験結果および考察

1) サブ・ゼロが硬度におよぼす影響

滲炭層を焼入れたものにサブ・ゼロを施したときの表面硬度上昇の一例についてはすでに Fig. 1, 2 に示したが、ここではさらに Table 1 の試料 CM3, SNCM 24 について実験した結果を述べる。

まず試料 CM3 を 1,000°C にて 3 h 滲炭後、950°C および 1,000°C から焼入れたものの表面よりの深さとピッカース硬度との関係を示したものが Fig. 3 であ

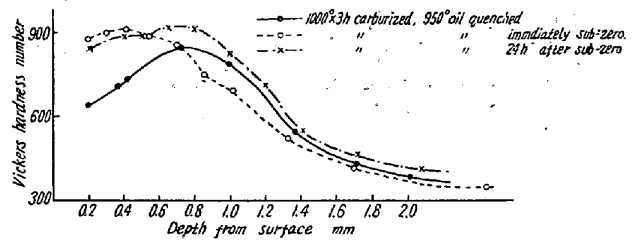
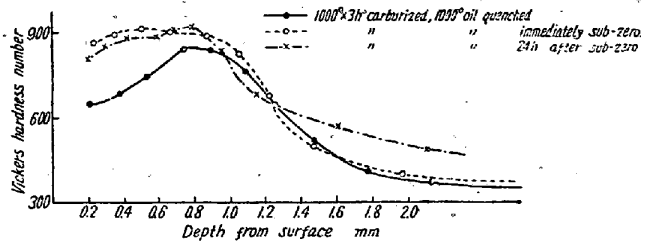


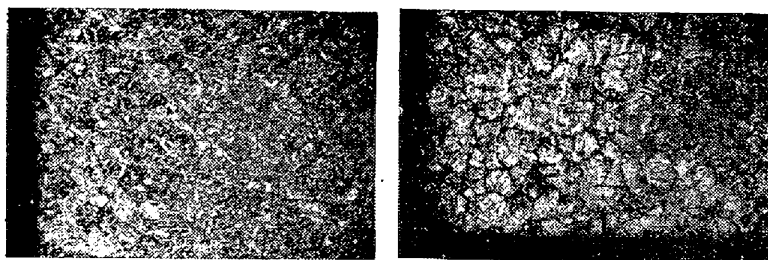
Fig. 3. Hardness distribution in the carburized case of sample CM3.

る。本試料は Cr-Mo 鋼であるが Mo% が高い上にとくに焼入温度を高くしてあるので残留オーステナイト量も多く、焼入のままでは表面から 0.7 mm 位のところに硬度の最高値があり、その値はピッカース 850 に達するが、表面付近は低下して 600 位になつている、これを焼入後ただちにサブ・ゼロ処理すると最高硬度も 900 を越え、しかも最高値が表面から 0.4~0.5 mm の所まで維持され、かつ表面付近の硬度も 800 位に保たれている。

Table 1. Chemical composition of samples

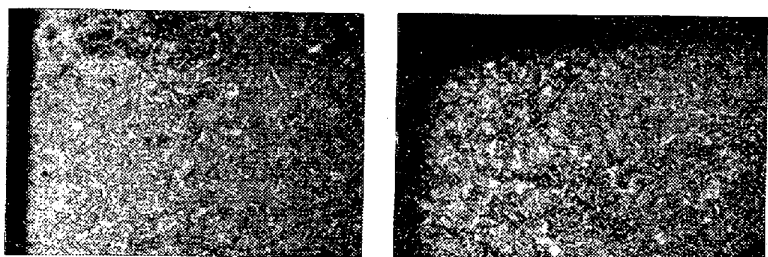
| Mark   | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Ni   | Mo   |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| CM 3   | 0.08 | 0.42 | 0.77 | 0.016 | 0.026 | 0.91 | —    | 0.71 |
| CM 4   | 0.06 | 0.34 | 0.77 | 0.013 | 0.032 | 0.89 | —    | 0.78 |
| CM 6   | 0.10 | 0.29 | 0.72 | 0.017 | 0.032 | 0.91 | —    | 0.55 |
| CM 7   | 0.08 | 0.26 | 0.76 | 0.011 | 0.034 | 0.93 | —    | 0.65 |
| SCM21  | 0.15 | 0.28 | 0.83 | 0.011 | 0.010 | 1.01 | —    | 0.21 |
| SNC21  | 0.13 | 0.22 | 0.54 | 0.014 | 0.028 | 0.41 | 2.07 | —    |
| SNCM24 | 0.24 | 0.21 | 0.81 | 0.021 | 0.014 | 1.69 | 3.04 | 0.28 |

950°C oil quenched



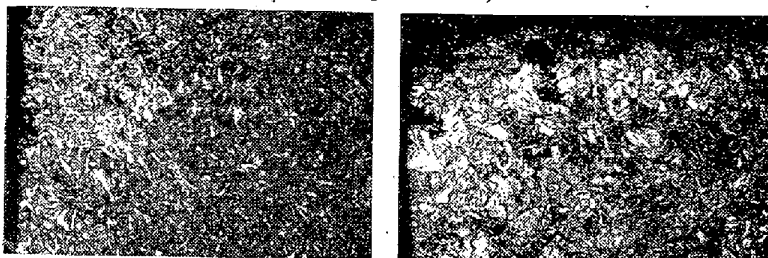
(flat part) (corner)

950°C oil quenched and immediately sub-zero treated (-78°)



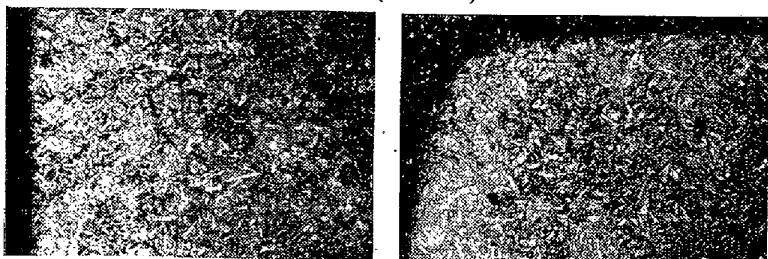
(flat part) (corner)

1000°C oil quenched)



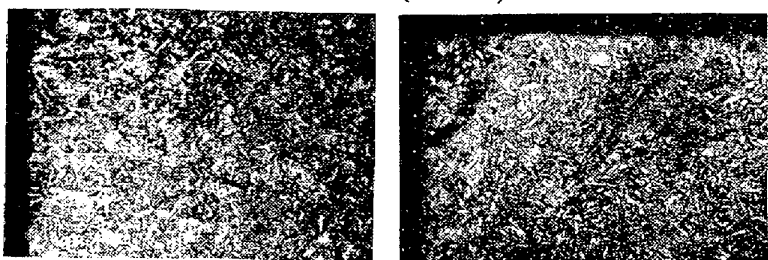
(flat part) (corner)

1000°C oil quenched and immediately sub-zero treated (-78°C)



(flat part) (corner)

1000°C oil quenched and 24h after sub-zero-treated (-78°C)



(flat part) (corner)

Photo. 1. The structure of carburized case for sample CM3 (1000×3h carburized) ×100 (1/2)

なお、オーステナイトの安定化なる現象<sup>3)</sup>があつて、焼入よりサブ・ゼロに至るまでの時間が残留オーステナイトのマルテン化に大きな影響を持つことが知られているが同図にも示すごとく、焼入後24h経過してからサブ・ゼロ処理したものは焼入直後に同処理したものに比べて幾分異つた硬度分布曲線を示している。すなわち、硬度の最高値を示す位置は焼入のままの場合とほぼ同じであるが、全体的に硬度の上昇を示していて最高値としては900を越すが、表面附近の硬度は焼入直後にサブ・ゼロしたものに比べて低く、800を下廻っている。したがつて、表面硬度を大ならしめるという滲炭焼入の目的からすれば、焼入後可及的速かにサブ・ゼロした方が好ましい。Photo 1は以上の試料について焼入のまま、焼入直後および24h後にサブ・ゼロしたものの表面附近の組織である。とくに隅角部に残留オーステナイトの多いことがみられる。これは、隅角部はC%が高くなるためである。現場の滲炭作業にあつても注意を要することであろう。

つぎに試料 SNCM 24 について同様の実験を行つた。本鋼は比較的 Ni 含有量の多い Ni-Cr-Mo 鋼であるから、残留オーステナイトも多く、サブ・ゼロの対象にふさわしい鋼種といえる。試料はいずれも 1,000°C で 3h 滲炭後、830, 900, 980°C の各温度から油中に焼入れ、ただちに -78°C で 2.5h サブ・ゼロし、ついで 200°C で焼戻を行つた。焼戻の時間は短時間 (2.5h) と長時間 (17h) の二通りである。各試料の滲炭層硬度分布を測定した結果は Fig. 4のごとくである。まず焼入れたままのものについて焼入温度の影響をみると、830°C の場合には最高硬度 650 を越えるが最高値を示す位置は表面より約 1.0mm も離れた所にあり、表面に近づくとつれて硬度は急激に減じ、表面附近は 300 位にしか達しない。これをみても本鋼種の滲炭層には如何に残留オーステナイトが多いかが推定できる。つぎに 900°C から焼入れた場合は、さらに全般的に硬度が低下し、最高硬度は 600 位である。また、980°C から焼入れた場合は、最高硬度は 600 を下廻り、表面附近は 250 くらいに下つている。これらをサブ・ゼロ処理すると、830°C, 900°C で焼入れたものは著しく硬度を増加し、表面に近づくとつれて漸次硬度は高まり、表面附近では最高値 700 以上を

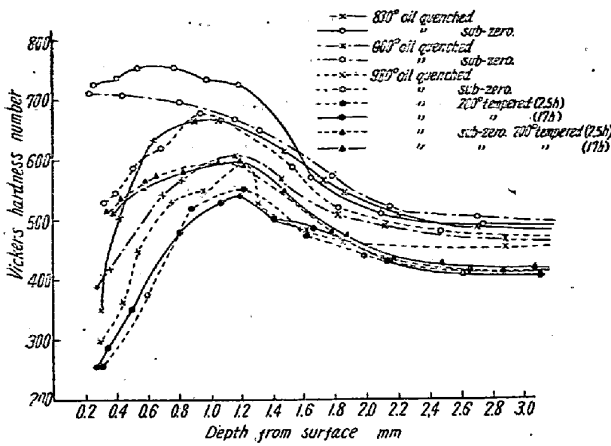


Fig. 4. Hardness distribution in the carburized case of sample SNCM24

示すようになる。980°C 焼入れの場合も全般的に相当に硬度を増し、最高値 670 くらい、表面で 500 くらいになっている。併し、この場合には、この程度のサブ・ゼロ処理ではまだ不充分であるといえる。

つぎに、980°C より焼入れてそのまま 200°C に焼戻した場合と、途中でサブ・ゼロ処理を行つてから焼戻した場合とを比較すると、最高硬度にももちろん差があるが、表面附近の硬度に大きな差を生じていることが分る。また、焼入れおよびサブ・ゼロ処理を同様にしなが焼戻をしないものに比較すると、焼戻をしたものは、最高硬度は若干下廻るが表面附近の硬度は焼戻さぬものとほとんど同じである。最後に、焼戻時間の長短は、この実験の範囲内では影響がないといえる。

2) サブ・ゼロ処理が引張り強度におよぼす影響

サブ・ゼロ処理が機械的性質におよぼす影響を調べるために、三橋、上野両氏はベヤリングの圧壊試験を行つている。その結果によれば、サブ・ゼロ処理を行つたものは圧壊強度が焼入れたままのものよりも低くなつている。滲炭部品は表面の耐磨耗性の大きなることももちろん必要であるが、他方において、大なる荷重や衝撃にも耐える必要がある。したがつて、サブ・ゼロ処理によつてたとえ表面硬度が増加しても、全体として強度が弱まるようなことがあれば問題である。そこで、著者はサブ・ゼロ処理が滲炭部品の耐破壊強度におよぼす影響の一端をしるために、まず引張り試験を行つた。すなわち、滲炭した引張り試験片に種々の焼入、サブ・ゼロ処理、焼戻等を施して、これをアムスラー試験機にかけ、静的に引張つて破壊に至るまでの最大荷重を求めた。この際、各試験片の平行部の断面積は出来る限り一定に保ち(0.5%以内)、断面積の差による誤差を排除した。以下に求めた最大荷重の値は、いずれも2ヶの試験片について得

たものの平均値である。

まず試料 CM4 について Table 2 の左欄のごとき熱処理を施したのに関して求めた最大荷重は同 Table

Table 2. The relation between sub-zero treatment and tensile strength (sample CM4)

| Carburizing °C×h | Quenching °C | Sub zero treatment °C×h     | Max. load (ton) |
|------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| 1000×5           | 950          | —                           | 6.222           |
|                  |              | Immediately after qu. -78×3 | 5.173           |
|                  |              | 24h after qu -78×3          | 5.556           |
| 1000×3           | 1000         | —                           | 6.365           |
|                  |              | Immediately after qu. -78×3 | 4.490           |
|                  |              | 24h after qu -78×3          | 5.349           |

の右欄のごとくである。これによれば最大荷重は焼入れたままのものが最高であり、焼入後ただちにサブ・ゼロしたものが最低である。換言すれば、サブ・ゼロによつて引張り強度は相当に低下している。しかもただちにサブ・ゼロした場合と 24 h 後にサブ・ゼロした場合とでは差があることは、サブ・ゼロによりオーステナイト→マルテンサイト変態が起る割合によつて強度にも差を生ずることを示しているといえよう。何故ならば、既述のごとくオーステナイトの安定化なる現象により、24 h 後にサブ・ゼロしたものは、ただちにサブ・ゼロしたものに比べて、オーステナイト→マルテンサイト変態の起る割合が減じているからである。結局、サブ・ゼロによる強度低下の理由としては、オーステナイト→マルテンサイト変態による変態応力が試片内に残留するためと思われる。

つぎに試料 CM6 について、Table 3 のごとく焼戻を行つた場合の最大荷重は同 Table 右欄のごとく、こ

Table 3. The relation between sub-zero treatment and tensile strength (sample CM6).

| Carburizing °C×h | Quenching °C | Sub-zero treatment °C×h | Tempering °C×h | Max. load (ton) |
|------------------|--------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| 1000×3           | 1000         | —                       | 200×2          | 8.203           |
|                  |              | -78×2                   | 200×2          | 6.360           |

れまたサブ・ゼロを行わぬものの方が大なる最大荷重を示している。サブ・ゼロ処理による残留応力は、200°C×2h 程度の焼戻ではまだ除去されぬためと考えられる。

Table 4. The relation between sub-zero treatment and tensile strength (sample SNC21)

| Carburizing<br>°C×h | Quenching<br>°C | Sub-zero treatment<br>°C×h | Tempering<br>°C×h | Max. load<br>(ton) |
|---------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|--------------------|
| 1000×5              | 1000            | —                          | —                 | 8.180              |
|                     |                 | Immediately after qu.      | —                 | 6.630              |
|                     |                 | -78×2.5                    | 200×16            | 11.800             |
|                     |                 | Immediately after qu.      | 200×16            | 11.750             |
|                     |                 | -78×2.5                    |                   |                    |

つぎに Ni-Cr 系として試料 SNC21 についても同様の実験を行った。その結果は Table 4 のごとくである。これによれば、まず焼入れたままのものと、焼入れ後ただちにサブ・ゼロしたものとは前者の方がはるかに最大荷重が大きい。これは先の結果と同様である。つぎに焼戻を行ったものにおいては、焼戻前のサブ・ゼロによる差はないといえる。この点は先の結果と異なるようにみえるが、SNC21 の場合には焼戻時間が長く、16h である。したがってサブ・ゼロによる残留応力が除去されたためと考えられる。なお Table 4 で明らかのごとく 16h 焼戻したものは、サブ・ゼロの有無に拘らず、焼戻を施さぬものに比べて最大荷重が著しく増加している。これは後述の試料についても認められる現象であつて、サブ・ゼロとは直接関係がないものと思われる。すなわち、一般に滲炭して焼入れたものは滲炭層と内部との変態の差により、残留応力が大きい。焼戻によつてこれが軽減されて強度が増加するのである。もちろん、組織的の変化も若干あるが、主因ではあるまい。以上の結果により、サブ・ゼロを行えば最大荷重は低下することが判つたが、これらのことをさらに確認するために残留オーステナイトの目易い試料 SNCM 24 について Table 5 のごとき試験を行った。その結果はつぎのごとくである。①焼入れたままの状態では焼入温度が高いほど最大荷重は低下する。これは焼入温度が高いほど残留オーステナイトが多く、かつ焼入れによつて生ずる内部応力も大きいためであると思われる。②焼入れ温度が比較的低い (830, 900°C) 時は焼入れのままのものよりもサブ・ゼロ処理したものの方が最大荷重は低下する。逆に焼入温度が高い (980°C) ときには、サブ・ゼロ処理によつて却つて最大荷重は増加している。この理由としては、前者の場合には、既述の通りであるが、後者の場合には、多量の残留オーステナイトがサブ・ゼロによ

Table 5. The relation between sub-zero treatment and tensile strength (sample SNCM24)

| Carburizing<br>°C×h | Quenching<br>°C×h | Sub-zero treatment<br>°C×h | tempering<br>°C×h | Max. load<br>(ton) |
|---------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|
| 1000×5              | 830               | —                          | —                 | 8.905              |
|                     |                   | -78×2.5                    | —                 | 6.850              |
|                     | 900               | —                          | —                 | 8.513              |
|                     |                   | -78×2.5                    | —                 | 5.990              |
|                     | 980               | —                          | —                 | 6.871              |
|                     |                   | -78×2.5                    | —                 | 7.825              |
|                     |                   | —                          | 200×2.5           | 9.044              |
|                     |                   | —                          | 200×17            | 9.066              |
| -78×2.5             |                   | 200×2.5                    | 7.992             |                    |
| -78×2.5             |                   | 200×17                     | 8.588             |                    |

つてマルテンサイトに変化するため、組織的に強度の増加が考えられ、その影響の方が内部応力の増加による強度低下よりも大きく作用するためであると思われる。③サブ・ゼロせぬものでは、最大荷重に対する焼戻時間の長短の影響は認められない。この場合には、焼入による内部応力のみであるから、短時間の焼戻で、応力が、長時間の場合と同程度まで解消するためである。しかるにサブ・ゼロしたものでは、焼入による応力にサブ・ゼロによる応力が加わっているから、焼戻による応力の軽減に時間がかかり、焼戻時間の長い方が内部応力の減少が多く、したがって最大荷重が高くなっている。④サブ・ゼロの有無に拘らず、全般的に、焼戻をした方が、焼入れのままよりも最大荷重が高い。これは既述の結果と同じである。⑤焼入れてそのまま焼戻したものの方が、焼入れ後サブ・ゼロ処理をして焼戻したものよりも、焼戻時間が短い (2.5h) 時には、明らかに最大荷重が高く、焼戻時間が長くなると (17h) その差は少くなる。これも既述の結果と同じである。

以上のごとく、引張試験における最大荷重におよぼすサブ・ゼロ処理の影響の原因としては、試験片に残留する応力のためであると考えられ、これは結局、試験片が滲炭してあつて表面層と心部との組織が異なるからであつて、試験片の断面積の過半を占めて荷重を支える心部そのものの強度の変化によるものとは思われないのであるが、この点を一応確認するために次の実験を行った。試料 SCM21 を用いて、滲炭剤を使用せずに滲炭処理に相当する熱処理 (焼鈍) のみを施したものに、焼入、サブ・ゼロ処理を施して引張試験を行った結果は Table 6 のごとくである。すなわち、サブ・ゼロの影響は何等認められない。換言すれば、滲炭部品の心部は、サブ・ゼロにより何等強度上の影響を受けぬことが確認された。

3) サブ・ゼロ処理が圧縮強度におよぼす影響

Table 6. The relation between sub-zero treatment and tensile strength (sample SCM21)

| Annealing<br>°C×h | Quenching<br>°C | Sub-zero<br>treatment<br>°C×h | Max. load<br>(ton) |
|-------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|
| 950×5             | 800             | —<br>-78×3.5                  | 5.000<br>4.950     |
|                   | 900             | —<br>-78×3.5                  | 11.350<br>11.500   |
|                   | 1000            | —<br>-78×3.5                  | 11.650<br>11.650   |

Table 7. The relation between sub-zero treatment and compressive strength.

| Samples    | Carbu<br>rizing<br>°C×h | Quen-<br>ching<br>°C | Sub-zero<br>treatment<br>°C×h | Temper-<br>ing<br>°C×h | Max.<br>load<br>(ton) |
|------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| SNC21      | 980×3                   | 980                  | —<br>-78×3.5                  | —                      | 20.300<br>21.700      |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | —                      | 19.700<br>20.300      |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×2.5                | 19.500                |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×2.5                | 19.800                |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×17                 | 19.300<br>19.700      |
| SNCM<br>24 | 980×3                   | 900                  | —<br>-78×2.5                  | —                      | 21.100<br>23.700      |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | —                      | 20.000<br>22.100      |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×2.5                | 19.900                |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×2.5                | 20.100                |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×17                 | 18.700<br>19.000      |
| CM7        | 980×3                   | 980                  | —<br>-78×2.5                  | —                      | 18.200<br>16.600      |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | —                      | 17.300<br>16.000      |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×2.5                | 16.300                |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×2.5                | 15.600                |
|            |                         |                      | —<br>-78×2.5                  | 200×17                 | 16.900<br>13.800      |

試料 SNC21, SNCM24 および CM7 について, Table 7 のごとく滲炭, 焼入, サブ・ゼロ処理, 焼戻等を行い, 圧縮試験を行って圧縮による破壊強度を求めた. すなわち, アムスラー試験機を用いて, 圧縮荷重を静的にかけ, 破壊するまでに要した最大荷重を求めた. Table 7 にしたがって試験結果を述べればつぎのごとくである.

まず Ni-Cr 鋼に関しては, ①焼入温度の如何に拘らずサブ・ゼロ処理を施すと最大荷重が大になる. ② 2.5 h 焼戻すとサブ・ゼロ処理の有無に拘らず, 焼入れたままのものよりも最大荷重がやや小になる. ③ 17 h 焼戻すと, サブ・ゼロ処理の有無に拘らず, 焼入れたままのものよりも最大荷重がさらに低下する. ④焼戻を行えば,

サブ・ゼロ処理の有無による最大荷重の差, は少くなる.

Ni-Cr-Mo 鋼についてもこれと略同様のことがいえる. すなわち, ①サブ・ゼロ処理を行うと最大荷重はやや大になる. ② 2.5 h 焼戻すと, サブ・ゼロ処理の有無による最大荷重の差はほとんどなくなる. ③さらに焼戻すと, サブ・ゼロ処理の有無に拘らず最大荷重は低下する.

つぎに Cr-Mo 鋼に関しては, 上記の Ni 系鋼種における場合とはやや異なる結果を得た. すなわち①焼入温度の如何に拘らず, サブ・ゼロ処理を施すと最大荷重は低下する. ②焼戻時間の長短に拘らず, 焼戻をすると最大荷重は低下する.

以上のごとき結果を生じた理由について考察すると, さきに述べた引張試験の場合と同じし, サブ・ゼロ処理による試験片内の残留応力の増加により説明出来る. 一般に円筒形滲炭試験片を焼入れたものにおいては, 軸方向の応力を考えると, 心部に引張応力, 滲炭層に圧縮応力が働いていることはあきらかである. これにサブ・ゼロ処理を施せば滲炭層のマルテンサイト量は増加して膨脹するから, 滲炭層にはさらに大きな圧縮力が働き, これに応じて心部にも焼入のままのときよりも大きな張力が働く, すなわち, サブ・ゼロ処理により残留応力が増加する. さて, 一般に, かような試片が引張または圧縮を受けた時には断面積の過半を占める心部がこれに耐えると考えられるから, サブ・ゼロ処理により心部の引張り残留応力の増加しているものの方がしからざるもの比べて, 引張強度は劣ることになる. これはすでに述べた引張試験結果をみても明らかである. 逆に, 圧縮試験を行えば, 心部の引張り残留応力の増加しているもの, すなわちサブ・ゼロ処理したものの方が, しからざるもの比べて強いことになる. 上述の Ni 系鋼種の試験結果はこれを示している. つぎに, Cr-Mo 鋼において逆の結果を得たことは, 滲炭層に本鋼種特有の Cr, Mo 炭化物が集積しているので(Photo 2 参照)脆弱となつていたためであろう. このような試片では, サブ・ゼロ処理により表面の残留圧縮応力を増せば, その後の圧縮試験においては, サブ・ゼロ処理しないものよりも少い圧縮力でまず試片の滲炭層に亀裂が入るものと思われる. (ただし, 試片のごく表面には, 圧縮にさいして張力が働く) なお, 焼戻によりサブ・ゼロ処理の影響がほとんどなくなるとともに, 最大荷重も低下する傾向にあるのは, 明らかに, 焼戻により残留応力が減少したためである. とくに, 長時間の焼戻により最大荷重が低下するの



×400 (1/2)

Photo 2. Complex carbides seen in the carburized case of sample CM 7.

は、組織的にもやや軟化するためと思われる。

#### IV. 結 言

Ni-Cr 鋼, Ni-Cr-Mo 鋼および Cr-Mo 鋼の3種の肌焼鋼の滲炭したものに対してサブ・ゼロ処理を行い、滲炭層の硬度分布、引張強度および圧縮強度におよぼす影響を調べた。

(1) Cr-Mo 鋼 (Mo%の高いもの) および Ni-Cr-Mo 鋼は焼入状態で滲炭層に残留オーステナイトが多いため十分な表面硬度が得られないが、サブ・ゼロ処理により滲炭層の硬度が全般的に上昇し、とくに表面附近の硬度の上昇が著しい。

(2) サブ・ゼロ処理を行うと、一般に滲炭部品の引張強度は低下する。これは、心部の引張残留応力の増加のためと考えられる。サブ・ゼロ処理後、適当に焼戻すと

サブ・ゼロしないものとほとんど同程度にまで引張強度は恢復する。これは残留応力が焼戻により軽減されるためであろう。

(3) サブ・ゼロ処理を行うと、一般に滲炭部品の圧縮強度は増加する。これも心部の引張残留応力の増加により説明される。ただし Cr-Mo 鋼 (Mo%の高いもの) のごとく、滲炭層が著しく脆弱になるものは、滲炭層に早期に亀裂が発生するため、圧縮強度としては逆に低下する。(昭和 31 年 3 月寄稿)

#### 文 献

- 1) 例えば JIS 機械構造用炭素鋼と構造用合金鋼解説  
近藤: 鉄と鋼, 40年6号 634  
H. M. Otte & T. Ko: J. Iron & Steel Inst. Jan. 1953 p. 31
- 2) Boyer & Miller: Materials & Methods. March, 1946
- 3) 例えば M. Cohen 他, Trans. A.S.M. 34 (1945) p. 246  
同上: 40 (1948) p. 703, 728, 1061  
岡本, 小高: 日本金属学会誌, 16 (1952) p. 81  
J. O. Ward 他: J. Iron & Steel Inst. vol. 170 part 1 (1952) p. 1
- 4) 三橋, 上野: 鉄と鋼, 39年7号 722

#### 寄 稿 者 へ お 願 い

論文御寄稿の際は、度々申し上げますが御面倒ながら一応寄稿規程をお読みの上御執筆下さい。編集上支障を来しますので特に御配慮願ひ上げます。寄稿規程を本号巻末 616 頁に再録しておきます。