

白點狀缺陷に關する研究 (VII)

(炭素鋼の酸洗の際に生ずる白點狀缺陷について)

(昭和 23 年 10 月本會講演大會にて講演)

下 川 義 雄

STUDIES ON THE FLAKE-LIKE DEFECTS IN STEEL (VII)

(Flake-like defects in carbon steel by acid pickling)

Yoshio Shimokawa

Synopsis :— This experiment is also the continuation of former report (V, VI). The results are summerized as follows :

- (1) If the heat-treated carbon steel with various C content be pickled, we can find the flake-like or fish-eye-like defects on the fracture of tensile test pieces as the variation of heat treatment.
- (2) When high C steel is quenched in water, the flake-like defects are appeared during the pickling, and the appearance is just same as the defect of special steel. But when it is quenched in oil, no defects are appeared during the pickling.
- (3) As the tempering temperature of quenched steel become higher, the appearance of defects vary from flake-like to fish-eye-like through cup-like appearance.

I. 緒 言

第 5 報及び第 6 報に於ては最も白點が発生し易いといわれる構造用特殊鋼及び普通白點は発生しないといわれる極軟鋼の酸洗の際に發生する白點狀缺陷を取扱ひ前者には普通の銀白狀のもの又後者には Fish-eye 狀のものを發生する事を認めた。前報に於て既に述べた如く之等兩種の白點狀缺陷は鋼種の差に基く本質的な差によるものではなく外部應力に對する鋼の可塑性に基くものであると考えられる。之れを更に明瞭ならしめるため第 1 表の如き炭素量の異なる三種の炭素鋼について同様な實驗

第 1 表 試料の化學成分

| 試料記號 | C | Si | Mn | P | S |
|------|------|------|------|-------|-------|
| R | 0.21 | 0.37 | 0.28 | 0.011 | 0.035 |
| S | 0.46 | 0.38 | 0.32 | 0.013 | 0.032 |
| T | 0.74 | 0.32 | 0.48 | 0.019 | 0.035 |

を行つた。之等の鋼の焼入焼戻に對する抗張的性質の變化は第 2 表に示す通りである。各焼入焼戻の保持時間は 1 時間である。第 1 表第 2 表より明らかな如く R 鋼 S 鋼の油焼入の場合の性質は極軟鋼に近く、S 鋼 T 鋼の水焼入の場合には構造用特殊鋼に近い。

第 2 表 試驗試料の抗張的性質

| 試料記號 | 焼入 °C | 焼戻 °C | 抗張力 kg/mm ² | 降伏點 kg/mm ² | 伸 % | 絞 % | 備考 |
|------|-------|--------|------------------------|------------------------|-----|-----|--------|
| R1 | 880W | 400A T | 104.1 | — | 8 | 29 | 切斷位置 C |
| R2 | 〃 | 500 〃 | 92.0 | — | 2 | 38 | |
| R3 | 〃 | 600 〃 | 80.7 | 72.2 | 18 | 59 | |
| R4 | 〃 | 700 〃 | 70.1 | 52.5 | 26 | 58 | |
| R5 | 880O | 400 〃 | 68.4 | — | 20 | 58 | |
| R6 | 〃 | 500 〃 | 66.8 | 58.0 | 24 | 57 | |
| R7 | 〃 | 600 〃 | 67.6 | 51.5 | 24 | 59 | |
| R8 | 〃 | 700 〃 | 58.4 | 44.2 | 29 | 63 | |
| S1 | 830W | 400 〃 | 140.8 | — | 8 | 27 | 疵 |
| S2 | 〃 | 500 〃 | 110.3 | — | 15 | 43 | |
| S3 | 〃 | 600 〃 | 91.0 | 83.6 | 18 | 53 | |
| S4 | 〃 | 700 〃 | 73.1 | 62.6 | 28 | 59 | |
| S5 | 830O | 400 〃 | 81.6 | — | 20 | 39 | |
| S6 | 〃 | 500 〃 | 85.4 | 64.0 | 16 | 35 | |
| S7 | 〃 | 600 〃 | 77.6 | — | 12 | 36 | |
| S8 | 〃 | 700 〃 | 73.8 | 55.1 | 26 | 36 | |
| T1 | 830W | 400 〃 | 169.5 | — | 6 | 12 | 疵 |
| T2 | 〃 | 500 〃 | 133.1 | — | 10 | 25 | |
| T3 | 〃 | 600 〃 | 66.2 | — | 3 | 0 | |
| T4 | 〃 | 700 〃 | 80.6 | 66.8 | 24 | 50 | |
| T5 | 830O | 400 〃 | 125.0 | — | 9 | 23 | |
| T6 | 〃 | 500 〃 | 121.8 | — | 9 | 27 | |
| T7 | 〃 | 600 〃 | 113.8 | 89.6 | 16 | 44 | |
| T8 | 〃 | 700 〃 | 88.0 | — | 22 | 47 | |

* 新扶桑金屬工業, 鋼管製造所

II. 實驗結果

(1) 熱處理溫度と酸洗脆化との關係

第2表の場合と同じくR鋼は880°CよりS鋼及びT鋼は830°Cより水焼入及び油焼入し之れを400, 500, 600, 650, 700°Cの各溫度に空氣焼戻して6時間酸洗し

第3表 0.2% 鋼の熱處理と酸洗脆化との關係

| 試料記號 | 燒入°C | 燒戻°C | 酸洗時間 | 抗張力 kg/mm ² | 降伏點 kg/mm ² | 伸縮 % | 破面狀況 |
|---------|-------|------|------|------------------------|------------------------|------|-------------------------------|
| R 9880W | 400AT | 6H | | 103.0 | 87.0 | 410 | 銀白點に近いもの(稍凹狀) 周邊に小さな魚の目狀のもの點在 |
| R10 | 500 | | | 80.8 | — | 1029 | 同 |
| R11 | 600 | | | 77.1 | 67.5 | 1435 | 同 |
| R12 | 650 | | | 71.8 | 60.1 | 2152 | 同 |
| R13 | 700 | | | 63.0 | — | 2349 | 同 |
| R14 | 880O | 400 | | 73.8 | 57.8 | 1733 | cup 狀内部に小さな魚の目狀のもの點在 |
| R15 | 500 | | | 57.4 | 45.3 | 1839 | 同 |
| R16 | 600 | | | 63.6 | 49.0 | 2243 | 同 |
| R17 | 650 | | | 61.9 | 50.1 | 2152 | 同 |
| R18 | 700 | | | 58.2 | 46.3 | 2648 | 同(數ヶ) |

第4表 0.5% 鋼の熱處理と酸洗脆化との關係

| 試料記號 | 燒入°C | 燒戻°C | 酸洗時間 | 抗張力 kg/mm ² | 降伏點 kg/mm ² | 伸縮 % | 破面狀況 |
|---------|-------|------|------|------------------------|------------------------|------|-----------------|
| S 9830W | 400AT | 6H | | 72.5 | — | 11 | 周邊に小さい銀白點狀のもの1ヶ |
| S10 | 500 | | | 110.3 | — | 77 | 周邊に稍cup 狀 |
| S11 | 600 | | | 85.8 | 78.3 | 1537 | 内部に小さい魚の目狀のもの點在 |
| S12 | 650 | | | 79.0 | 72.0 | 2045 | なし |
| S13 | 700 | | | 68.2 | 59.1 | 2448 | 内部に魚の目狀のもの1ヶ |
| S14 | 830O | 400 | | 87.6 | — | 1630 | 周邊に小さい銀白點狀のもの |
| S15 | 500 | | | 87.5 | 65.0 | 1020 | なし |
| S16 | 600 | | | 79.4 | 58.5 | 1538 | 内部に小さい魚の目狀のもの點在 |
| S17 | 650 | | | 78.2 | 56.8 | 1835 | 同 |
| S18 | 700 | | | 68.6 | 50.0 | 2146 | 同1,2ヶ |

之れを直ちに切斷した。その結果は第3~5表に示す通りである。之等の結果を比較すると鋼の機械的性質によつて發生する白點狀缺陷の位置形態が種々變化する事が

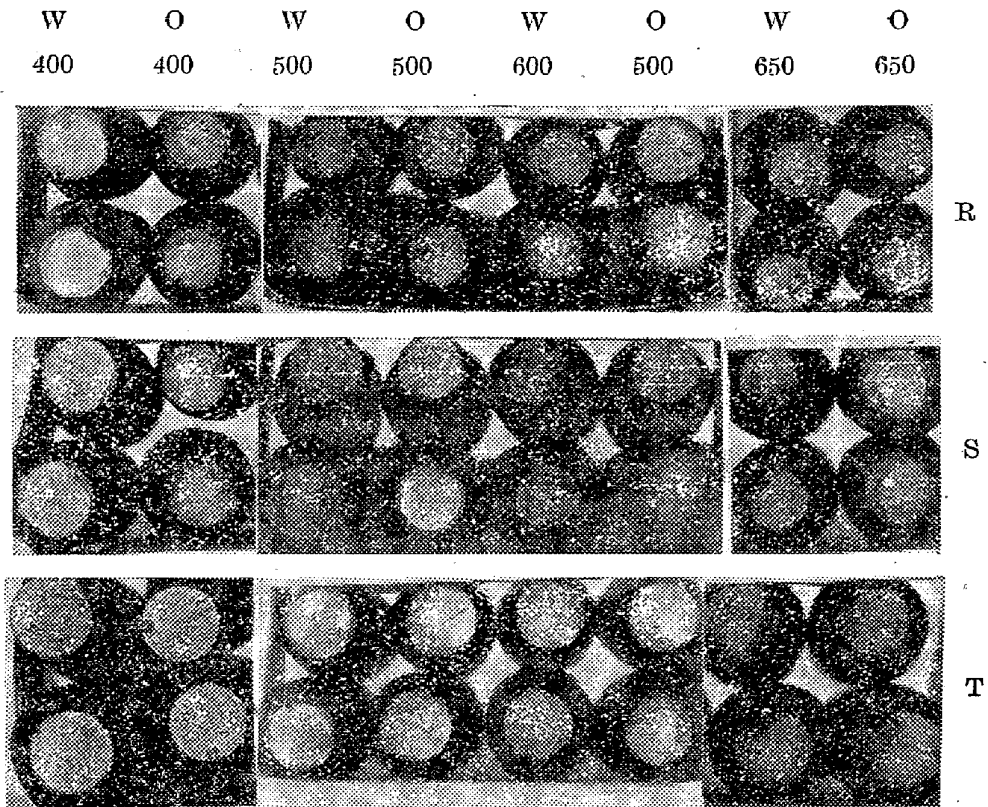
第5表 0.7% 鋼の熱處理と酸洗脆化との關係

| 試料記號 | 燒入°C | 燒戻°C | 酸洗時間 | 抗張力 kg/mm ² | 降伏點 kg/mm ² | 伸縮 % | 破面狀況 |
|---------|-------|------|------|------------------------|------------------------|------|-------------------|
| T 9830W | 400AT | 6H | | 113.5 | — | 1— | なし 周邊に普通の白點狀のもの2ヶ |
| T10 | 500 | | | 106.6 | — | 24 | 同數ヶ |
| T11 | 600 | | | 96.8 | — | 815 | 周邊に魚の目狀のもの數ヶ |
| T12 | 650 | | | 87.0 | 77.0 | 1731 | 内部に魚の目狀のもの2ヶ |
| T13 | 700 | | | 75.4 | — | 2030 | 周邊に普通の白點に近いもの |
| T14 | 830O | 400 | | 125.9 | — | 2— | 同 |
| T15 | 500 | | | 119.8 | — | 43 | 同 |
| T16 | 600 | | | 99.2 | 82.0 | 921 | 同 |
| T17 | 650 | | | 87.8 | 75.4 | 1627 | 周邊に魚の目狀のもの |
| T18 | 700 | | | 83.4 | — | 1630 | 中央に魚の目狀のもの2ヶ |

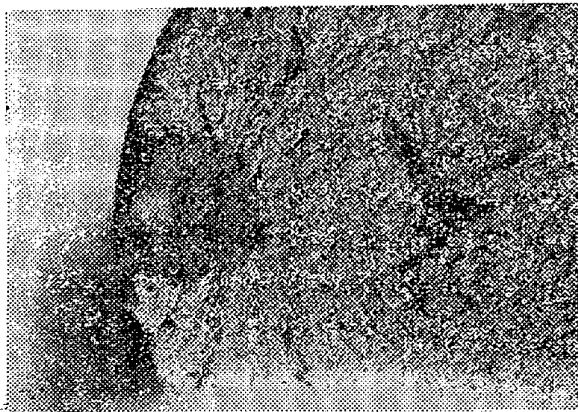
明瞭に觀察される。即ちR鋼に於ては炭素量が低い關係もあつて白點狀缺陷は400°Cで焼戻した場合を除いては水焼入油焼入共に試料の内部に點在して發生しその形態も一般に極めて小さいものが多くよく觀察すると中央部に目を有してFish-eye 狀を呈し既報の極軟鋼に發生したものと同等差異は認められない。水焼入400°C 焼戻に發生したものは可成り特殊鋼の酸洗に發生するものに近いが幾分凹形をなしcup 狀である。同じ溫度でも油焼入のものは中央部に發生し明瞭に凹形を呈している。Cの高いS鋼に於ても600, 650, 700°C 焼戻のものは内部に點在し形態はFish-eye 狀の目を有するものであるが500°C 焼戻では稍凹形を呈するが普通の白點狀のものに變り、400°C 焼戻では更に明瞭に普通の白點狀のものとなる。更にCの高いT鋼では油焼入700°C 焼戻のもののみ内部に發生してFish-eye 狀を呈し、650°C 焼戻及び水焼入700°C 焼戻のものは周邊に發生するも目を有している。600°C 以下の焼戻の場合には何れも大體周邊に發生し形態は普通の白點に近い。之の狀況を寫眞1に示した。尙T鋼の場合に興味ある事は寫眞2に示した如く白點の周圍に之れを中心とする黒い部分が發生し之れによつて中心部の白點狀缺陷が明瞭になる。之れは筆者の經驗によれば炭素鋼の特徴であつてその原因については定性的であるが後に考察する。

(2) 脆化に及ぼす酸洗時間の影響

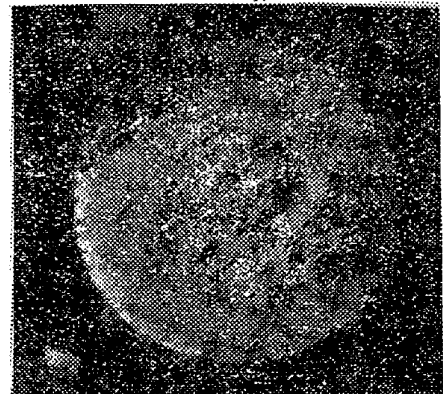
以上の實驗は何れも酸洗時間は6時間であつた。今酸洗時間を變化させた場合どんな結果が得られるかを次に



寫眞 1 炭素鋼酸洗の際の破面



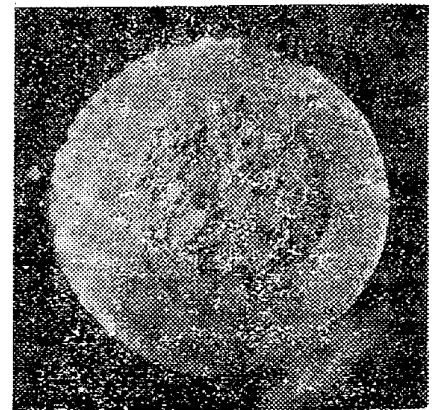
寫眞 2 酸洗した T 鋼の破面に現われた白點狀缺陷並びに黑色圓狀の黒斑の一例



寫眞 4 R 鋼を 72 時間酸洗した際に現われた多數の微小白點散在の狀況 (眼のある所に注目)



寫眞 3 R 鋼を 48 時間酸洗した際に現われた大きな Fish-eye 狀缺陷



寫眞 5 S 鋼を 6 時間酸洗した際の微小白點 (眼のある所に注目)

第6表 炭素鋼の脆化に及ぼす酸洗時間の影響

| 試料記號 | 熱處理 °C | 酸洗時間 | 抗張力 kg/mm ² | 降伏點 kg/mm ² | 伸 % | 絞 % | 破 面 状 況 | 備 考 | |
|------|----------------|------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|---------------------|-------------|---|
| R 3 | 830W 600A T | — | 80.7 | 72.2 | 18 | 59 | — | | |
| R11 | 〃 | 6H | 77.1 | 67.5 | 14 | 35 | 魚の目状の小さなもの内部に散在 | 29H 常温放置 | |
| R19 | 〃 | 6H | 62.2 | — | 2 | 40 | cup 状のもの1ヶ | | |
| R20 | 〃 | 24H | 72.0 | — | 14 | 39 | 微小なもの多数発生 | | |
| R21 | 〃 | 48H | 73.2 | — | 12 | 32 | 魚の目状數ヶ | | |
| R22 | 〃 | 72H | 71.4 | — | 10 | 47 | 中央に微小なもの多数 | | |
| R23 | 〃 | 96H | 80.6 | — | 8 | 28 | cup 状のもの2ヶ外微小なもの多数 | | |
| R24 | 〃 | 120H | 74.8 | — | 14 | 33 | 魚の目状のもの1ヶ, 外微小なもの數ヶ | | |
| S 3 | 830W 600A T | — | 91.0 | 83.6 | 18 | 53 | — | | |
| S11 | 〃 | 6H | 85.8 | 78.6 | 15 | 37 | 内部に小さい魚の目状のもの點在 | 24H 常温放置 | |
| S19 | 〃 | 6H | 85.9 | — | 18 | 39 | 微小なもの點在 | | |
| S20 | 〃 | 17H | 85.6 | — | 16 | 40 | 微小なもの多数點在 | | |
| S21 | 〃 | 24H | 84.4 | — | 15 | 41 | 稍大きなもの1ヶ外微小なもの數ヶ | | |
| S22 | 〃 | 48H | 92.8 | 85.1 | 20 | 44 | なし | | |
| S23 | 〃 | 72H | 85.5 | — | 14 | 37 | 魚の目状1ヶ | | |
| S24 | 〃 | 96H | 87.8 | 78.7 | 15 | 32 | 微小なもの僅か | | |
| S25 | 〃 | 144H | 87.2 | 79.7 | 16 | 36 | 破面不良, 微小なもの1ヶ | | |
| T 3 | 830W 600A T | — | 66.2 | — | 3 | 0 | — | | 疵 |
| T11 | 〃 | 6H | 96.8 | — | 8 | 15 | 周縁に普通の白點状のもの | | |
| T19 | 〃 | 6H | 102.7 | — | 12 | 22 | 内部及び周縁に小さなもの | | |
| T20 | 〃 | 24H | 102.0 | — | 13 | 22 | 同 | | |
| T21 | 〃 | 48H | 103.2 | 93.4 | 8 | 17 | 微小なもの數ヶ | | |
| T22 | 〃 | 72H | 103.0 | — | 8 | 16 | 極めて小さなもの1ヶ | | |
| T23 | 〃 | 96H | 103.3 | 66.8 | 10 | 18 | 小さなもの3ヶ | | |

試験した。試料としては水焼入 600°C 空気焼戻のものを使用した。その結果は一括して第6表に示した。之の結果より見れば発生する白點狀缺陷がB鋼等の特殊鋼に比較して小さい故明瞭でないとも考えられるが極軟鋼の酸洗の場合と同様抗張力も破面に現われる白點狀缺陷も殆んど酸洗時間によつて影響を受けていない様に思われる。之等の試験中に現われた代表的な Fish-eye 狀缺陷を擴大して寫眞 3~5 に示した。第3圖の大きな Fish-eye 狀白點はR鋼を48時間酸洗した際に発生したもので之れ程大きなものは他に一度も本試験中では発生しなかつた。第4圖は同じR鋼を72時間酸洗した際に現われた微小白點が多数點在して発生した例である。斯様に同一鋼種同一熱處理でも発生する白點狀缺陷の大きさには著しい差のある場合がありその原因は不明であるが主要な點即ち内部に発生するとか目を有するという様な點には差は生じない。第5圖はS鋼に発生した同じく微小な Fish-eye 狀缺陷の例で明瞭に中央に目の存在が認めら

れる。

(3) 脆化回復に及ぼす常温放置の影響

次に酸洗脆化した試料を常温に放置した場合その脆化の回復はどうなるか又破面上に現われる白點狀缺陷が如何に變化するかを試験した。その結果は第7表に示す通りであつて破面に現われる白點狀缺陷は60時間位の常温放置によつて消失しこの傾向は炭素量の高いS鋼T鋼程速かである様に思われる。

(4) 酸洗直後の焼鈍の影響

以上の如き炭素量の異なる炭素鋼が焼入状態或いは低温焼戻状態で酸洗された場合白點狀缺陷が何時発生するかを檢べるためその状態で之等の鋼より得た試験片を酸洗し、酸洗直後之れを600°Cの爐中に入れて焼鈍して過剰水素を除去しその破面を檢べた。その結果は第8表に又その破面は寫眞6に示す通りである。この結果より明らかな如く炭素量の高いS鋼T鋼を水焼入した場合には構造用特殊鋼の場合と同じく酸洗途上に白點狀缺陷が発

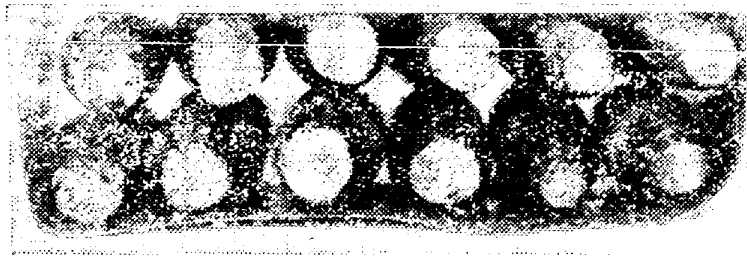
第7表 胞化回復に及ぼす常温放置時間の影響

| 試料記号 | 焼入 °C | 焼戻 °C | 酸洗時間 | 常温放置 時間 | 抗張力 kg/mm ² | 降伏点 kg/mm ² | 伸 % | 絞 % | 破面状況 |
|------|----------|----------|------|------------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|--------------|
| R24 | 880O | 500AT | 6H | 直ちに | 67.1 | 52.7 | 22 | 42 | 微小な魚の目状内部に点在 |
| R25 | " | " | " | 18H | 66.2 | 49.7 | 21 | 37 | 同 |
| R26 | " | " | " | 42H | 65.6 | 49.1 | 21 | 50 | なし |
| R27 | " | " | " | 66H | 66.0 | 46.9 | 22 | 45 | 魚の目状のもの2ヶ |
| R28 | 880W | 600AT | " | 直ちに | 82.0 | 74.6 | 20 | 50 | なし |
| R29 | " | " | " | 18H | 80.6 | 72.8 | 20 | 50 | なし |
| R30 | 880O | 600AT | " | 直ちに | 65.4 | 52.0 | 21 | 35 | 魚の目状のものあり |
| R31 | " | " | " | 18H | 64.4 | 49.4 | 26 | 48 | 魚の目状のものあり |
| S26 | 830W | 600AT | 8H | 24H | 91.0 | 83.6 | 17 | 44 | なし |
| S27 | " | " | " | 264H | 93.2 | 84.4 | 19 | 50 | なし |
| S28 | 830O | 600AT | 6H | 直ちに | — | — | — | — | 魚の目状2ヶあり |
| S29 | " | " | " | 240H | 81.9 | 59.0 | 21 | 50 | なし |
| S30 | " | 500AT | " | 直ちに | 92.6 | — | 14 | 31 | 微小なもの多数あり |
| S31 | " | " | " | 18H | 93.8 | 74.1 | 14 | 26 | 中央に3, 4ヶ |
| S32 | " | " | " | 42H | 81.7 | 58.1 | 16 | 32 | 僅か痕跡らしきものあり |
| S33 | " | " | " | 66H | 84.6 | 61.1 | 18 | 38 | なし |
| T24 | 830O | 500AT | 6H | 直ちに | 119.6 | — | 8 | 12 | あり |
| T25 | " | " | " | 18H | 127.6 | — | 8 | 21 | あり |
| T26 | " | " | " | 42H | 122.4 | — | 11 | 24 | あり |
| T27 | " | " | " | 66H | 126.1 | 115.5 | 10 | 42 | なし |
| T28 | 830W | 600AT | " | 直ちに | 100.3 | 90.1 | 13 | 19 | あり |
| T29 | " | " | " | 18H | 100.9 | — | 14 | 26 | 極めて小さなものあり |
| T30 | 830O | " | " | 直ちに | 100.1 | 84.1 | 13 | 25 | 中央にあり |
| T31 | " | " | " | 18H | 99.3 | 70.5 | 14 | 25 | 小さなものあり |

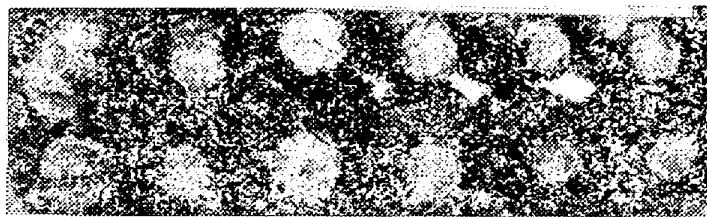
第8表 各種炭素鋼の酸洗直後の加熱による脆化回復状況

| 試料記号 | 焼入 °C | 焼戻 °C | 酸洗時間 | 後処理 | 抗張力 kg/mm ² | 降伏点 kg/mm ² | 伸 % | 絞 % | 破面状況 |
|------|----------|----------|------|-------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| R32 | 880W | — | 6H | 直ちに | 74.3 | 63.4 | 21 | 60 | なし |
| R33 | "O | — | " | 600°C | 64.0 | 47.9 | 29 | 60 | なし |
| R34 | "W | 200AT | " | (1H) | 72.8 | 63.1 | 21 | 59 | なし |
| R35 | "O | " | " | AT | 70.8 | 53.3 | 26 | 47 | なし |
| S34 | 830W | — | " | | 77.6 | — | 7 | 21 | あり (銀白点状) |
| S35 | "O | — | " | | 74.3 | — | 1 | — | なし (試料不良) |
| S36 | "W | 200AT | " | | 81.8 | 74.3 | 12 | 18 | あり (銀白点状) |
| S37 | "O | " | " | | 80.2 | 59.1 | 27 | 47 | なし |
| T32 | "W | — | " | | 93.0 | — | 6 | 13 | あり (銀白点状) |
| T33 | "O | — | " | | 91.8 | — | 13 | 19 | なし |
| T34 | "W | 200AT | " | | 88.0 | 79.3 | 10 | 6 | あり (銀白点状) |
| T35 | "O | " | " | | 95.4 | — | 14 | 36 | なし |

水 燒 入



油 燒 入



燒戻なし 200°CAT燒戻なし 200°CAT燒戻なし 200°CAT
S鋼 T鋼 R鋼

寫眞 6 燒入状態及び低温燒戻状態で酸洗した際に酸洗途上に發生する白點狀缺陷

第 9 表 鋼種及び熱處理による白點狀缺陷の發生時期, 發生位置及び形狀の變化

| 鋼種 | 熱處理 | | | | | | | 油燒入 | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| | 水燒入 燒入の まま | 300°C 以下燒戻 | 400°C 燒戻 | 500°C 燒戻 | 600°C 燒戻 | 650°C 燒戻 | 700°C 燒戻 | 油燒入 のまま | 300°C 以下燒戻 | 400°C 燒戻 | 500°C 燒戻 | 600°C 燒戻 | 650°C 燒戻 | 700°C 燒戻 |
| B 鋼 (Si-Mn-Cr) | 酸洗中に發生 に銀白點狀 | 酸洗中に發生 に銀白點狀 | 酸洗中に發生 に銀白點狀 | 酸洗中に發生 に銀白點 せず | 酸洗中に發生 に銀白點 せず | — | 酸洗中に發生 に銀白點 せず | 酸洗中に發生 に銀白點 狀 | 銀白點 狀 | 周邊に 銀白點 狀 | 周邊に 銀白點 狀 | 周邊に 銀白點 狀 | 主として 周邊に 銀白 點狀 | 内部及び 周邊に 銀白 點に 近い が稍 cup 狀 |
| T 鋼 (0.7% C) | 酸洗中に發生 に銀白點 狀 | 酸洗中に發生 に銀白點 狀 | — | 周邊に 銀白點 に近い もの | 周邊に 銀白點 に近い もの | 周邊に Fish- eye 狀 | 周邊に Fish- eye 狀 | 酸洗中に發生 にせず | 酸洗中に發生 にせず | 周邊に 銀白點 狀 | 周邊に 銀白 狀 | 周邊に 銀白 狀 | 周邊に 銀白 狀 | 内部に Fish- eye 狀 |
| S 鋼 (0.5% C) | 酸洗中に發生 に銀白點 狀 | 酸洗中に發生 に銀白點 狀 | 周邊に 銀白 點狀 | 周邊に 稍 cup 狀 | 周邊に 稍 cup 狀 | — | 内部に Fish- eye 狀 | 酸洗中に發生 にせず | 酸洗中に發生 にせず | 周邊に 銀白 點狀 | — | 内部に Fish- eye 狀 | — | 内部に Fish- eye 狀 |
| R 鋼 (0.2% C) | 酸洗中に發生 にせず | 酸洗中に發生 にせず | 周邊に 銀白 點に 近い が稍 cup 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 酸洗中に發生 にせず | 酸洗中に發生 にせず | 内部に cup 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 |
| P 鋼 (0.2% C) | 酸洗中に發生 にせず | 酸洗中に發生 にせず | 周邊に 銀白 點に 近い が稍 cup 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | — | 内部に Fish- eye 狀 | 酸洗中に發生 にせず | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 |
| N 鋼 (0.2% C) リムド鋼 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | — | 内部に Fish- eye 狀 | 酸洗中に發生 にせず | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 | 内部に Fish- eye 狀 |

(備考) (1) 空欄は試験を行わなかつたもの及び試験の結果不明のものである。

(2) 「酸洗中に發生」或いは「發生せず」とない場合は B 鋼油燒入の場合を除き
切斷の際にのみ發生せるものである

B 鋼の場合には油燒入でも 400°C 以下の燒戻では酸洗中に發生するものと考えられるが試験は行
わなかつた。

生しその形態は完全にB鋼の場合と同じく銀白點狀である。之れに對しR鋼は極軟鋼の場合と同様完全に軟化し白點狀缺陷も完全に消失している。又油焼入の場合にはS鋼T鋼に於ては焼鈍後も尙脆化の傾向を残しているが白點狀缺陷の發生は認められなかつた。これは炭素鋼の場合には水焼入の場合にのみ充分なる焼入状態になり油焼入の場合には不完全なためと思われ、結局酸洗途上に於て白點狀缺陷が發生するかどうかには焼入後の残留應力の方向及び大きさが問題となるものと推察される。

III. 結果の總括並びに考察

本報に於て述べた結果は前報に於て報告した極軟鋼の酸洗の場合に發生する Fish-eye 狀缺陷と第5報に報告した構造用特殊鋼に生ずる銀白點狀缺陷とが合金成分等による化學的組成の差に基く本質的な差異によつて生じたものでなく、その鋼が有する物理的性質即ち外部應力に對するその鋼が或る状態で有する從屬的な機械的な性質に基くものである事を明らかにするため兩者の中間的性質を有すると考えられる炭素鋼によつて之れを確めた結果である。

今之れを明瞭ならしめるため本報の結果を綜括すると共に從來の結果を綜合して一つの表に纏めたものが第9表である。第9表から明らかな如く構造用特殊鋼から極軟リムド鋼に到る一列の鋼に對し熱處理によつて機械的性質が變化するのに応じて發生する白點狀缺陷の形態は銀白點狀のものから凹形のcup狀え更に中央部に目を有する Fish-eye 狀のものへと變化している。又發生位置も主として周邊部に生ずるものから中央部に發生するものへと變り、更に酸洗中に白點狀缺陷を發生する場合から酸洗途上に發生しない場合へと變化している。後の二者は主として試料中に存在する残留應力が之れに關係するものと考えられる。

又白點狀缺陷の形狀とその鋼の機械的性質との關係に關しては、極めて定性的ではあるが前報に於て考察した如く分離抗力と滑り抵抗の大き並びにその相對的關係、歪に對する相對的變化に基くものと思われ、核を中心として水素による内部應力及び其の他の外部應力による局部分離破壊に對してその他の部分の塑性變形がどの程度進行するかによつて定まるものであると考えられる。即ち塑性變形の程度によつて分離破壊面の變形度が定まり、之れによつて分離破壊面の底に發する切線應力の大きが變り若しその際鋼の破壊抗力の大きを越えればガスパイプ狀の割れを有する Fish-eye 狀となり、越えなければ Cup 狀となるものと考えられる。従つて

Fish-eye 狀の缺陷は一般に降伏點抗張力の低い鋼に出易い事が容易に推定される。又その相對的變化も當然之れに關係して來るが分離抗力の値は抗張力と異なり測定困難で測定値がないので定量的に之等の値がどの程度の時形態の變化が起るかを示し得ないのは残念である。今第10表に一例として Kuntze¹⁾ の測定による分離抗力と滑り抵抗の關係を示すが、資料としては極め

第10表 分離抗力と滑り抵抗の變化
(Kuntze)

| 鋼種 | 歪 % | 分離抗力 kg/mm ² | 滑り抵抗 kg/mm ² |
|---------------------|-----|----------------------------|----------------------------|
| 0.15% C steel | 0 | 72 | 22 |
| | 5 | 87 | 30 |
| | 10 | 102 | 38 |
| 0.5~0.6% C steel | 0 | 72 | 51 |
| | 5 | 80 | 56 |

て不備で實測によつたものかどうか不明だが、之の結果より見れば高炭素鋼は低炭素鋼に比較して局部分離破壊面に塑性變形が起り難く、逆に低炭素鋼は塑性變形を起し易く、前者に銀白點狀、後者に Fish-eye 狀の缺陷が起り易い事は推察されると思はれる。併し分離抗力に關しては尙今後の研究に俟たねばならぬ點があると思われる²⁾。

最後に高炭素鋼の白點狀缺陷の周邊に發生する黒斑に關しては、分離破壊、塑性破壊の關係を假りに最大剪斷應力説を用いて計算すると定性的な説明を行うことが出来る。即ち切欠應力の關係から局部分離破壊を起した部分が塑性變形を起し始めた時その周邊より離れた部分で分離破壊が起る様な條件になる事が計算上出て來る。併し破壊及び變形の一假説である最大剪斷應力説が斯様な微妙な關係に迄適用出来るかどうか疑わしい。併し兎に角これも分離抗力と滑り抵抗の關係が或る割合になる時に起る現象であると思はれる。

以上の結果或いは既に報告した結果を綜合すれば白點という現象は過飽和水素の存在という事は勿論第一の條件であつて、過飽和水素が存在しない場合は別として、分離抗力と滑り抵抗が或る一定の關係にある場合にだけ起り得る現象であり鋼種による白點發生感度の差も或る程度之の性質に基くものと考えられる。

今或る一定の外部應力の許で局部分離破壊が起る場合に滑り抵抗の絕對値が大きければその分離破壊は切欠効果の影響も受けて或る程度の大き迄進行し易いのに對し、滑り抵抗の絕對値が低ければ分離破壊は進行し難く、且外部應力が増大した時前者では益々その破壊が助

長されるのに對し後者では鋼自身が應力を減少する方向に塑性變形して外部應力の影響は減少し破壊の進行は阻止される傾向となる。又分離抗力と滑り抵抗の相対比が1に近く歪に對して益々1に接近する様に進めば更にこの局部分離破壊は容易となり、逆にこの値がもつと大きく且益々大となる傾向にあればこの局部分離破壊は困難となる。結局水素によつて生じた白點核が白點狀缺陷に迄進行するかしないかは、一つにはその鋼の上述の性質に基くものと考えられ鋼種による白點發生感度の差はある程度その鋼種の上述の性質の差によつて必然的に決定されて來る本質的なものであると考えられる。例えば18~8 オーステナイト鋼に白點を生じない原因は此處にあると考えられる。併しこれは同一の水素の適飽和度を假定した上である故、この水素の過飽和度を決定する合金元素による水素の吸収能、擴散能或いは自硬性等が實

際には大きな原因である事は云う迄もない。

IV. 結 語

第5報、第6報及び本報は各種の鋼について酸洗後抗張試験を行い、そこに發生する白點狀缺陷の形態と機械的性質との關係を考察したもので、之等の結果より白點狀缺陷の發生並びに形態は鋼の有する機械的性質と密接な關係にある事を定性的ながら明らかにし得た。併し更に本質的な外部應力或いは水素の存在状態の影響等に關しては次報以下で報告する豫定である。

(昭和24年、7月寄稿)

文 献

- 1) Kuntze: Z. Metallk. 22 (1930) 264.
- 2) D. J. Mc Adam: A. I. M. E. 150 (1942) 311

鐵及び鐵合金の高温酸化に関する研究 (VI)

—Fe-Cr 合金の酸化物被覆の構造—

(昭22,10月、本會講演大會にて講演)

三 島 徳 七* 梶 山 正 孝*

STUDY ON HIGH TEMPERATURE OXIDATION OF IRON AND ITS ALLOYS (VI)

(On the Structure of the Scale Produced on the Iron-Chromium Alloys)

Tokushichi Mishima & Masataka Sugiyama

Synopsis :— The structure of the oxide coating of the Fe-Cr alloys which was produced high temperature oxidation was studied and the difference of the scale structure owing to chromium content was clarified. The thickness of the each layer of the scale produced by oxidation (1200° × 2hrs) was shown in Fig 2, and the scale structure of the alloys was illustrated in Fig 3 and Fig 5.

The layer I, II, III and IV is consisted of Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO and $FeO \cdot (Fe, Cr)_2O_3$ respectively.

The oxidation velocity is decreased by the glowing of the $FeO \cdot (Cr, Fe)_2O_3$ layer, but the excellent oxidation resistance of the high chromium alloys is due to the Cr_2O_3 film.

I. 緒 言

鐵の高温酸化に際し金屬表面に生成される酸化物被覆(スケール)の構造並びに生成機構に關しては、第1報に於て既述した通りである。鐵合金の高温酸化により生成された酸化物被覆の構造に就ても著者は系統的に驗べた

が、本報告に於ては Fe-Cr 合金に關し記載する。優秀なる耐高温酸化性を保持する高合金量の鐵合金の酸化物被膜に就ては、X線或ひは電子線的研究報告が發表されてあるが、合金元素量と酸化物被覆との關係に就て詳

* 東京大學第一工學部