

(55) 含硼素強靱鋼に関する研究 (IV)

(Si-Mn 鋼と Cr-B 鋼の焼入性及変態特性について)

(Studies on Boron-Treated Constructional Alloy Steels (IV))

Mutsuo Inoue, Lecturer, et alius.

住友金属工業 K.K. 製鋼所技術部 工河 井 泰 治
 ○井 上 陸 雄

I. 緒 言

筆者等は一昨年来含硼素強靱鋼の実用化のために、既報の如く種々の基礎的な実験を行ってきた。¹⁾²⁾ 今回は 0.6% C の Si-Mn 鋼及び Cr-B 鋼について、焼入性及び変態特性に関する研究を行い、その性能の比較検討を試みた。即ち、実用上において最も問題となる鋼の材力は、その鋼の焼入性によつて左右せられることは周知のことであつて、焼入性の判定としては Jominy 一端焼入による方法が一般に用いられているが、これのみでは未だ不充分であつて、等温変態曲線或いは連続冷却変態曲線の結果を総合して考察する必要がある。以上の観点に基いて上記 2 鋼種について Jominy 焼入性硬度曲線、質量効果及び等温変態曲線を求めると同時に Jominy 試験片における不完全焼入時の顕微鏡組織を光学並びに電子顕微鏡により詳細に観察した。その結果二、三の興味ある現象が認められたのでこれについて報告する。

II. 焼入性の比較

塩基性電気炉製 Si-Mn 鋼 30 溶解及び二種の Cr-B 鋼について、標準 Jominy 焼入性試験による硬度曲線を求め “H Band” を比較した結果は Fig. 1 に示す通りである。尙図には 1% 炭素鋼 30 Charge の結果を併記した。即ち図より明らかな如く、Cr-B 鋼は同等な C% を有する Si-Mn 鋼及び 1% 炭素鋼等に較べて遙かに優れた焼入性を有しているのが認められる。又二種の Cr-B 鋼においては Cr 含有量の高い Cr-B 鋼 2 種 (0.7/0.9 Cr%) の方が硬化能が大である。

次に上記各鋼種の代表的成分のものについて、各種直径の圧延棒鋼を油焼入して断面硬度分布状況を測定した結果は Fig. 2 に示す通りであつて先の Jominy 曲線より推定せられる如く各鋼種によつて顕著な差異が認められる。即ち 1% 炭素鋼及び Si-Mn 鋼においては 20mmφ において既に質量効果が認められ、50mmφ においては中心部のみならず表面硬度も相当低下しているが、一方

| Composition Class | C | Si | Mn | P | S | Ca | Cr | B add. |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|----|----------|-------------|
| Cr-B Class 1 | 0.55/0.65 | 0.20/0.35 | 0.75/1.00 | <0.035 | <0.035 | — | 0.4/0.60 | 0.002/0.003 |
| Cr-B Class 2 | ” | ” | ” | ” | ” | — | 0.7/0.90 | ” |
| Si-Mn Steel | 0.55/0.65 | 1.50/1.80 | 0.70/1.00 | <0.035 | <0.035 | — | — | — |
| 1% Carbon Steel | 0.90/1.10 | 0.15/0.35 | 0.30/0.60 | <0.035 | <0.035 | — | — | — |

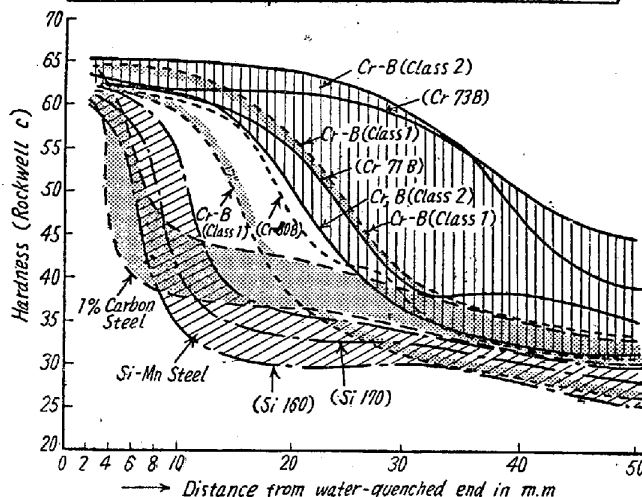


Fig. 1. Jominy hardenability curves.

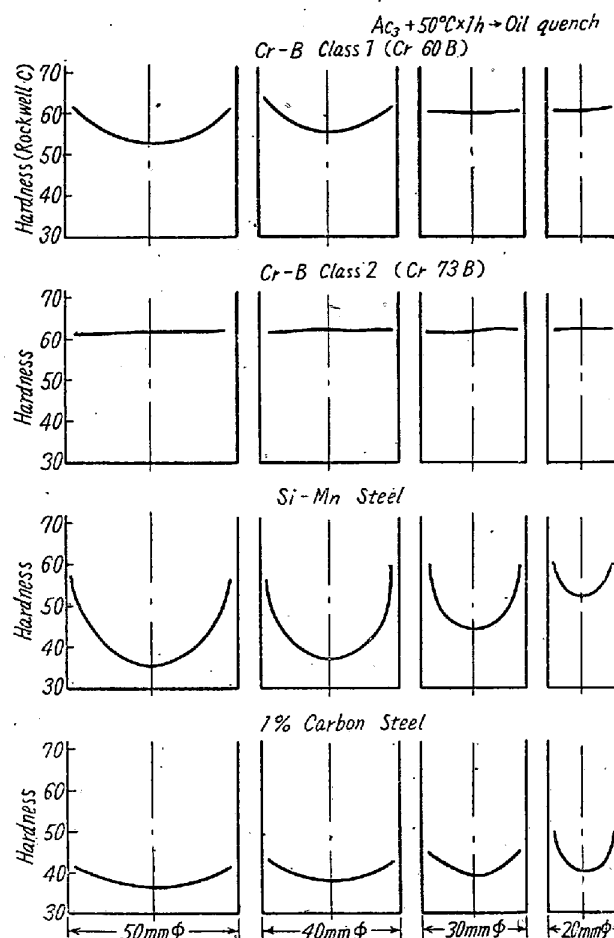


Fig. 2. Mass effect of steels.

Cr-B 鋼では 50mmφ においてもその程度は非常に少く、特に Cr-B 鋼 2 種では 20mmφ の場合と全く硬度

分布に差違が認められず極めて良好なる焼入性を有していることが確認せられた。

III. 等温変態曲線

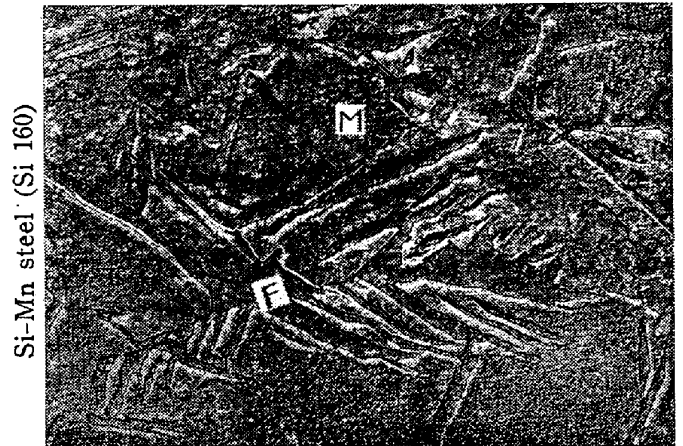
Si-Mn 鋼については U. S. Steel における S. A. E 9260 鋼の Data があるが、当所では Si-Mn (Si 170) 及び Cr-B 2 種 (Cr 71B) の両鋼種についてこれを求めた。測定方法は、3mmφ×30mm の膨張試験片を使用し、既報³⁾ の熱膨脹式等温変態測定器を用いて計測を行い、特に 10sec 以内は 2×5×8mm の小試験片による経時焼入組織硬度法を併用した。その結果、Si-Mn 鋼はパーライト鼻附近の変態速度が著しく大で、特に初析フェライトの開始が早いことが知られ曲線の形状は概ね C 曲線を呈している。Cr-B 鋼は明瞭な Double nose となりパーライト及び中間段階変態の鼻が上下に分離する。各変態共に Si-Mn 鋼に比し変態の開始及び進行が著しく遅く、特に初析フェライトの開始が著しく抑制されることが明らかとなった。

IV. 不完全焼入組織の観察

Si-Mn 鋼 (Si 160) 及び Cr-B 2 種鋼 (Cr 73B) について、Jominy 試験片の一端焼入組織の水冷端より変化を×500 の光学顕微鏡により詳細に観察し、同一組織を Formvar-Al Replica (Cr shadow) を用い電子顕微鏡 (×10,000) により微細観察を行った。

両供試材の焼入性が異なるため水冷端より同一距離における変態進行程度が異なるのは当然であるが、同一変態進行程度の組織を比較した場合、全くその特徴を異にすることが知られた。即ち Si-Mn 鋼では初析フェライトが著しく早期に粒界に生じ、この粒界フェライトを起点とし結晶面に沿って直線状に粒内に進行する。この粒界並びに粒内のフェライト析出は頗る顕著でありこれを進行すると r の面積が縮小していくがベイナイト状の炭化物変態は殆んど生ぜず微細パーライト (結節状トルースタイト) を生ずる。これに対し Cr-B 鋼ではベイナイトが明瞭にあらわれ、水冷端附近では針状フェライト中に方位性をもつて微細炭化物の配列した所謂低温ベイナイト状を呈し水冷端よりの距離の増加と共に、粒内フェライトと平行に炭化物が析出した高温ベイナイトの比較的粗い組織配列をとる。更に距離を増加すれば前者と全く特徴を異にした微細層状のパーライト (結節状トルースタイト) を生じ漸次ベイナイトを置換し、この部分に Jominy 曲線の異常性を生ずる。以上の組織変化は両供試材の等温変態曲線と密接な関連を有し、Si-Mn 鋼で

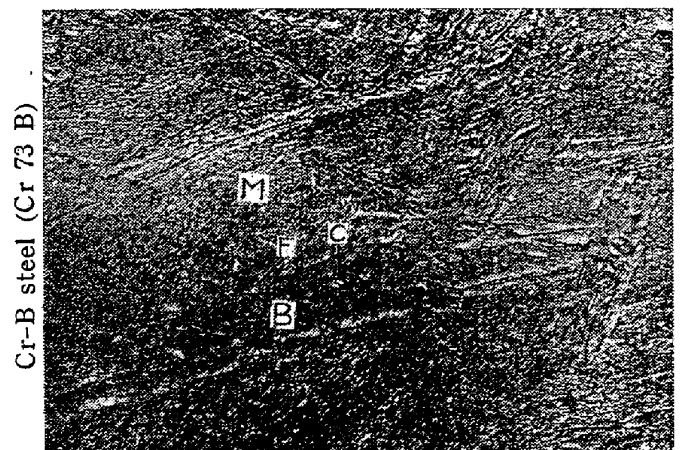
は初析フェライト変態が著しく早く生ずるが明瞭なベイナイト鼻を有しないでベイナイト組織は殆んど生じないが、Cr-B 鋼では冷却中にベイナイトの鼻にかかるのでこの組織が明瞭に出現し、冷却速度により変態温度を異にするので複雑な組織となる。尙電子顕微鏡 ×10,000 による顕微鏡組織観察の一例は Fig. 3 に示す通りである。



×10,000 (1/3 Contracted).

Showing the structure at 6mm apart from water-quenched end.

5% Picral etch. Formvar-Al Replica, shadowed with Cr. M: martensite F: ferrite.



Showing the structure at 20mm apart from water-quenched end.

M: martensite B: bainite F: ferrite
C: carbide.

Fig. 3. Electron microstructure of Si-Mn steel (Si160) appeared by incomplete quenching operation.

V. 焼戻性能

二種の Cr-B 鋼について、50φ、40φ 及び 28mmφ 径に圧延した棒鋼を 200mm 長さ に切断後、夫々 860°C ×1/2h → A. C, 860°C ×1h → O. Q 及び 400~550°C ×

2h→A. C の調質処理を行い機械的性質を調べた結果、直径の差による機械的性質の相違は殆んど認められず又本鋼種は 1% 炭素鋼及び Si-Mn 鋼に比較して降伏比が大なる特徴があり且つ靱性の面においても良好であるのが明らかとなった。

VI. 結 言

主として焼入性及び顕微鏡組織の面より Si-Mn 鋼及び Cr-B 鋼の性質を比較した結果、次の如き特徴が認められた。

1) Cr-B 鋼は Si-Mn 鋼及び 1% 炭素鋼に比較して焼入性は遙かに良好であり 50 mmφ を油焼入した際も Cr 量、調節により殆んど質量効果が生じなくなる。

2) 等温変態曲線を見ると、Si-Mn 鋼は概ね C 曲線を示し初析フェライトの析出も早いと明瞭なベイナイト鼻は有しない。一方 Cr-B 鋼は明瞭な Double nose となり且つ変態開始及び終了が遅く特に初析フェライトの析出が著しく抑制せられる。

3) Jominy 一端焼入試験片について不完全焼入時の組織を電子顕微鏡により観察した結果、Si-Mn 鋼は著しく早期に粒界及び粒内に初析フェライトを生じ、これが進行するとベイナイト状組織を生ずることなく粒状の微細パーライトが出現する。これに対し Cr-B 鋼では初析フェライトの析出は顕著でなく結晶面に直線上に走るベイナイト組織を生じ、水冷端よりの距離が増すと始めて微細パーライトが出現しベイナイトを置きかえる。

4) 前項の不完全焼入組織の差異は両鋼種の等温変態曲線の相違と密接な関連を有することが指摘された。Cr-B 鋼においては焼入性の改良により従前の鋼種に比し遙かに太いものに対しても良好な材力を与え得ることが明瞭とされた。

終りに本研究の一部を担当されし小川権雄、西田源泉両氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 河井, 井上, 小川; 本誌 39 (1953) 6, 602
- 2) 河井, 井上, 小川; 本誌 39 (1953) 7, 716
- 3) 河井, 小川; 本会第 42 回講演大会大要 (1951)

(56) 肌焼鋼の低温焼戻脆性に及ぼす Al, Ti 及び B の影響

(Effect of Al, Ti and B Addition on the Embrittlement of Case-hardening Steel as Tempered at Low Temperature)

Kiyoyuki Ogawa, Lecturer, et alius.

東京大学工学部 教授 工博 芥 川 武
東京大学大学院学生 工〇小 川 清 行

I. 緒 言

鋼の低温焼戻脆性に関しては最近 T. Swinden & G. R. Bolsover¹⁾, H. Schrader, H. J. Wiester u. H. Sepmann²⁾, P. Payson³⁾, 高尾, 国井⁴⁾, 河井, 益子, 西田⁵⁾ その他の研究があるけれども尙明確にされていない点がある。本実験では河井等の研究と同様焼入強靱鋼の低温焼戻脆性に及ぼす Al, Ti 及び B の影響を調べたのであるが、特に光学及び電子顕微鏡組織との関連を検討した。

II. 実験試料

6t 塩基性電気炉で熔製した Mn-Cr 肌焼鋼でその組成は次の如くである。

C Si Mn P S Cr Ni Cu
(%) 0.19 0.33 0.80 0.022 0.012 1.16 0.14 0.23

Al 0.05% は炉内で出鋼約 5 分前に添加し、その他の Al 及びフェロチタン、フェロボロンは取鍋より鑄型に注入の際添加した。この添加法の可否については予め数回鋼塊の各位置より試片を採取して焼入性その他に検討を加えたものである。

Table 1 は各供試材の Al, Ti, B 添加量ならびにオーステナイト粒度 (925°C, 1h 酸化法による) とその標準偏差 (学振 19 委—2644 による) を示す。

Table 1

| No. | Al (%) | | Ti (%) | | B (%) | | Austenite grain size. | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|------------------------|
| | in bath | in mold | in mold | in mold | in mold | in mold | No. (\bar{N}) | Deviation (σ) |
| 1 | 0.05 | — | — | — | — | — | 7.5 | 1.7 |
| 2 | 0.05 | 0.04 | — | — | — | — | 9.6 | 1.2 |
| 3 | 0.05 | — | 0.02 | — | — | — | 9.3 | 1.3 |
| 4 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | — | — | — | 9.1 | 1.2 |
| 5 | 0.05 | 0.02 | 0.10 | — | — | — | 9.9 | 1.1 |
| 6 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.002 | — | — | 8.8 | 1.1 |

III. 実験方法

圧延材よりシャルピー試験片を採取した。焼ならし後試験片を粗仕上し、下記の熱処理を施して正規の寸法に仕上げた。

- (i) 焼入: 900°C × 30mn, 油冷
- (ii) 焼戻温度の影響: 120, 180, 240, 300, 360 及び 420°C 各 2h, 空冷
- (iii) 焼戻時間の影響: 360°C にて 5mn, 20mn, 1h, 2h, 5h, 10h.