

含 B 鋼 の 研 究 (第 1 報)

—変態点及び組織に及ぼすBの影響—

小 野 健 二* 根 本 正**

Study of Boron Steels (Report 1)

—Effect of Boron on Transformation Point and Microstructure—

By Kenzi Ono and Tadashi Nemoto
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

How boron influences the transformation point and microstructure of steel is discussed in this article, based on the results of the writer's experiment with specimens molten in a vacuum furnace and specially heat-treated or carburized.

Observations of the same experiment, contracted in few lines, may be given as follows:

- (1) A minute addition of boron makes rise, though slightly, the transformation temperature of steel.
- (2) Boron constituent appears in ferrite grain and grain boundary of austenite.
- (3) Globularization of primary cementite on carburizing and pearlite is made easier with the increase of boron content.

〔I〕 緒 言

Bが鋼の材質改善に役立つものとして米国に於て盛に研究がなされB処理鋼として実用に供されている⁽¹⁾。又我国に於ても最近各所で含B鋼の研究がなされているが^{(2)~(7)}、著者等は先ずB量と変態点、特殊な熱処理による組織及び滲炭組織に就いて二三の実験を行つた結果に就いて報告する。

〔II〕 試 料 及 び 実 験

炭素鋼 (C≒0.6%) に B を 0.025% 以下の範囲に添加した7種の含B鋼を真空熔解して窒素含有量の低下を図り、且つその量をほぼ一定になし得るようにした。熔解原料として炭素鋼は 950°C の水素気流中で処理後用いられ、又Bは細粒の Fe-Ti-B 合金から添加された。又微量含まれる酸素及び窒素は少量の Mn, Al (0.05%) と Ti (0.1%) の添加により脱酸され、又安定な窒化物が作られBの添加を容易ならしめた。第1表は Fe-Ti-B 合金の組成、第2表は試料の化学成分を示す。

第 1 表 Fe-Ti-B 合金の成分 (%)

Table 1. Composition of Fe-Ti-B Alloy

C	Al	B	Ti
0.013	11.10	1.82	17.49

第 2 表 試料の化学的組成 (%)

Table 2. Chemical Composition of Specimens (%)

試番	C	Si	Mn	B (配合量)	摘 要
B-1	0.58	0.81	0.46	0.025	含 B 鋼
B-2	0.49	0.77	0.48	0.016	含 B 鋼
B-3	0.60	0.57	0.48	0.013	含 B 鋼
B-4	0.44	0.53	0.44	0.010	含 B 鋼
B-5	0.53	0.60	0.47	0.005	含 B 鋼
B-6	0.61	0.65	0.46	0.003	含 B 鋼
B-7	0.52	0.64	0.42	—	無 B 鋼

* 日立製作所日立研究所 工博

** 日立製作所日立研究所

鋼塊を 10 mm 丸に鍛伸後 6 mm φ に線引し熱膨脹測定試片 (5 mm φ × 70 mm l) と顕微鏡及び滲炭試片 (10

mmφ×10 mm l) とを作成して 850°C で真空焼鈍を行って以下述べる各種の実験に供した。試番 B-7 は参考試料で無B鋼である。

まず本多式全熱膨脹計により 0.8°C/min の加熱及び冷却速度に於ける各試料の変態生起温度が測定された。次に B Constituent の析出様相の探究には各試料を 1,200°C に 30 分間加熱後、予め 650°C に保持された熱浴 (Pb+Sn 浴) 中に焼入れ 1 時間恒温処理してから空冷したものが用いられ、又 925°C 6 時間滲炭されたものに就き滲炭組織に及ぼす B の影響が究明された。これ

らの処理が施された試片の表面は脱炭層及び過剰滲炭層の除去のため 2~3 mm 研削されて検鏡試料に供された。検鏡には腐蝕液として 5% ピクリン酸アルコール溶液又は過酸化ソーダが用いられた。

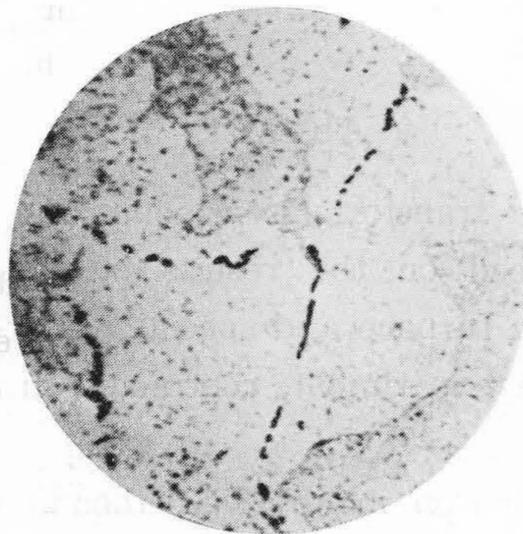
〔III〕 実験結果

第3表は各試料の変態点を示す。これによれば B 添加によりその変態生起温度は僅かに上昇し、その割合は B 量に比例する。又 B は Ac_1 及び Ar_1 点よりも Ac_3 及び Ar_3 に及ぼす影響が大であることが知られる。



第1図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-2 (B 0.016%) の顕微鏡組織
ピクリン酸腐蝕 ×1,200

Fig. 1. Microscopic-Structure of Specimen B-2 (B 0.016%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Picric Acid. ×1,200



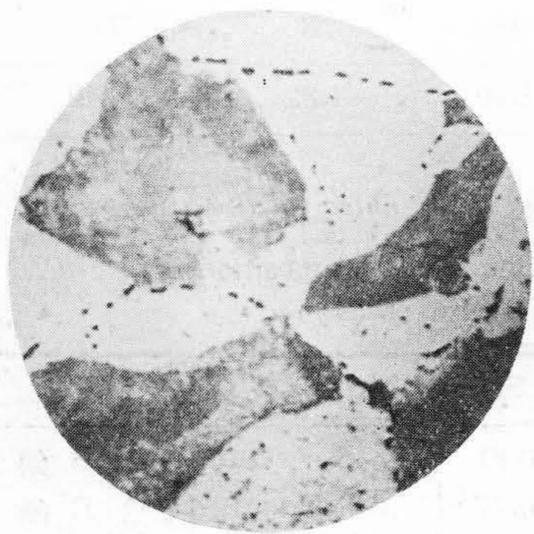
第2図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-2 (B 0.016%) の顕微鏡組織
 Na_2O_2 腐蝕 ×1,200

Fig. 2. Microscopic-Structure of Specimen B-2 (B 0.016%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Sodium Peroxide. ×1,200



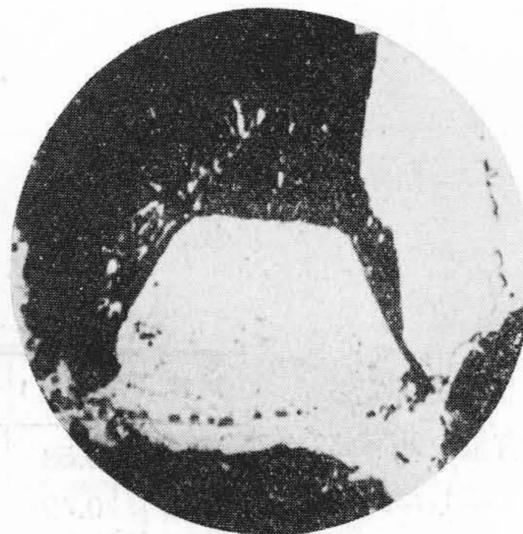
第3図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-3 (B 0.013%) の顕微鏡組織
ピクリン酸腐蝕 ×1,200

Fig. 3. Microscopic-Structure of Specimen B-3 (B 0.013%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Picric Acid. ×1,200



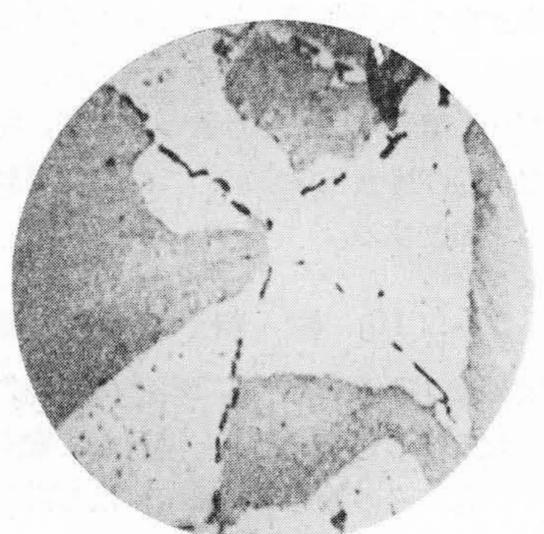
第4図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-3 (B 0.013%) の顕微鏡組織
 Na_2O_2 腐蝕 ×1,200

Fig. 4. Microscopic-Structure of Specimen B-3 (B 0.013%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Sodium Peroxide. ×1,200



第5図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-5 (B 0.005%) の顕微鏡組織
ピクリン酸腐蝕 ×1,200

Fig. 5. Microscopic-Structure of Specimen B-5 (B 0.005%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Picric Acid. ×1,200



第6図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-5 (B 0.005%) の顕微鏡組織
 Na_2O_2 腐蝕 ×1,200

Fig. 6. Microscopic-Structure of Specimen B-5 (B 0.005%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Sodium Peroxide. ×1,200

第 3 表 各 試 料 の 変 態 点 (°C)
Table 3. Transformation Point of Each Test Piece (°C)

試 番	B% (配合量)	加 熱		冷 却	
		Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁
B-1	0.025	729	770	713	680
B-2	0.016	726	760	702	675
B-3	0.013	725	760	715	675
B-4	0.010	725	755	695	665
B-5	0.005	726	760	690	670
B-6	0.003	723	750	690	655
B-7	—	723	752	690	670

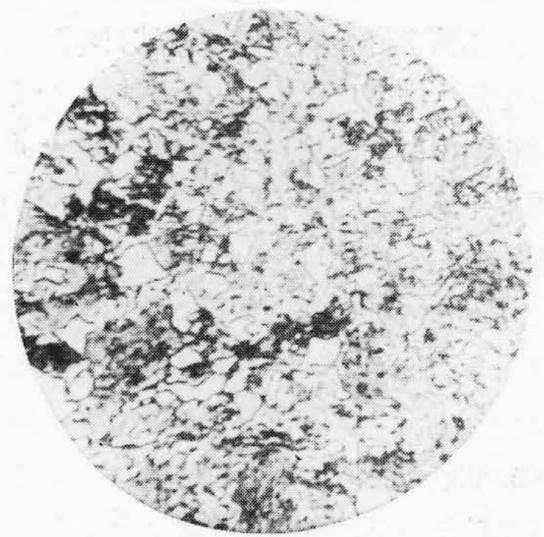
第 1 図~第 8 図は各試料を高温に加熱後 A₁ 点直下の温度で恒温処理されたものの代表的組織を示す。第 1 図、第 3 図、第 5 図及び第 7 図は 5% ピクリン酸アルコール溶液により腐蝕、第 2 図、第 4 図、第 6 図及び第 8 図は同試片を再研磨後過酸化ソーダにより腐蝕された組織である。即ち第 1 図及び第 2 図は試料 B-2(B 0.016% 配合)の場合で大きく角張つて黒く現われているもの(第 1 図)又は僅かにうすく同様に腐蝕されているもの(第 2 図)はいずれもパーライト、白い地はフェライト、結晶粒界(オーステナイト粒界)及びフェライト粒内にそれぞれ鎖状又は微粒にみとめられるものは B constituent である。腐蝕液が過酸化ソーダの場合は B constituent



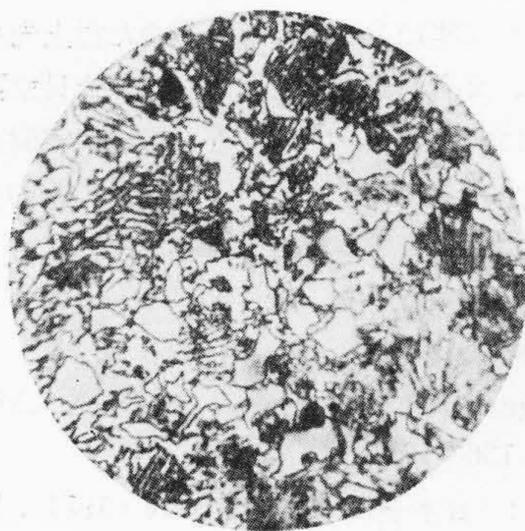
第 7 図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-6 (B 0.003%) の顕微鏡組織
ピクリン酸腐蝕 ×1,200
Fig. 7. Microscopic-Structure of Specimen B-6 (B 0.003%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Picric Acid ×1,200



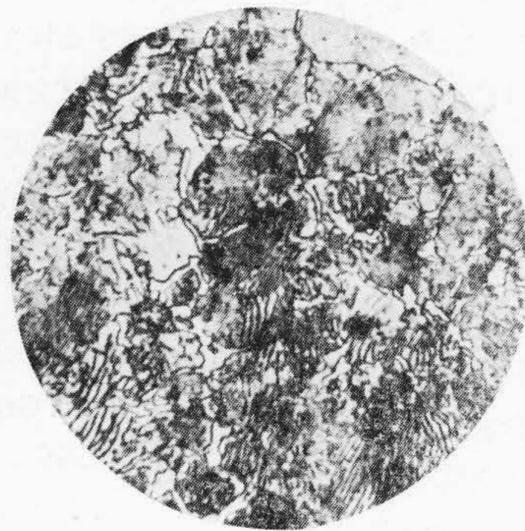
第 8 図 1,200°C から 650°C に 1 時間恒温処理後空冷された試料 B-6 (B 0.003%) の顕微鏡組織
Na₂O₂ 腐蝕 ×1,200
Fig. 8. Microscopic-Structure of Specimen B-6 (B 0.003%) which was Austempered for 1 Hour at 650°C from 1,200°C and Cooled in Air. Etched with Sodium Peroxide ×1,200



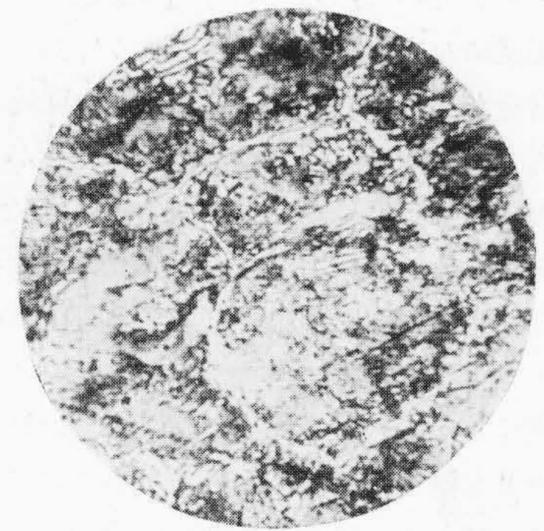
第 9 図 試料 B-1 (B 0.020%) の滲炭組織ピクリン酸腐蝕 ×400
Fig. 9. Microscopic-Structure of Specimen B-1 (B 0.02%) which is Carburized for 6 Hours at 925°C. Etched with Picric Acid. ×400



第 10 図 試料 B-4 (B 0.01%) の滲炭組織ピクリン酸腐蝕 ×400
Fig. 10. Microscopic-Structure of Specimen B-4 (B 0.01%) which is Carburized for 6 Hours at 925°C. Etched with Picric Acid. ×400



第 11 図 試料 B-5 (B 0.005%) の滲炭組織ピクリン酸腐蝕 ×400
Fig. 11. Microscopic-Structure of Specimen B-5 (B 0.005%) which is Carburized for 6 Hours at 925°C. Etched with Picric Acid ×400



第 12 図 試料 B-6 (0.003%) の滲炭組織ピクリン酸腐蝕 ×400
Fig. 12. Microscopic-Structure of Specimen B-6 (B 0.003%) which is Carburized for 6 Hours at 925°C. Etched with Picric Acid. ×400

が茶褐色に現われ、パーライト内にもこれがみとめられる。第3図及び第4図は試料 B-3 (B 0.013% 配合) の場合では第1図及び第2図と同様な組織を呈しているが、フェライト粒内に於ける B constituent の析出量は試料 B-2 に比して少いことがわかる。第5図及び第6図は試料 B-5 (B 0.005% 配合) の場合で B 量の減少とともに析出量が減少していることがわかる。又第7図及び第8図は試料 B-6 (B 0.003% 配合) の場合でフェライト粒内の析出量は更に減少していることが知られる。

以上の結果からわかるように B constituent は結晶粒界並びに粒内に鎖状又は微粒に析出するが、B 量が減少するにしたがい結晶粒界よりも粒内に於ける B constituent の析出量が減少するようである。

次に第9図～第12図は各試料の滲炭組織の代表的のものを示すものである。これからわかるように B 量が多い試料第9図及び第10図では、網状セメンタイトが結晶粒界に生成されないで粒状化するので、結晶粒度の判定が困難である。第11図の試料 B-4 (B 0.001% 配合) に於てはオーステナイト粒界に僅かな網状セメンタイトと粒状セメンタイトとがみとめられるので、辛うじて結晶粒度の判定ができる。更に B 量が少い試料 B-6 (第12図、B 0.003% 配合) では網状セメンタイトが明瞭に現われ結晶粒は容易に判定出来る。無 B 鋼の試料 B-7 に於ては網状セメンタイトが最も明らかに現われる。又これらの試料は過酸化ソーダで腐蝕された場合 B constituent が着色されるものとされないものがあり、後者はピクリン酸ソーダで着色される。

〔IV〕 結果に対する考察

第3表から判るように B は鋼の変態生起温度を僅かに上昇させる。即ち Ar_1 変態温度より Ac_3 或は Ar_3 変態温度に及ぼす影響が大きいようであるが B が Fe-Ti-B 合金から添加されているので B と同時に Ti 及び Al が混入されるから B 以外のこれらの元素が変態点に或程度影響することは見逃さないであろう。又含 B 鋼を高温に加熱して結晶粒を著しく粗大させた状態から A_1 変態点直下の温度で恒温処理すると B constituent がオーステナイト粒界に鎖状に又はフェライト粒内に微粒に析出する。これらの検出は鋼が多量の B を含有する場合ピクリン酸アルコール溶液を用いて腐蝕すると容易にできる。即ちこの場合 B constituent 自身は腐蝕されないが、その粒界が腐蝕されるので形状並びに析出位置等から B constituent として判別される。又 B 量の多少に拘わらず過酸化ソーダで腐蝕されると B constituent は茶褐色に着色されるからセメンタイトと区別できる。なお B constituent には結晶粒界並びに粒内に析出するものが

あるが、これらはいずれも $r \rightarrow \alpha$ 変態に先行して析出したものであろう。又滲炭組織を比較すると (第9図～第12図) B 量がますますにしたがい初析セメンタイトが粒状化する。本実験の範囲では B 0.01% (配合) を境界としてこれより B 量が少い場合初析セメンタイトが網状に、これより B 量が多くなると初析セメンタイトが粒状に現われる。これは B 量が増加すると r に対する C の固溶限が減少し即ち B 量がますます A_{cm} 線の傾斜が急になるとともに共析点が低炭素側に移行することによるものと考えられる。又滲炭により表層部に於ける C 量が増加すると B constituent と推定されるものが過酸化ソーダで腐蝕されるものと然らざるものが存在することから、B constituent は C 濃度が増加すると過酸化ソーダで腐蝕されにくくなるものと推察される。

〔V〕 結 言

以上含 B 鋼に就いて B が変態点並びに組織に及ぼす影響を究明した。これらの結果を要約すると下記の如くである。

- (1) B は鋼の変態点を僅かに高める。
 - (2) 含 B 鋼と無 B 鋼とは組織から容易に判別される。
 - (3) パーライト中のセメンタイトは B 量がますますにしたがい球状化する。
 - (4) 滲炭組織に現われる初析セメンタイトは B 量が 0.01% 以上を超えると球状化し、その傾向は B 量が増すにしたがい著しくなる。
 - (5) B constituent は加炭されると過酸化ソーダで腐蝕され難くなり、ピクリン酸ソーダで着色する。
- なお含 B 鋼の機械的性質並びに熱焼入性に就いては次報で報告する。

擧筆するにあたり御懇切なる御指導を賜った村上先生に対し謝意を捧げ、又御指導御鞭撻を賜った兼先日立製作所日立研究所長に対し敬意を表わすとともに、実験に協力された赤津康之、柴田親昌両君と写真撮影に協力された小林豊治君の労を多とする。

参 考 文 献

- (1) 下田: 日本金属学会誌 16 (1952), A 239
- (2) R.A. Grange and T.M. Garvey: Trans. A.S.M., (1946), P. 136~191
- (3) 今井、今井: 日本金属学会誌 B-14 (1951), P. 52~56
- (4) 今井、今井: 日本金属学会誌 B-14 (1951), P. 57~60
- (5) 今井、今井: 日本金属学会誌 B-15 (1951), P. 44
- (6) 長谷川: 金属 19 (1952), P. 8
- (7) 長谷川: 鉄と鋼 38 (1952), P. 54