

## 硼素鋼の研究(II)\*

(含硼素 Mn 系強靱鋼の焼入性および機械的性質と実地に注湯中  
インゴットケース内硼素添加の適否について)

小柴定雄\*\*・田中和夫\*\*\*・稲田朝雄\*\*\*

### INVESTIGATION OF BORON STEEL (II)

Sadao Koshiba, Dr. Eng., Kazuo Tanaka and Asao Inata

#### Synopsis:

The effects of 0.003 and 0.006% B on the transformation, hardenability, quenched and tempered hardness and mechanical properties etc. of Mn-Cr and Mn-Cr-Mo high tensile steels were investigated. The results obtained were as follows.

The  $A_{c1}$  points were not affected by addition B, But  $A_{c3}$  points were raised while  $A_r$  points were lowered. 0.003% B was more effective to increase the hardenability than 0.006% B and as compared with no adding B the hardenability increased remarkably by addition of B. The quenched and tempered hardness was not affected by addition of B above 300°C of tempering temperature. The yielding point tensile strength and impact value increased a little by addition of B, but elongation and reduction of area were not affected.

As one of the practical making processes of B steel, 400kg ingot was made by addition of B in the ingot mould while pouring the molten steel from ladle. The properties of this 400kg ingot were uniform and the effect of B on the ingot was the same as that of B on the small ingot which was made experimentally by a small furnace.

#### I. 緒言

先きに著者等は Cr, Cr-Mo 系肌焼鋼および強靱鋼に B 0~0.011% 添加せるものの効果につき種々検討したがこれらに引続き Mn-Cr, Mn-Cr-Mo 系強靱鋼におよぼす B の効果につき検討した。

また鋼中 B 添加法として一般に炉中、あるいは取鍋中または両者に適量づつ添加する等種々の手段が行われているが、著者等はその一方法として取鍋よりの注湯に際し、これと併行的に少量づつ B を添加し 400 kg 鋼塊を鑄造し、これにつき B 添加の効果および鋼塊の均一性等を検討することによりかかる添加法の適否につき調べた。

#### II: Mn 系強靱鋼の焼入性および機械的性質

##### (1) 試料および実験方法

試料は 50 kg 高周波電気炉により前報同様の溶解法および B 添加法により<sup>1)</sup>それぞれ 15 kg 鋼塊に鑄造した。Table 1 に試料および使用せる Fe-Ti-B の化学成分を示す。B 量はそれぞれの添加量を示し O, H および N 量は真空熔融ガス分析法により 1,500°C における抽出量を示す。また A 系試料は Mn-Cr 強靱鋼、B 系試

料は Mn-Cr-Mo 強靱鋼である。

次に上記各試料を 18 および 32 mm 角に鍛伸後 900°C にて焼準し、前報同様の実験方法<sup>1)</sup>により変態点生起状況、焼入性および焼入、焼戻による硬度、機械的諸性質等につき調べた。

##### (2) 実験結果

###### (A) 変態点生起状況

Fig. 1 および Fig. 2 (両図共略す) は A および B 系試料をそれぞれ 900°C より炉冷および空冷せる場合の実験結果を示す。

すなわち加熱の場合 (加熱速度 5°C/mn) 両系試料共 B 添加により変態開始温度は大差ないが、終了温度はそれぞれ僅かに上昇する傾向を示す。また炉冷 (冷却速度 5°C/mn) および空冷の場合においてはそれぞれの変態温度は低下するが B 0.003% 附近のものがその傾向最も大である。

###### (B) 焼入性試験

学振法 (滲炭法) により 925°C における結晶粒度測定結果を Table 1 に示す。各試料の粒度番号は 6, 0~

\* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

\*\* 日立製作所安来工場 工博 \*\*\* 同安来工場

Table 1. Chemical composition, grain size of the specimens and Fe-Ti-B.

\* Annexation

Specimens	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Ti	B*	O	H	N	Grain size G
Mn-Cr High tension steel															
A-1	0.33	0.12	0.67	0.015	0.012	0.20	1.83	nil	0.05	0.018	—	0.0019	0.00002	0.0076	6.2
A-2	0.32	0.14	0.73	0.019	—	0.21	1.80	〃	0.06	0.020	0.003	0.0024	0.00003	0.0055	6.8
A-3	0.32	0.13	0.66	0.015	0.011	0.21	1.87	〃	0.08	0.015	0.006	0.0021	0.00002	0.0064	6.8
Mn-Cr-Mo High tension steel															
B-1	0.32	0.18	0.88	0.014	0.008	0.20	1.28	0.27	0.07	0.015	—	0.0027	0.00002	0.0060	6.8
B-2	0.31	0.16	0.87	0.014	—	0.20	1.26	0.26	0.08	0.024	0.003	0.0024	0.00003	0.0059	6.3
B-3	0.33	0.20	0.88	0.012	0.010	0.20	1.28	0.25	0.07	0.020	0.006	0.0022	0.00001	0.0061	6.0
Ft-B(1)	0.040	—	—	—	—	—	—	—	6.48	20.17	5.87	—	—	—	—

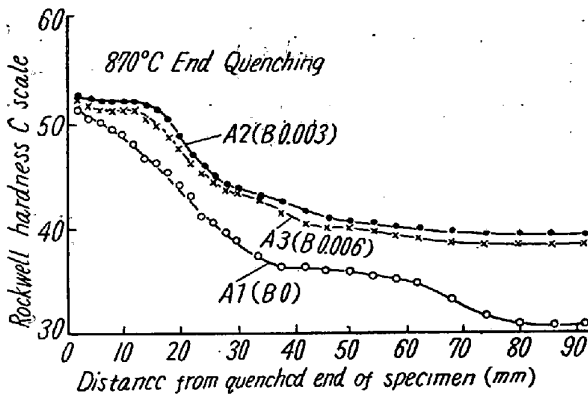


Fig. 3. Results of hardenability test on Mn-Cr high tensile steel.

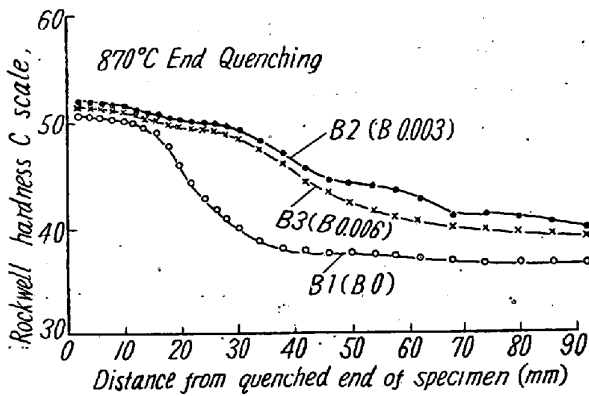


Fig. 4. Results of hardenability test on Mn-Cr-Mo high tensile steel.

6.8 の範囲内にあり、ほとんど大差ない。Fig. 3 および Fig. 4 は各系試料につき前報同様 Jominy 式焼入性試験法により 870°C より一端水冷後水冷端よりの硬度変化を測定せる結果を示す。

すなわち各系試料共 B 添加により焼入性を増大するがかかる範囲内の添加量においては 0.003% のものが最

も効果大にして、0.006% においてはかえつてこれを減少する傾向を示す。また Mn-Cr 系に比し Mn-Cr-Mo 系の方がその効果大である。

(C) 焼入, 焼戻試験

Fig. 5 (図略す) Fig. 6 は両系試料を 870°C より油焼入後 100~700°C の各温度にてそれぞれ焼戻せるものの硬度測定結果を示すが両系試料共 B 添加により僅かながら焼入硬度を増し、Mn-Cr 系のは焼戻温度 200°C 附近よりまた Mn-Cr-Mo 系のは 300°C 附近よりやや急激に硬度を低下する。

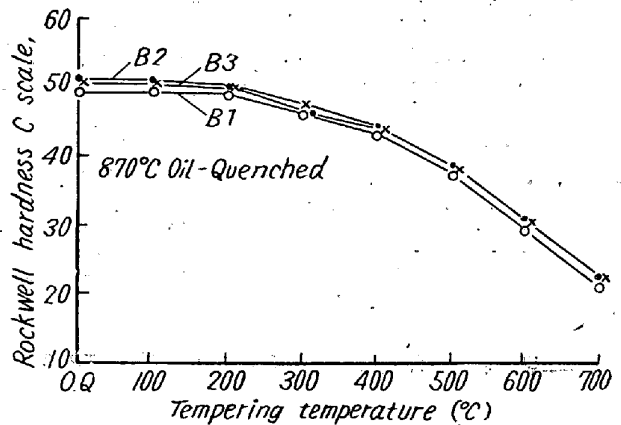


Fig. 6. Relation between tempering temperature and hardness of Mn-Cr-Mo high tensile steel.

(D) 機械試験

870°C より油焼入し 650°C にて焼戻後各種機械的性質を測定せる結果を Fig. 7 および Fig. 8 に示す。すなわち両系試料共この種範囲内の B 添加により降伏点, 抗張力および衝撃値を増大するが伸, 絞はほとんど大差ない傾向を示す。

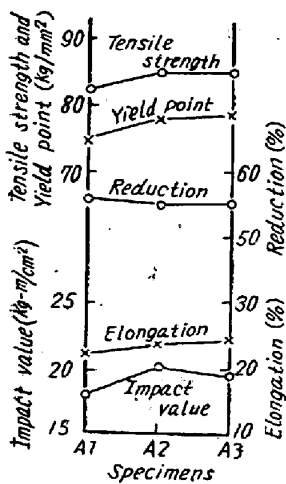


Fig. 7.

Fig. 7. Mechanical property of Mn-Cr high tensile steel

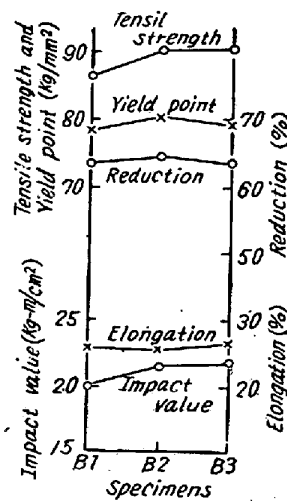


Fig. 8.

Fig. 8. Mechanical property of Mn-Cr-Mo high tensile steel.

### III. 実地に注湯中インゴットケース内 硼素添加の適否について

#### (1) 試料および実験方法

試料は 5t 塩基性弧光電気炉を用いて Cr-Mo 強靱鋼を熔製し、出鋼後取鍋中に 0.05% の Al を添加し、Table 1 に示すが如き Fe-Ti-B の米粒大に粉碎せるものを鑄型に注湯と併行的に少量づつ添加して 400kg 鋼塊を鑄造し、引続き無 B のものを鑄造して比較用とした。次にこれらを旋削底取後それぞれ 90mm 角に鍛伸し無 B のものは鋼塊中央部より試料を採取し A とした。含 B のものは鋼塊頭部より底部までをそれぞれ B1~B9 に等分し、これらを 18 および 32mm 角に鍛伸し、900°C にて焼準後前報同様の実験方法により変態点の生起状況、焼入性、焼入、焼戻による硬度、機械的性質および組織等につき調べた。

Table 2 はこれら各試料の化学成分を示す。すなわち B 量は添加量を示し O, H, N 量は真空熔融ガス分析法により、1,500°C における抽出量を示す。

#### (2) 実験結果

##### (A) 変態点生起状況

Fig. 9 (図略) は A および B 5 試料をそれぞれ 900°C より炉冷 (加熱および冷却速度 5°C/mn) および空冷せる場合の実験結果を示す。

すなわち前報の結果<sup>1)</sup>と同様 0.003% B 添加により加熱の場合の変態開始温度は大差ないが終了温度を僅かに上昇し、冷却の場合において炉冷、空冷共それぞれの温度を低下する傾向を示す。

##### (B) 焼入性試験

試験に先立ち学振法 (滲炭法) により 925°C における結晶粒度を測定した。その結果を Table 2 に示すが各試料共それぞれ粒度番号 6.2~6.9 の範囲内にありほとんど大差ない。また Fig. 10 は各試料につき前報と

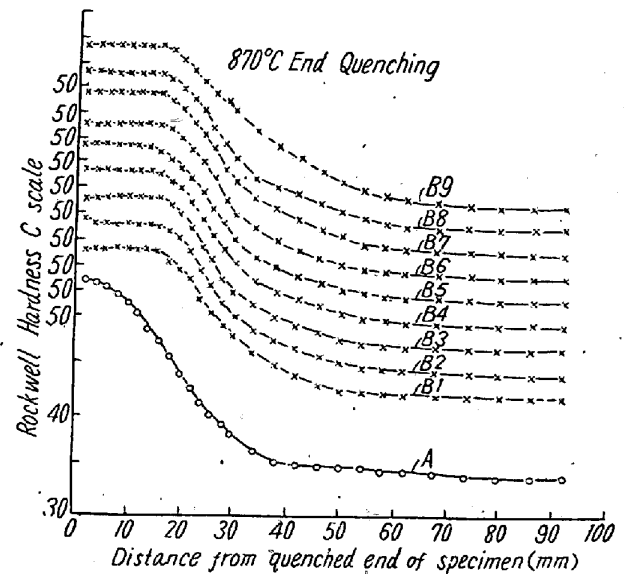


Fig. 10. Results of hardenability test on every specimen.

Table 2. Chemical composition and grain size of specimens.

\* Annexation

Specimens	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Ti	B*	O	H	N	Grain size G
A	0.38	0.11	0.68	0.021	0.009	0.32	1.16	0.25	0.05	0.009	—	0.0025	0.00002	0.0091	6.2
B-1	0.38	0.11	0.70	0.021	0.008	0.32	1.15	0.24	0.04	0.012	0.003	0.0044	0.00003	0.0076	6.5
B-2	0.38	0.14	0.69	0.022	0.008	0.32	1.14	0.24	0.04	0.012	//	—	—	—	6.4
B-3	0.38	0.10	0.68	0.022	0.009	0.31	1.14	0.20	0.03	0.018	//	—	—	—	6.7
B-4	0.36	0.11	0.53	0.014	0.010	0.31	1.14	0.24	0.04	0.024	//	0.0045	0.00002	0.0058	6.2
B-5	0.38	0.11	0.63	0.014	0.008	0.31	1.14	0.22	0.03	0.012	//	—	—	—	6.5
B-6	0.37	0.13	0.62	0.018	0.009	0.32	1.13	0.23	0.04	0.020	//	—	—	—	6.3
B-7	0.37	0.13	0.61	0.015	0.008	0.32	1.15	0.20	0.03	0.015	//	0.0035	0.00001	0.0077	6.3
B-8	0.37	0.12	0.69	0.016	0.008	0.33	1.11	0.21	0.07	0.012	//	—	—	—	6.3
B-9	0.37	0.11	0.66	0.017	0.008	0.32	1.13	0.21	0.05	0.012	//	—	—	—	6.9

同様 Jominy 式焼入性試験法<sup>1)</sup>により 870°C より一端水冷後水冷端よりの硬度変化を測定せる結果を示すが同図より明らかなる如く B 0.003% 添加せる各試料は無 B のものに比しそれぞれ焼入性を増大し、かつ各試料間においてほとんど大差ない結果を示した。

すなわち此種添加法によつても B を有効に添加し得るものと思われ、かつ均一なる焼入性の鋼塊が得られる。

(C) 焼入、焼戻試験

Fig. 11 は A, B 2, B 5 および B 8 の各試料を 870°C より油焼入後 100~700°C の各温度にそれぞれ焼戻せるものの硬度測定結果を示す。

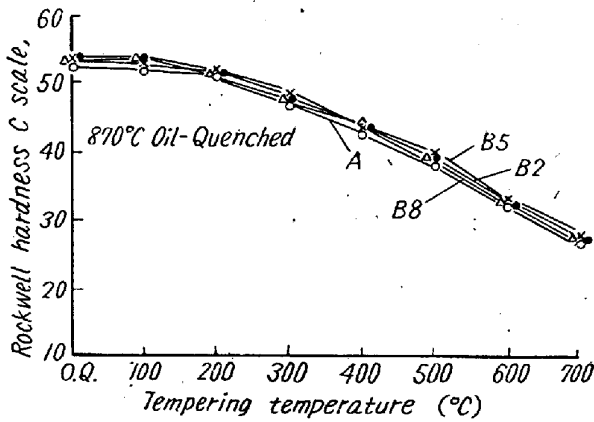


Fig. 11. Results of tempering hardness test on every specimen.

すなわち B 添加せるもの焼入硬度やや高い傾向を示すが、300°C 附近よりやや急激に硬度を低下し無 B のものと大差ない。しかしてこれらの結果もまた前報の結果<sup>1)</sup>と同様であり、かつ B 2, B 5 および B 8 の各試料間においてはほとんど大差ない。

(D) 機械試験

870°C より油焼入後 650°C にて焼戻せるものにつき各種機械的性質を測定せる結果を Fig. 12 に示す。

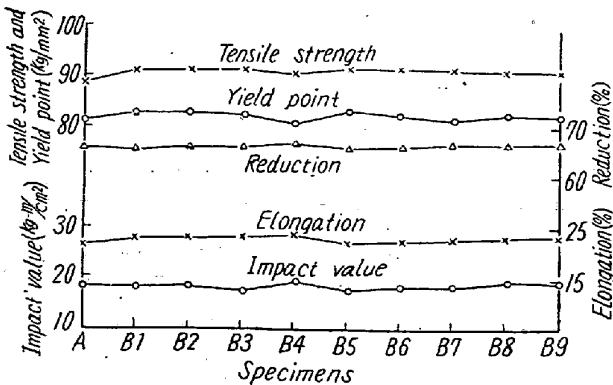


Fig. 12. Results of mechanical property on every specimen.

すなわち B 0.003% 添加せるものは抗張力、降伏点を増大するが伸、絞および衝撃値はほとんど大差なく、また鋼塊各部においてもほぼ均一なる結果を示した。

(E) 組織試験

Fig. 13, Fig. 14 は A および B 5 試料の焼入性試験片の水冷端より 13mm の距離における各組織を示す。両者共ベイナイトと思考されるものを析出しているが、A 試料に比し B を添加せる B 5 試料の方がその析出量は少ない。

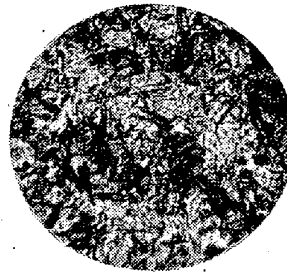


Fig. 13.

Fig. 13. Structure at 13mm distance from water-cooled end (A specimen)

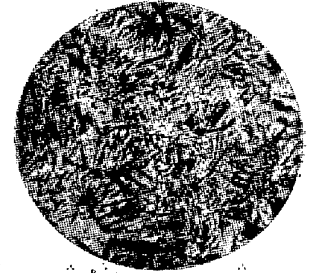


Fig. 14.

Fig. 14. Structure at 13mm distance from water-cooled end (B5 specimen)

IV. 結 言

含硼素 Mn-Cr および Mn-Cr-Mo 系強靱鋼につき焼入性および機械的性質を調べると共に B 添加の一方法として鑄造時に注湯と併行的に B を添加せる 400 kg 鋼塊につきその効果を検討した。その結果は次の如くである。

(1) Mn 系強靱鋼においては B 0.003 および 0.006 % の添加により各系試料共加熱の際の変態点生起温度はほとんど大差ないが、終了温度は僅かに上昇する傾向を示し、また炉冷、空冷における各変態温度をそれぞれ低下する。

(2) この種範囲内の B 添加により、各系試料共それぞれ焼入性を増大するが 0.003 % のものはその効果最も大にして 0.006 % において却つてその効果を減少する。また焼入、焼戻により焼入硬度、降伏点、抗張力および衝撃値を増大するが、伸、絞はほとんど大差ない。

(3) またインゴットケース内において B を添加せる場合、50 kg 高周波電気炉を用い炉中添加せる場合と同様焼入性を増大する。また抗張力、降伏点を僅かながら増大するが伸、絞、衝撃値等はほとんど大差ない。なお焼入性試験において同一冷却条件下におけるベイナイト析出量が少ない傾向を示した。

(4) 鋼塊の頭, 中, 底部における焼入性, 焼入, 焼戻  
硬度および機械的諸性質はほぼ均一である. すなわち此  
種添加法によつても B の効果は他の手段による場合と大  
差なく, かつ均一なる鋼塊を得られるものと思われ

る. (昭和 29 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) 小柴, 田中, 稲田: 剛素鋼の研究 (I). 鉄と鋼,  
41 (1955) No.6 p. 601.

## 19-9 D L の機械的性質に関する研究\*

長谷川太郎\*\*・落 合 治\*\*・稲生 順一\*\*

### STUDIES ON MECHANICAL PROPERTIES OF 19-9 D L

Taro Hasegawa, Osamu Ochiai and Junich Ino

Niobium was effective to increase ductility of the short-time tensile test at 700°C in the age-hardened, or "hot cold worked" state. In creep rupture testing above 650°C, Nb was effective to increase ductility, and rupture life. Effect of Nb is distinct at longer time or higher temperature of testing and at "hot cold working" rather than in age-hardened state.

The higher the working temperature of "hot cold working" the lower the strength on short time tensile test, and the shorter the creep rupture time, the more increased ductility in both testing. Reduction of working at "hot cold working" had little effects on the result of the short-time tensile tests, but by increasing the reduction of working, creep rupture time was shortened.

Tensile and yield strength increased by "hot cold working" beyond 700°C and creep rupture test at 600, 650, 700°C, beyond 100h. of testing time were studied in age-hardened state. At 650°C, 100h creep rupture strength was somewhat 13 kg/mm<sup>2</sup> lower than in "hot cold worked" condition, but its difference was reduced in proportion to testing time.

#### I. 緒 言

ガスタービン用翼車材等として汎く使用せられる 19-9 D L は, 同一目的に使用せられる Timken 16-25-6 に比し含有合金元素量少く, その製造も容易でありかつ経済的な点で極めて有用な合金である.

本合金の熱処理法としては hot cold working と固溶化処理一時効の 2 種が考えられる. 筆者等は Nb を含有する標準成分の 19-9 D L と Nb を含有せざる 19-9 D L の 2 種について夫々上記 2 種の熱処理を施し 2 種の熱処理および Nb が本合金に与える機械的性質の影響をしらべ, また hot cold working の加工条件 (加工度および加工温度) の機械的性質におよぼす影響をしらべんとして以下の実験を試みた.

本合金の如き耐熱合金の機械的性質として実用上最も重要なものは高温長時間クリーブ特性であるが, 本研究では常温および高温短時間引張試験, 硬度等により機械的性質を調査し次いで高温クリーブ破断試験を行った.

#### II. 試 料 製 作 法

##### (1) 熔解および鍛造

100 kg 塩基性高周波電気炉にて熔解した試料を 50kg 鋼塊に鑄込んだ. Table 1 に供試材の化学成分を示す. 鋼塊は空気槌により 25 mm に鍛造した後爾後の試験に供した.

##### (2) 供試材熱処理法

固溶化処理一時効の熱処理を施す試料は F.H. Clark<sup>1)</sup> の著書に従つて 1230°C にて 30mn 保持後水冷, 816°C

Table 1. Chemical composition of the specimen.

No of heat	Nb content	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Ti	Nb+Ta
D 3	Yes	0.32	1.42	2.14	0.019	0.032	18.82	11.23	1.65	1.27	0.14	0.48
D 4	No	0.29	1.25	1.43	0.022	0.032	19.15	9.56	1.28	1.13	0.17	—

\* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表 \*\* 住友金属工業製鋼所