

含硼素強靱鋼に関する研究(II)

(昭和 27 年 11 月本會講演大會にて講演)

河井泰治*・井上陸雄*・小川楠雄*

STUDIES ON BORON TREATED CONSTRUCTIONAL ALLOY STEELS (II)

Taiji Kawai, Rikuo Inoue and Kusuo Ogawa

Synopsis:

In sequence of to the former report, the effect of boron addition on mechanical properties of constructional alloy steels in different conditions of heat treatment were studied. Results obtained were summarized as follows.

1. Proper Al-Ti-B treatment gave favourable effect on notch toughness when the steel was completely hardened and tempered at temperatures lower than 400°C, but if excess addition of boron was made, some adverse effect appeared at higher tempering temperatures.

2. In the case of incompletely hardened and tempered states, if the microstructure of as-hardened specimen consisted of martensite and bainite, boron gave beneficial effect on strength and toughness because it increased the percentage of martensite, but if hardening was so insufficient that there appeared proeutectoid ferrite and pearlite at the grain boundary with smaller percentage of martensite, slight decrease in notch-toughness occurred as well as in fully annealed states.

3. Also effects of intermediate transformations by austempering on the mechanical properties and low temperature notch-toughness were studied.

I. 緒 言

前報に於て主として含硼素強靱鋼の焼入性に関して述べたが本報では種々の熱処理状態の機械的性質に対する実験結果を報告する。

II. 種々の熱処理状態の機械的性質に対する B 処理の影響

1. 供試材及実験方法

供試材は 6t 塩基性電気炉製の Cr-Mo 鋼及高炭素鋼並に実験用 50kg 高周波炉製各種強靱鋼計 13 熔解で、いずれも同一熔解に於て B 処理したものとしなないものとを比較し得る様に作製したもので、その熔解及添加方法成分その他に関して前報に掲げた通である²⁾。

現場熔解の Cr-Mo 及高炭素鋼に就いては抗張、衝撃硬度及低温衝撃試験、更に前者に就いては切欠付抗張試験及焼入途中の中間段階状態が焼戻後の強靱性に及ぼす影響を調査し、実験用高周波炉熔解の各試料は衝撃値及硬度に及ぼす焼入焼戻条件の影響のみを調べた。尙焼鈍

状態に於ける材力に就ては全供試材に就いて試験を行った。

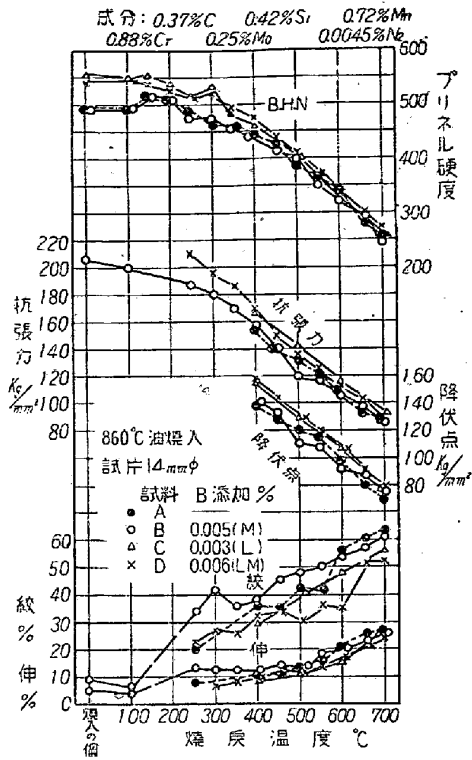
抗張試験片は 30mmφ、衝撃試験片は 15mm 角の焼鈍材より各試験片共仕上寸法に対し片側 0.25mm の仕上代を残し作製し切欠を有するものはこの部分を木炭粉と木節粘土とを混合して被覆し、脱炭を防ぎつゝ下記の熱処理を行い最後に正規寸法に仕上げ試験を行った。衝撃試験は総て同一条件にて 2 回試験し抗張試験は 1 回のみ結果によつた。

供試材	焼 入	焼 戻
現場熔解 Cr Mo 鋼	860°C ×1h → 油(空)冷,	各温度 ×2h → 空(水冷炉)
"	830°C ×1h → "	" → 空冷
高炭素鋼	860°C ×1h → "	" → "

焼戻温度は 100.~700°C 間各々 50°C 毎とした。

2. 抗張試験結果に及ぼす焼戻温度の影響

* 住友金屬工業製鋼所



第1図 6t 電気爐熔解 Cr-Mo 鋼の抗張試験結果に及ぼす B添加の影響

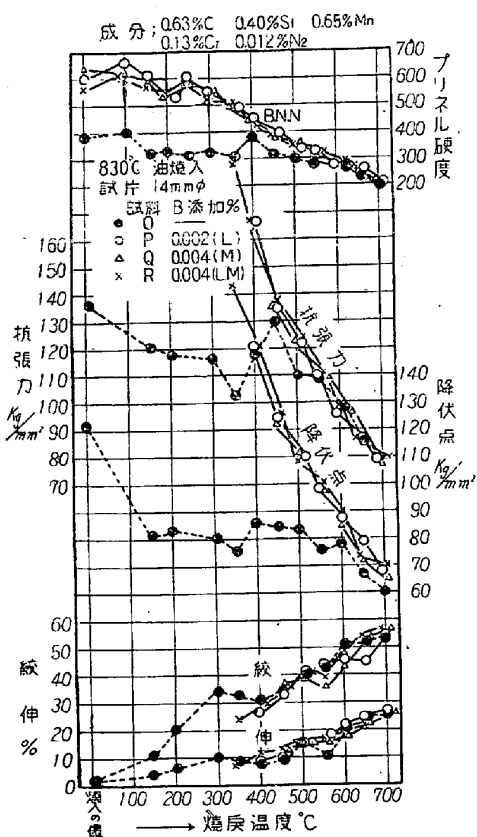
温度が抗張試験成績に及ぼす影響を求めれば第1及2図の如くである。尚試験片は 14mmφ の標準寸法である。

第1図の Cr-Mo 鋼に於ては Al-Ti-B 処理により焼入性が顕著に改良された試料 C, Dは B添加をしないA及鋳型中でB添加したBに比し焼入及低温焼戻状態では強度が少々大であるが焼戻温度が 500°C を超えると大差がなくなり伸, 絞はC, Dが高温焼戻で劣りBが 600°C 以下の焼戻ではAより秀れた値を示す。第2図の高炭素鋼ではB処理を行つた3試料が殆んど完全硬化されているのに対しこの処理をしない試料Oは不完全焼入により硬度, 抗張力が低下し降伏比が小となつている。伸絞は各試料共大差が見られない。

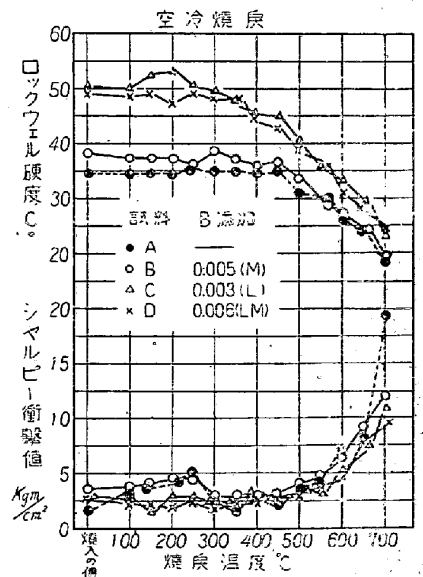
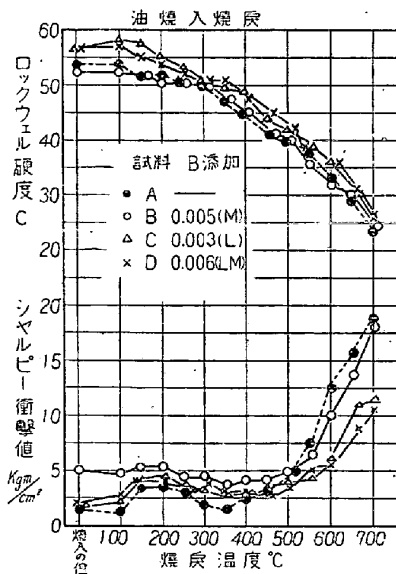
3. 衝撃値に及ぼす焼入及焼戻条件の影響

10・5mm 角×55mm の試験材を焼入温度より油冷及空冷した後衝撃値及硬度の焼戻による変化を求めた結果を第3～5図に示す。尚焼入冷却速度は厳密には試料により異なる筈であるが Cr-Mo 鋼に就いて試験材の端より 5mm の中心の位置の冷速を実測した結果 600→500°C 間で油焼入, 33・3°C/sec, 空冷 1・8°C/sec であつた。

第3図は現場熔解 Cr-Mo 鋼の結果を示す。即ち油焼



第2図 6t 電気爐熔解高炭素鋼の抗張試験結果に及ぼす B添加の影響



第3図 6t 電気爐熔解 Cr-Mo 鋼の衝撃値に及ぼす B添加の影響

入により殆んど完全に硬化された場合は一般の強靱鋼と同様衝撃値は 200°C 焼戻附近で極大, 300~350°C 焼戻で極小を生じ 500~550°C を超えると急昇する。各試料に就いてB処理の影響を見ると 450°C 以下の低温焼戻ではB処理した試料B, C及Dが処理しないAに比し衝撃値が勝り低温焼戻脆性が軽減していることが知られ殊に試料Bが良好な値を示す。然し 500°C 以上の高温焼戻では Al+Ti+B 処理を行つたC, Dが明らかに衝撃

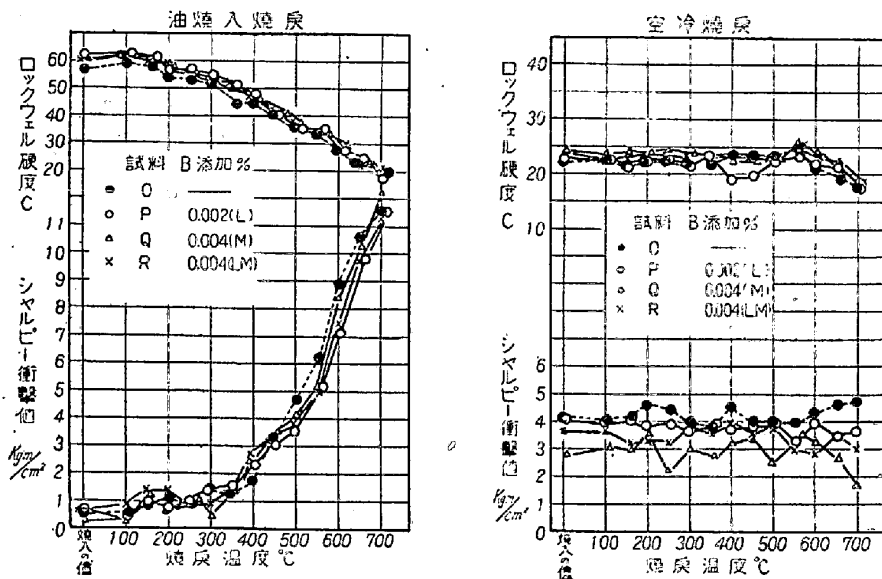
現場熔解の Cr-Mo 及高炭素鋼に就き油焼入後の焼戻

値が劣る。これはBのみならず Al 及 Ti の添加が過剰の爲と思われる。尚焼戻温度より徐冷した際の衝撃値の低下即ち高温焼戻脆性に関しては別に試験を行つたが本供試材が相当量の Mo を含有する為認められなかつた。

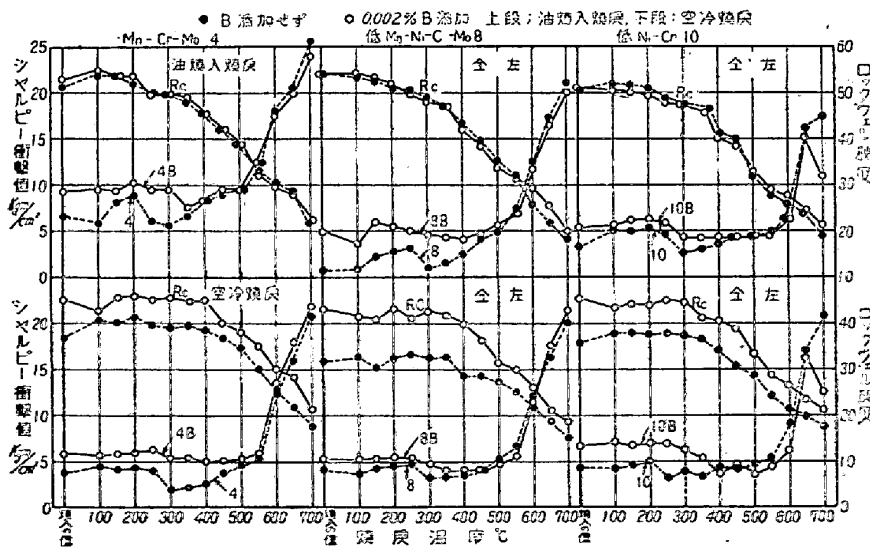
焼入温度より空冷した場合はB処理により硬度及組織に顕著な差を生じ Jominy 試験結果とよく一致した。衝撃値曲線は完全焼入の際と似た傾向となるがこの図より衝撃値—硬度の関係図を求めればB処理により自硬性を増した為同一硬度に対する靱性が改良されることが知られる。尚空冷時の組織のB処理による変化については前報で述べた通りである。

空冷の際は各試料共パーライト変態を完了し焼戻曲線は平坦となり調質効果を示さない。但し衝撃値はB処理により明らかに低下していること及B処理したものは 550 °C 焼戻で僅かに硬化が生ずることが注目される。

実験用高周波炉製の各種靱鋼は前記の Cr-Mo 鋼の結果を考慮し高温焼戻時の靱性を犠牲にしないで焼入性及低温焼戻に於ける衝撃値の改良を期待して、B添加量を 0.002% にとどめたものであるが、その代表的なものに就いて第5図に図示し種々の焼戻硬度値に対応する衝撃値は後述の第1及2表に掲げた。即ち油焼入焼戻のものはB処理により例外なく低温焼戻時の靱性を改良し特に



第4圖 6t 電氣爐熔解高炭素鋼の衝撃値に及ぼすB添加の影響

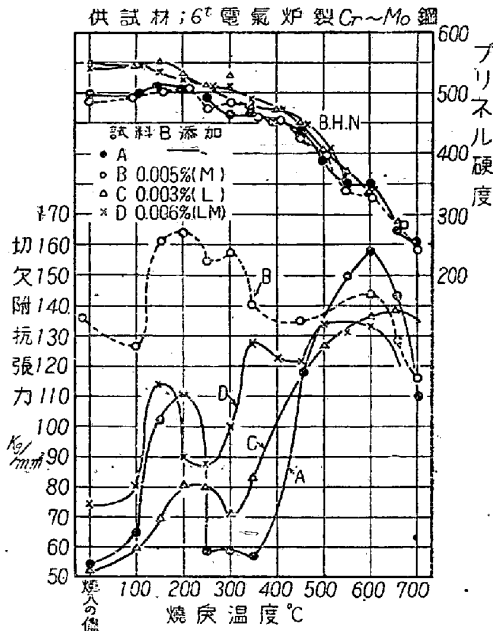


第5圖 實驗用高周波爐製各種靱鋼の衝撃値に及ぼすB添加の影響

第4図は 0.63% C 炭素鋼の場合で油焼入焼戻の際は B 処理の有無及方法の如何により大差を生じていない。

200°C 附近で良好な値を示すと共に 300~350°C の低温焼戻脆性が軽減され極小点が稍高温に移行する。500°C

以上の高温焼戻でも今回は何等靱性の劣化を生じていない。空冷焼戻の場合B処理により焼入性が改良され硬度が上昇しているにも拘らず衝撃値は殆んど遜色なく却つて勝っているものもある。この様な場合硬度-靱性の相対関係はB処理により明らかに改良される。



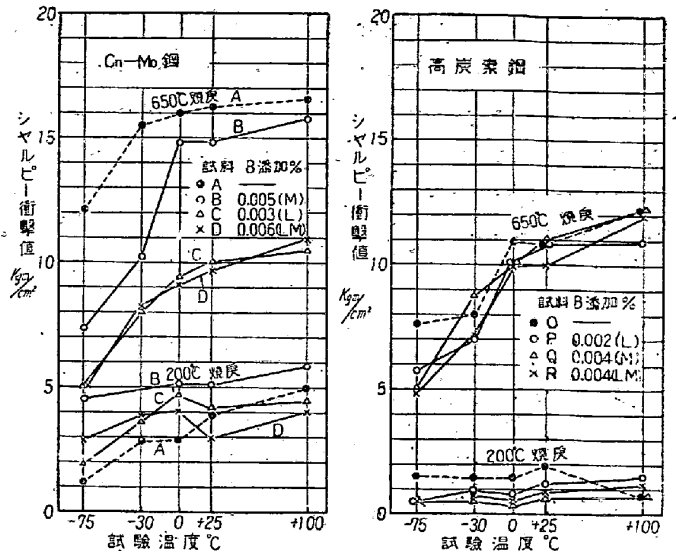
第6圖 切欠附静的引張試験結果

4. 切欠附静的引張試験

現場熔解 Cr-Mo 鋼に就き平行部 19.8mmφ, 中央にアイゾット溝を附し溝底の径を 14mmφ とした切欠附抗張試験片を用い油焼入後の焼戻曲線を求めた結果は第6図の如く、各試料共 550~600°C 焼戻で最大値を示し焼戻温度の低下と共に減少し 300°C 附近に極小、更に 200°C 附近で極大を生ずる。B処理していない試料Aは高温焼戻で最も高い強度を示すが、低温焼戻ではB処理を行つた試料の方が良好で極小値が改良され特に靱性の良好な試料Bは著しく切欠附引張強度が良いことが知られる。

5. 低温衝撃値に及ぼすB処理の影響

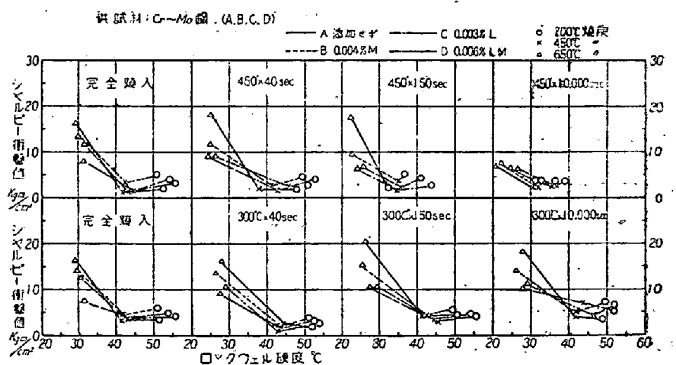
現場熔解の両供試材を油焼入後 200 及 650°C で焼戻空冷したものについて、+100~-75°C 間の種々の温度で 30min 保持し素早くシャルピー試験を行つた。低温浴より取出して破断する迄の時間は 2.5~3sec 程度である。以上の結果は第7図の如く、650°C 焼戻の場合両鋼種共 0°C 以下で衝撃値が低下し始め -75°C でも最低値に達しない。B処理の有無はこの曲線の傾向には大差ないがB処理を行わない試料A及Oは -75°C でも尚常温の 70% 程度の衝撃値を有するが、B処理した各試料は 50% 内外の値に低下し、遷移温度はBの添加によ



第7圖 6t 電気爐熔解鋼及高炭素鋼の衝撃値に及ぼす試験温度の影響

り上昇するものと認められた。尚 200°C 焼戻の場合は衝撃値が低値である為明瞭でないがCr-Mo鋼に於いてはB処理により低温衝撃値が改良されるように観察された

6. 中間段階変態の進行が焼戻後の材力に及ぼす影響
現場熔解 Cr-Mo 鋼を焼入温度より急冷途中、中間段階域の高温部 (450°C) 及低温部 (300°C) で種々の時間等温保持した後油冷し、200, 450 及 650°C で焼戻して硬度と衝撃値の関係の変化を求めれば第8図の如く、450°C に於ける変態の進行は硬度靱性を共に著しく劣化し、300°C の変態進行は靱性を僅かに向上させる。然しB処理の有無はこの傾向に殆んど無関係であり少くとも中間段階域で等温変態が進行した際に Boron が材力に悪影響を及ぼすことは認められない。尚該供試材の等温変態曲線は前報に記した通である。



第8圖 焼入冷却途中に於ける中間段階変態の進行が焼戻後の硬度及靱性に及ぼす影響
上段: 450°C, 下段: 300°Cの等温浴中に各時間保持後油冷

7. 焼鈍状態に於ける靱性に及ぼすB処理の影響

第 1 表 油 焼 入 後 種 々 の 焼 戻 硬 度 に 於 ける 衝 撃 値 kgm/cm^2
O; B な し B; B 添 加, 焼 入 冷 速; 約 33°C/sec (550°C)

試料	C%	鋼 種	RC 50		RC 40		RC 30		RC 25		RC 20	
			O	B	O	B	O	B	O	B	O	B
1	0.34	Mn-Cr	2	6	4	5	6	6	15	19	19	22
2	0.27	Mn-Cr-Mo	4*	6*	5	6	10	8	20	19	25	22
3	0.27	"	2*	5*	5	6	14	15	19	20	24	26
4	0.38	"	2	4	4	4	13	12	19	18	23	21
5	0.36	"	2	4	5	5	12	12	18	18	20	21
6	0.36	低Mn-Ni-Cr-Mo	4	5	5	5	11	10	18	18	21	21
7	0.34	"	4	7	4	5	11	14	17	18	21	22
8	0.39	"	3	5	4	4	9	9	14	17	20	20
9	0.36	Mn-Cr-Mo-V	5	6	4	4	13	12	17	17	21	21
10	0.32	低 Ni-Cr	5	6	4	4	4	4	7	8	16	16
11	0.32	Mn-Cr-V	6	6	5	5	7	6	14	10	21	21
A, C	0.37	Cr-Mo	2	3	5	4	15	11	18	12	—	—
O, Q	0.93	炭 素 鋼	1	1	3	3	8	7	11	10	12	12

* は RC 45 に 對 する 衝 撃 値

第 2 表 空 冷 後 種 々 の 焼 戻 硬 度 に 於 ける 衝 撃 値 kgm/cm^2
O; B な し, B; B 添 加, 空 冷 冷 速;
約 1.8°C/sec (550°C)

試料	DI in		RC 40		RC 30		RC 25		RC 20	
	O	B	O	B	O	B	O	B	O	B
1	2.6	2.8	—	—	4	6	7	6	13	21
2	2.6	3.5	—	—	6	4	7	6	16	19
3	3.5	4.5	—	6	7	7	12	17	22	25
4	4.2	5.8	4	5	6	14	12	20	18	22
5	2.9	3.9	—	—	5	4	6	7	14	19
6	2.4	4.3	—	—	—	5	7	5	13	15
7	2.7	4.5	—	—	—	5	9	7	14	19
8	3.2	5.8	—	4	4	5	7	15	16	20
9	3.5	4.0	—	6	8	9	14	14	20	20
10	4.7	6.5	—	4	4	4	5	13	17	—
11	2.5	3.0	—	—	6	5	7	6	16	10
A, C	3.5	6.6	—	3	5	7	7	10	17	—
O, Q	1.6	2.2	—	—	—	—	—	—	4	2

DIは90%はマルテンサイト點に對する理想直徑 (inch)

低温に於ける衝撃値の問題は鋼の諸性質がこれに密接な關係があり、製鋼法や取鍋処理方法により異なるものと考えられるがB処理により若干遷移温度が上昇する様に觀察され Grange 等²⁵⁾の結果と傾向的に一致した。

IV. 結 言

6t 塩基性電気炉及実験用高周波炉製の各種強靱鋼に於ける微量B添加の影響に関し前報の結果と合せて要約すれば下記の如くである。

1. 熔鋼の脱酸脱窒を完全にするため Al 及 Ti 併用による防護処理が効果的でありこの際のB添加量は0.002~0.003%程度で充分であつて多量加えることは却つて高温及常温の脆性を増す恐れがある。

2. 上記の処理を行つたものは Al 及 Ti の細粒化作用により結晶粒が微細となり過熱敏感性の危険はない。

3. 加熱時変態点及 Ms 点は変化しない。

4. 焼入性の増加に関しては供試材の窒素量が0.01%を超えるものが多いので十分な効果が得られぬものがあつたが、B処理の影響は合金成分により異なり Mo を含む鋼種特に多元低合金鋼の場合顯著である。

5. 等温変態曲線に及ぼす影響は初析フェライト及中間段階変態の開始を著しく遅延せしめ、随つて亜共析鋼に於けるパーライト変態開始を遅らすが変態完了には左程影響しない。

6. 連連続冷却の際も等温変態の場合と同様、初析フェライト及パーライトの発生を抑制し又炭素量の増加と共にBの効果が減少する事実より、B添加はフェライト核の発生を抑制することにより焼入性を増すものと考えられる。

7. B添加により焼入した強靱鋼の焼戻抵抗は殆んど変化しない。但し焼準した高炭素鋼はB処理により550°C 焼戻で僅かな二次硬化の如き現象が生じた。但しこれがBのみの影響かは断ぜられない。

8. 低温焼戻の際の衝撃値はB処理により改良され低温焼戻脆性が緩和される。500°C 以上の焼戻では過剰処理の場合衝撃値が劣化するが適当な Al+Ti+B 処理 (B0.002% 添加) を行つた際は何等悪影響を生じない。切欠附引張強度も衝撃値と類似した傾向を呈する。

9. 不完全焼入の程度が小の場合はB処理により完全焼入に近付き焼戻後の強靱性が改良される。不完全焼入の程度が大となり高温の変態組織が増加した場合焼戻後の靱性がB処理により僅かに減少する場合があります。更に

焼鈍状態では処理しないものに対し 20% 近く衝撃値が低下する。

10. 高温パーナイト域に於ける等温変態の進行はB処理の有無を問わず著しく強靱性を低下させるが、B処理によりこの傾向が助長されることは認められない。300°C附近の等温変態処理は強靱性を少々改良する。

11. 低温に於ける衝撃値はB処理により遷移温度が上昇する傾向を示した。

12. 高温で粗粒化し徐冷することにより、粒界に生ずる網状の Boron constituent の観察が可能である。このものは普通の熱処理の場合には観察し難いが、焼鈍或は不完全焼入時の靱性の低下と関係があると推定される。

13. B鋼はその適切な使用により貴重な合金成分の節約、製造工程の合理化に対し大きな効果が期待される。然し工業化の前提として製鋼より熱処理に至る諸作業の標準化と、焼入性、粒度を含む各種の鋼質試験を各熔解

に対し確実に実施し製品の均一性を保つことが最も重要と考えられる。

終りに本研究の遂行に当り御懇篤な御指導を賜わった東京大学教授工学博士三島徳七先生、東北大学教授工学博士今井勇之進先生、住友金属工業株式会社製鋼所長小出秋彦氏始め多数の方々へ深甚の感謝の意を捧げると共に実験に協力せられた数井良一、友本清一両氏の勞を謝する次第である(昭和 28 年 3 月寄稿)

文 献

1)~23): 前報²⁴⁾ の引用文献参照

24) 河井, 井上, 小川: 本誌前號に掲載

25) R. A. Grange, W. B. Seens, W. S. Holt & T. M. Garuey: Trans. A.S.M. (1950) 75

26) 萩原: 本誌 28 (1942) 1209

27) H. Schrader, H. J. Wiester u. H. Siepman: Arch. Eisenhüttenwesen 21 (1950) 21

28) 高尾, 國井: 本誌 38 (1952) 10, 110

軸 受 鋼 の 熱 處 理 の 研 究 (I)

(熱処理による機械的性質と寸法安定性との関係)

(昭和 28 年 4 月本會講演大會にて発表)

三橋鐵太郎**・上野 學*

STUDY ON HEAT-TREATMENT OF THE BALL BEARING STEEL (I)

Tetsutaro Mitsuhashi, Dr. Eng. and Manabu Ueno

Synopsis:

Specimens of the ball bearing steel, SUJ 2, were heat-treated by subzero-treatment, oil quenching and tempering, martempering-oil cooling, and martempering-air cooling. Some groups of these were tested in the static notched bending of charpy-type specimens and the compressive breaking of ring shaped one, and the other were studied as to the dimensional stability of retained austenite by various quenching methods. The quantitative determination by point-counting and lineal analysis was carried out in microscopical methods.

The results of experiment were as follows:

1) In the ball bearing steel, SUJ 2, the coarsening temperature of austenite grain was at 870°C, duplex range was from 930°C to 1050°C, and quenching crack was generated by quenching from above 850°C austenitizing temperature. Considering above these, retained austenite and carbide solubility, the best austenitizing temperature was at 840°C±5°C.

2) In the compressive breaking test the oil quenching and tempering was superior to subzero

** 工業技術院機械試験所 工博, * 〃 所員