

討37 連続焼鈍した冷延鋼板の材質特性におよぼすボロンの影響

新日本製鐵(株) 生産技術研究所 ○高橋延幸
 八幡技術研究部 柴田政明 早川 浩 古野嘉邦
 君津技術研究部 白田松男
 基礎研究所 山本広一

1. 緒 言

ボロン(B)は、粒界偏析により鋼の焼入れ性を向上させる元素あるいは強力な窒化物形成元素としてよく知られている。

本報告では、そのようなBの特性から連続焼鈍法によって製造される冷延鋼板(極軟鋼板、高強度鋼板)の材質特性に及ぼすBの影響について検討して得られた知見について述べる。

2. 極軟連続焼鈍鋼板の材質特性に及ぼすBの影響

連続焼鈍法によって深絞り用冷延鋼板を製造するには、鋼中の不純物や析出物を再結晶や粒成長を抑制しないように形態を制御する必要がある。そこで、Bによるスキベンジング効果について検討した。

2.1 BNの析出挙動¹⁾

図1は熱延で低温巻取したB添加Alキルド鋼熱延板(0.03C-0.2Mn-0.02Al-0.0044N-0.0031B)を用いて窒化物の析出挙動を調べた結果である。BとNはオーステナイト域でも速く拡散するので、BNはオーステナイト域でも短時間で容易に析出する。AlNはフェライト域のみで長時間の保定で析出する。このことは、Al-B-N系においてBNが熱延中にAlNよりも優先的に析出することを示唆している。

図2は熱延中窒化物の析出率と巻取温度の関係に及ぼすBの影響を示す。Alキルド鋼ではAlNの析出が巻取温度に強く依存する。一方、B添加鋼ではBNの析出は巻取温度に関係なくほとんどのNがBNとして固定され、AlNの析出は認められない。またBNの析出はスラブ加熱温度が低いほど多い。従って、BNの析出は巻取以前で決まり、図1の析出挙動とよく対応している。

2.2 B量と材質特性^{2),3)}

N量の異なる2種類のAlキルド鋼(0.03C-0.2Mn-0.02Al)にB量を変化させ、低温巻取した冷延板を用いて連続焼鈍(850℃-1分の均熱、400℃-3分の過時効)した結果を図3に示す。B添加によって鋼板は軟質化してゆく。そしてB量とN量が化学量論的に相当(B/N=0.8)の場合に最軟化点が得られ、N量の影響がなくなる。さらにB量が増すと逆に硬質化する。

図3ではN量によって軟質化-硬質化の挙動が異なるようにみうけられるが、B-11/14・Nで整理すると、図4に示すようにN量に関係なく統一した挙動として表すことができる。

図5は、高N材の結晶粒とB/Nの関係であるが、材質特性とB/Nの関係と同じ傾向である。このことは、材質

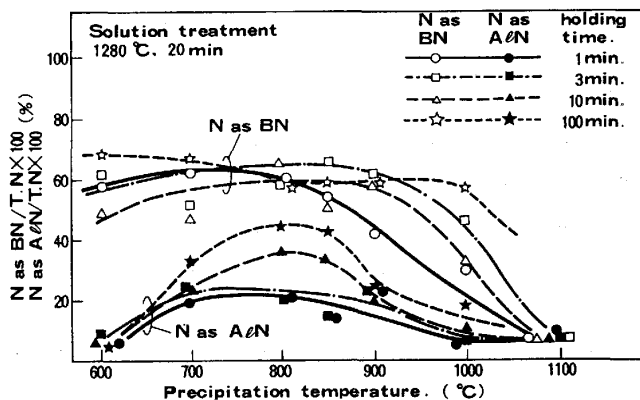


Fig 1. Isothermal formation of nitrides in B-bearing Al-killed steel

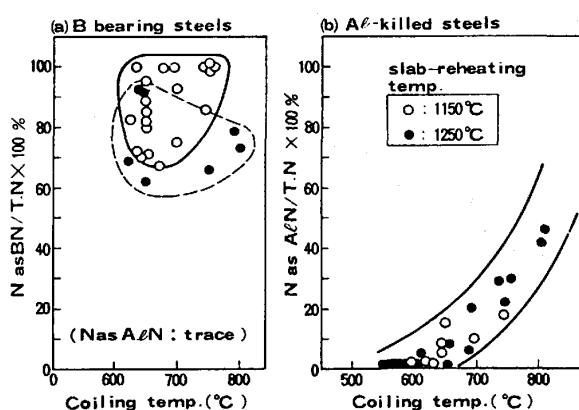


Fig 2. Dependence of nitride formation on hot coiling temperature

特性の変化が結晶粒の変化に依存していることを示している。B添加によって結晶粒の成長が促進されるのは図6に示すように、BNの形態が球状で約2000Åと大きくインヒターとしての作用が弱いためと考えられる。

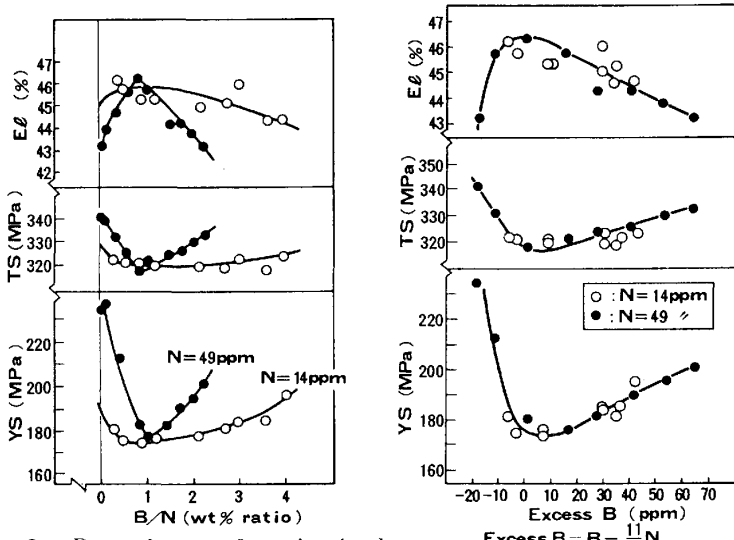


Fig 3. Dependence of mechanical properties on B/N ratio and N content
TS:Tensile Strength YS: Yield Strnegth E :Elongation

Fig 4. Relation between mechanical properties and excess B

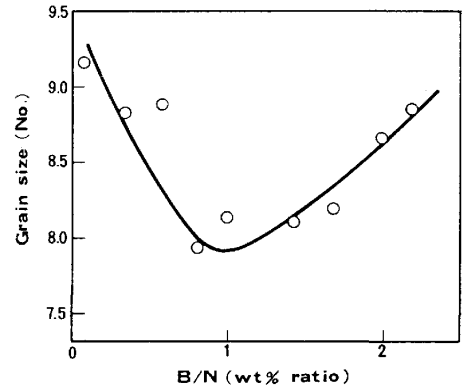


Fig 5. Dependence of grain size on B/N ratio

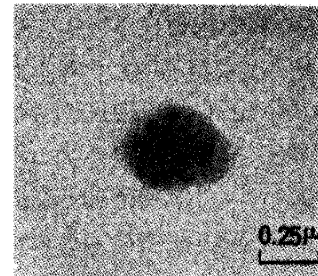


Fig 6. BN precipitate

図7はC量の異なるAlキルド鋼にB量を変化させて800℃×1分の連続焼鈍後の \bar{r} 値を調べた結果である。 \bar{r} 値はB/Nが0.8近くでピークを示す。そして、C量が少いほど \bar{r} 値が高くなる。

以上のようなB添加による引張特性値と \bar{r} 値の変化は以下のように考察される。まず、 $B - 11/14 \cdot N \leq 0$ の領域では、B量が増すにつれてBによるN固定効果(スキベンジング効果)が現われ、焼鈍加熱中に析出する極微細なAlNの粒成長抑制作用が減少し、粗粒化によって鋼板が軟質化すると考えられる。そして、 $B - 11/14 \cdot N = 0$ で最大のスキベンジング効果が得られる。次に、 $B - 11/14 \cdot N > 0$ の領域では、B量の増加と共にBN以外のB化合物、例えば $Fe_{23}(CB)_6$ のようなボライドが生成するため、あるいは固溶Bのために粒成長抑制作用が働き硬質化すると考えられる。

3. 粒界強度に及ぼすBの影響⁴⁾

超深絞り用高強度冷延鋼板を製造するためには、TiやNbを添加した超深絞り用極低炭素Alキルド鋼に固溶強化元素として主にPが添加されている。しかし、極低炭素鋼にPを多く含有させると絞り加工後に粒界破壊を起こしやすくなる。

このような粒界脆化に対して、Cと同様な物理的特性をもつBの添加効果について検討した。

P量の異なる極低炭素Ti添加Alキルド鋼にB量を変化させた供試鋼を用い、冷延-連続焼鈍後に絞り比2.2でカップ成形し、低温域の拡開試験によって延性破壊から脆性破壊に移行する遷移温度を調査した。その結果、図8に示すように、ごく少量のB添加によって遷移温度が著しく低下することが明らかになった。

PとBの粒界偏析挙動を調べるためにP添加材についてオージェ分析装置内で脆性破壊させ、粒界破面を分析

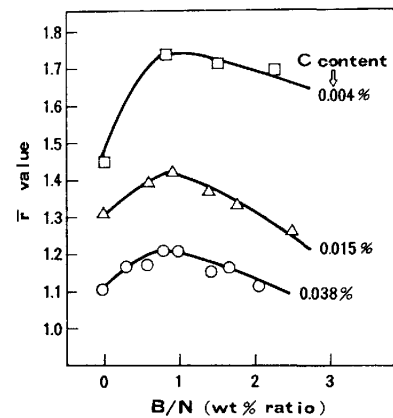


Fig 7. Dependence of \bar{r} on B/N ratio and C content

した。その結果を図9に示す。Bの粒界偏析量は10ppmのB添加量で最大レベルに達する。一方、Pの偏析量は20ppm程度のB添加量まで変わらず、多量のB添加によって急激に低下する。

ごく少量のB添加でも粒界脆化が抑制されることを考えると、Bの作用はCとPのような置換効果⁵⁾によるものでなく、Bの原子半径が小さいことによる粒界の強化効果^{6),7)}と考えられる。

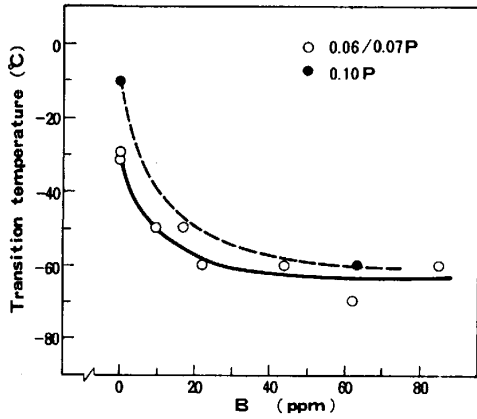


Fig 8. Effect of B on transition temperature for brittle cracking in very low C-Ti steel sheets

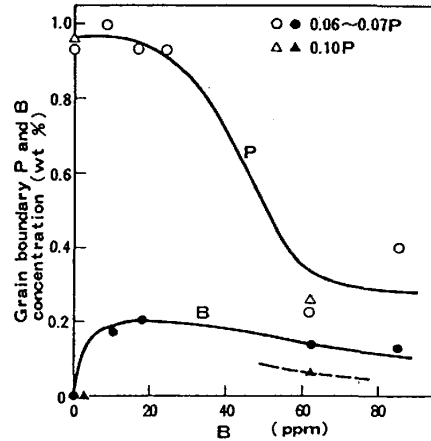


Fig 9. Variation of grain boundary P and B concentration with B bulk concentration

4. 複合組織形成に及ぼすBの影響⁸⁾

フェライト相とマルテンサイト相からなる複合組織高強度冷延鋼板の製造において鋼の焼入れ性を向上させるBの効果を検討した。

0.05C-1.5Mn-0.01Al-0.0045Nの組成にB量を変化させた鋼を冷延し2相域焼鈍(775°C-90秒均熱, 空冷)後に引張特性を調べた。図10に示すように、 $B-11/14 \cdot N > 0$ によって、言い換えれば固溶のBを存在させることによって複合組織鋼としての特性(降伏比0.6以下, かつ降伏点伸び0.5%以下)が得られる。次にBの焼入れ性向上効果を定量化する目的で、C-Mn系とC-Mn-B系で複合組織鋼化に必要なMn量と2相域焼鈍後

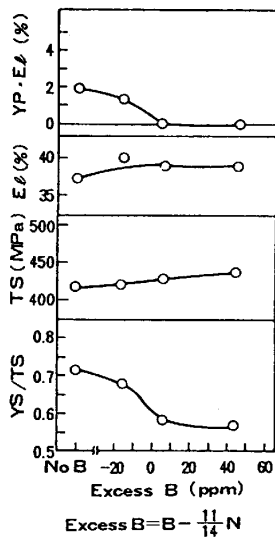


Fig 10. Effect of B on formation of dual phase structure

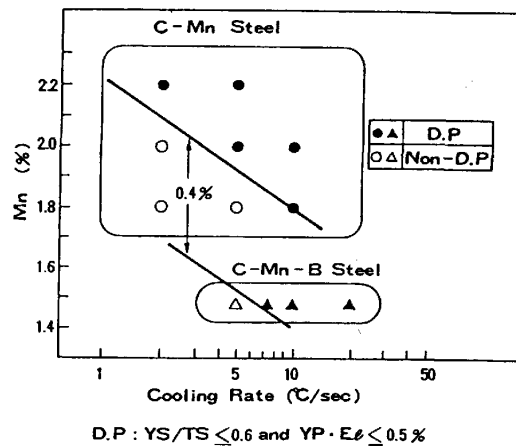


Fig 11. Comparison of Mn content required for dual phase structure of C-Mn and C-Mn-B steels (C: 0.04~0.05%, Excess B: 21 ppm)

の冷却速度との関係を比較検討した。図 11 に示すように、B 添加によって複合組織鋼化に必要な Mn 量が約 0.4% ほど低減できることが明らかになった。

B がオーステナイト粒界に容易に偏析することはよく確認されているが、複合組織鋼のように 2 相域で焼鈍した場合の B の偏析挙動は不明である。そこで、図 10 で $B - 11/14 \cdot N > 0$ の試料について組織と B の分布状態を同一位置で観察した。その例を図 12 に示す。図より明らかなように、B は 2 相域焼鈍時のオーステナイト粒に相当する場所に集中して偏析している。

B が 2 相域焼鈍で焼入れ性を向上させるのは、オーステナイト相中に B と C が濃縮し冷却中のオーステナイトの変態を抑制するためと考えられる。

5. まとめ

連続焼鈍法によって極軟鋼板及び高強度鋼板を製造する場合に B の新しい有効性を知見した。

- (1) Al キルド鋼に N 量と当価の B 量を添加すると、BN がオーステナイト域でも容易に析出するため、低温巻取でもスキベンジング効果が得られ、結晶粒の成長が促進されることによって材質特性の優れた冷延鋼板が得られる。
- (2) 固溶の C, N が完全に固定された鋼板の 2 次加工による脆性破壊は微量の B 添加によって著しく抑制できる。B の粒界偏析により粒界が強化されるためと考えられる。
- (3) 複合組織高強度冷延鋼板の製造において B が 2 相域焼鈍中にオーステナイト相に濃縮することにより複合組織鋼化に必要な Mn 量を約 0.4% ほど低減できる。

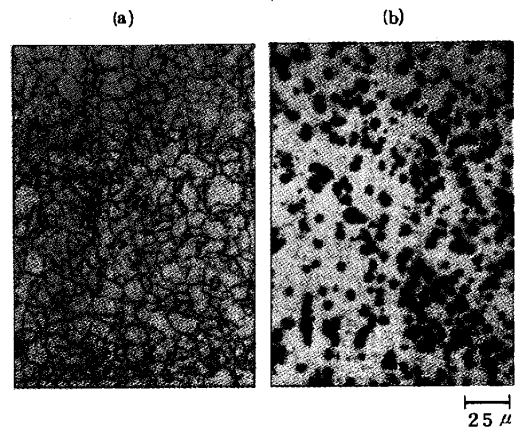


Fig 12. Micrograph (a) and boron - autoradiograph (b) of B-bearing dual phase steel sheet.

参考文献

- 1) 高橋, 早川, 古野; 鉄と鋼, 66 (1980), S 1239
- 2) 高橋, 古野, 野坂, 福地, 浅井, 岩本; 鉄と鋼, 66 (1980), S 365
- 3) 高橋, 古野, 早川; 鉄と鋼, 66 (1980), S 1247
- 4) 高橋, 柴田, 古野; 鉄と鋼, 66 (1980), S 1127
- 5) H. Erhart and H.J. Grabke; Metal sci., 15 (1981), P. 401
- 6) H. Taga and A. Yoshikawa; Pro. ICSTIS, Suppl. Trans. ISIJ, 11 (1971), P. 1256
- 7) M.P. Seah; Proc. Roy. Soc., 349 A (1976), P. 535
- 8) 高橋, 古野, 福永, 浅井, 松田; 鉄と鋼, 67 (1981), S 526