

## 技 術 論 文

### 含硼素鋼の研究 (第 6 報) 低炭素-低合金鋼に対する 微量硼素添加の影響 (III) 0.15~0.20 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu-鋼に対する硼素添加の影響

今井 勇之進\* 今井 彦太郎\*

Yûnoshin Imai and Hikotarô Imai : An Investigation on Boron-Treated Steels (6th Report.) On the Effects of Boron-Addition to Low-Carbon, Low-Alloy Steels (III).

Following the preceding two papers, this paper describes the results of mechanical tests on several series of 0.15~0.20 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu-steels containing boron, tested in normalized or hardened and tempered conditions. In the normalized condition, all these series of steels did not show any effects of boron-addition. But in the hardened and tempered condition of several steels, such as containing 0.15~0.20 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.5 % Cu, boron is revealed as a very useful element; i. e., the max. and yield stresses are enhanced in the degree of 15~25 kg/mm<sup>2</sup>, the reduction of area and the elongation are not decreased, only the results on impact tests indicate slight decrease, but their values are rather high in view of their high max. and yield stresses. Mn-additions, in the order of 0.5~2.0 %, to these steels, are not so effective in either the normalized or the heat-treated condition. In the carburizing tests of these steels, the results also indicated very desirable features. From the results above mentioned, these steels are more suitable as structural low-alloy steels, or as the carburizing steels, than low-grade Ni-Cr steels.

(Received February 19, 1953)

#### I. 緒 言

前報<sup>(1)</sup>および前々報<sup>(2)</sup>において 0.05~0.15 % C, 0.3~0.5 % Mo-鋼に対する 0.003 % 程度の微量硼素の添加による機械的諸性質の變化について詳細に報告した。本報においては 0.15~0.20 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu-鋼に対する諸影響につき報告する。

従来 Cu は鋼の焼入れ効果を大にするという利點あるも、赤熱脆性などの理由より特殊な材料以外は構造用鋼の合金元素としても餘り歓迎されてはおらぬところである。また Cu は製鐵あるいは製鋼の過程においてこれを除却するに適當な方法がなく、scrap などの戻し材より逐次鋼中の Cu 含有量は蓄積されるものである。これがため特に Cu 含有量が高まつた場合には製鐵あるいは製鋼の過程において Cu 含有量の低い鑛石あるいは鋼材を投入配合し、その含有量を低減せしめる方法が現在施行されているものである。このようにして 0.2 % 前後の Cu は通常鋼中に含有せられてくる。本報告においてはこのようにして通常含有せられくる Cu をもこれを一つの合金元素とし、1.0 % Cr を基本添加元素とした 0.15~0.20 % C 程度の低炭素のものにつき 0.003 % 程度の微量硼素添加の諸影響を検討した。さらに以上の組成のものに 0.5~2.0 % 程度の

Mn を添加せるものについての結果も併せ報告する。

#### II. 實 験 方 法

實驗に使用した試料はすべて前報同様高周波誘導爐にて熔解し、2 kg のインゴットとし、これを鍛造の上抗張試

Table 1 Chemical Compositions of the Specimens.

Series	No.	C %	Cr %	Ti %	Cu %	Mn %	B %
Series I 0.15 % C-Cr-Cu-B	No. 42	0.15	1.0	0.15	0.3	—	—
	No. 43	"	"	"	"	—	0.003
	No. 44	"	"	"	0.5	—	—
	No. 45	"	"	"	"	—	0.003
	No. 46	"	"	"	0.7	—	—
	No. 47	"	"	"	"	—	0.003
Series II 0.30 % C-Cr-Cu-B	No. 48	0.30	1.0	0.15	0.3	—	—
	No. 49	"	"	"	"	—	0.003
	No. 50	"	"	"	0.5	—	—
	No. 51	"	"	"	"	—	0.003
	No. 52	"	"	"	0.7	—	—
No. 53	"	"	"	"	—	0.003	
Series III 0.15 % C-Cr-Cu-Mn-B	No. 54	0.15	1.0	0.15	0.3	0.5	0.003
	No. 55	"	"	"	"	1.0	"
	No. 56	"	"	"	"	1.5	"
	No. 57	"	"	"	"	2.0	"
Series IV 0.20 % C-Cr-Cu-Mn-B	No. 58	0.20	1.0	0.15	0.3	0.5	0.003
	No. 59	"	"	"	"	1.0	"
	No. 60	"	"	"	"	1.5	"
	No. 61	"	"	"	"	2.0	"

\* 東北大學金屬材料研究所

(1) 今井, 今井, 本誌, 17 (1953), 134.

(2) 今井, 今井, 本誌, 17 (1953), 129.

驗片 (平行部=25 mm, 平行部の徑=7mm), シャルピー衝擊試片および硬度測定用その他の試片を切削した。供試材料の配合組成は Table 1 に掲げたもので, Cr および Mn の添加にはそれぞれ金屬 Cr および電解 Mn を用い, Cu は電解銅により添加し, また Ti および B は前報の場合と同様に 30 % Ti の Ferro-Ti および 10 % B の Ferro-B を使用した。前報までにしばしば述べて来たように硼素の添加は Si による脱酸のみにては不充分にして, 適量の Ti あるいは Al などにより強脱酸および脱窒をし置くことが重要であつて本報告の場合はこの強脱酸および脱窒のため, 全試料とも 0.15 % Ti を硼素の添加に先行して添加した。またこれらの試料は Cu 含有量 0.3 ~ 0.7 % なるもいずれの場合においても鍛造上特に著しい赤熱脆性を示さず, 特に注意の拂うことを要しなかつた。

### III. 實驗結果

#### 1. 機械試驗

Series I. 0.15 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu, 0.003 % B.

#### (1) 焼準のまゝの状態における機械的性質の變化:

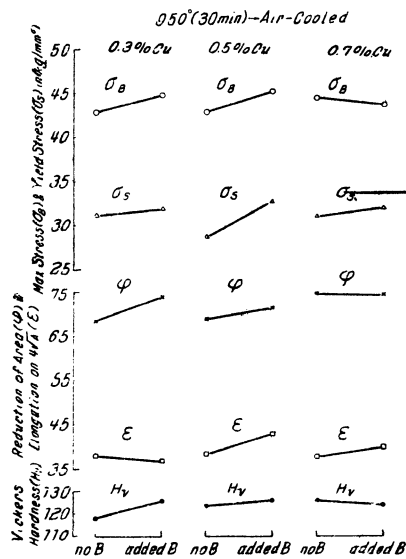


Fig. 1 Mechanical Properties of 0.15 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu, 0.15 % Ti Steels with and without Boron Addition, as Air-cooled from 950°.

ざるものもほとんど同一の顯微鏡組織を示すことによりしても明瞭に知ることが出来る。すなわち前報において報告した 0.3~0.5 % Mo 鋼におけるが如き著しい効果は本鋼種にては認めることは出来ない。

(2) 焼入れ焼戻を施せる場合の機械的性質の變化: 950°に 30 分間加熱後水焼入れこれを 100~600°の各温度にて 30 分間焼戻を施せる場合の硬度の變化を Fig. 2 に, また 350°, 450° および 550° にて焼戻せる場合の機械的性質を

Fig. 3 に示す。Fig. 2 より明らかなように Cu 含有量 0.3 % および 0.5 % の場合における微量硼素の添加は極めて有効にその焼

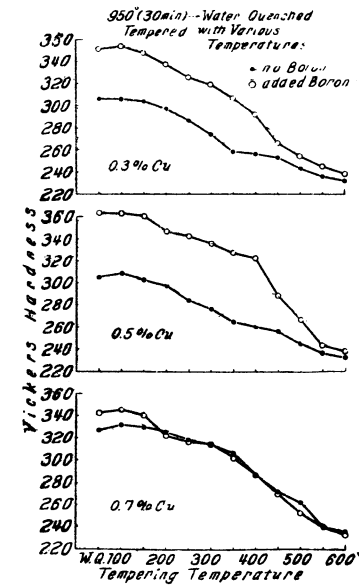


Fig. 2 Hardness Changes of 0.15 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu, 0.15 % Ti Steels with and without Boron-Addition, as Quenched and Tempered.

入れ硬度を高め, 明らかに焼入れ効果の向上を示す。またこれが焼戻に際して焼戻温度 400° 程度まではほとんど焼入れ時の硬度差を保持するも焼戻温度が 400° 以上になると漸次その硬度差は減少し, 硼素を添加せざるものと同等の値を示すようになる。これに對し Cu 含有量 0.7 % にもなると, Cu そのもの増加による焼入れ効果の向上により硼素添加の効果

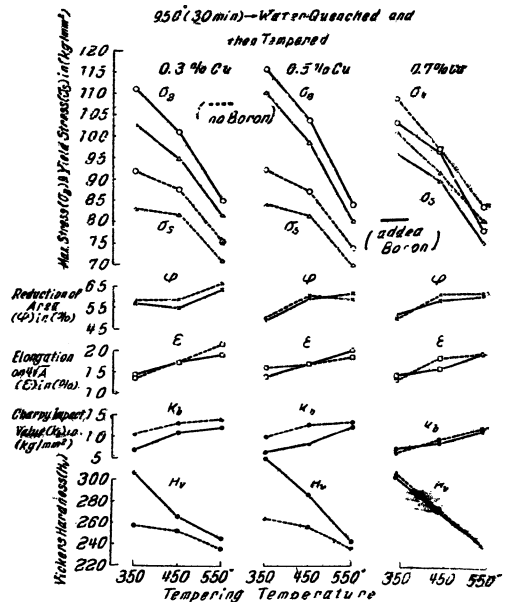


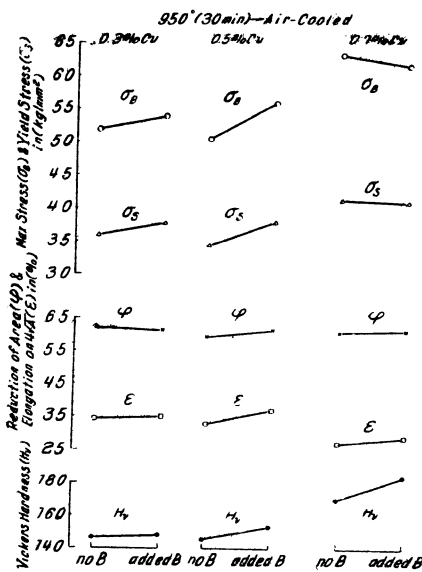
Fig. 3 Mechanical Properties of 0.15 % C, 1.0 % Cr, 0.3~0.7 % Cu, 0.15 % Ti, Steels with and without Boron-Addition, as Quenched and Tempered.

は抹殺せられ明瞭に認められなくなる, すなわち Cu 含有量の低いものにおいてのみ硼素の添加は効果的である。次

に Fig. 3 に示した 350°, 450° および 550° 焼戻の場合の機械的性質を見るに、Cu 含有量 0.3% および 0.5% の場合  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値は硼素の添加により各焼戻温度とも相當大きな増大を示している。このことは焼戻硬度の差違によつても豫期せられたところである。しかしながら  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の著しい増大にもかかわらず絞りおよび伸びの値はほとんど變化なく、僅かに衝撃抗力が低下するも 350° 焼戻の場合  $K_b = 7 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$  前後、450° 焼戻の場合  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$  前後、さらに 550° 焼戻の場合には  $12 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$  以上という値はそれぞれの場合の  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値に對しこの種の材料としては極めて優秀なものといふことが出来る。次に Cu 含有量 0.7% の場合は上述したようにその焼入れ硬度および焼戻硬度においてほとんど差違を示さなかつた如く、350°, 450° および 550° 焼戻の場合の機械的性質もほとんど同一にして硼素添加の効果は何等認めることは出来ない。要するに本 series の鋼種にありては Cu 含有量 0.5% 以下なる場合、微量硼素の添加は焼入、焼戻を施せる場合極めて優秀な機械的性質を示す。すなわち衝撃値を餘り低下せしめることなく  $\sigma_B$  においては  $10\sim 30 \text{ kg}/\text{mm}^2$   $\sigma_S$  においては  $10\sim 25 \text{ kg}/\text{mm}^2$  の如き著しき増大を示し、また絞り、伸びなどの値はほとんど變化なく低級構造用 Ni-Cr 鋼の代用として充分價値あるものである。

**Series II. 0.3% C, 1.0% Cr, 0.3~0.7% Cu, 0.003% B.**

(1) 焼準のままの状態における機械的性質の變化：實驗結果を Fig. 4 に示す。この場合もまた上述の series

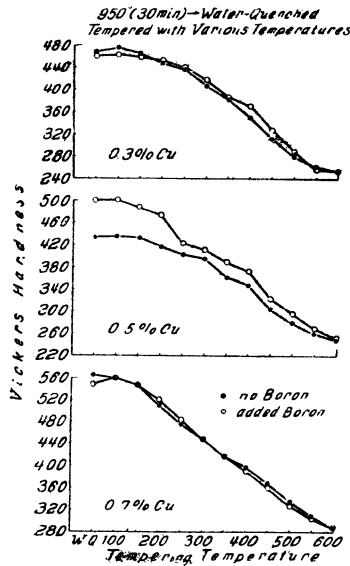


**Fig. 4 Mechanical Properties of 0.3% C, 1.0% Cr, 0.3~0.7% Cu, 0.15% Ti, Steels with and without Boron-Addition, as Air-cooled from 950°.**

のままの状態における硼素添加の効果の發揮には何等役立つものではない。

**(2) 焼入れ焼戻を施せる場合の機械的性質の變化：**

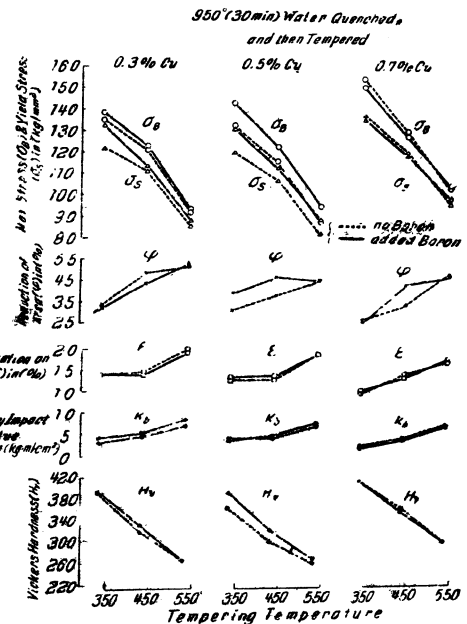
Series I と同様 950° に 30 分間加熱後水焼入れこれを 100~600° の各温度にて 30 分間焼戻せる場合の硬度の變化および 350°, 450° および 550° に焼戻せる場合の機械的諸性質をそれぞれ Fig. 5 および Fig. 6 に示す。Fig. 5 より



**Fig. 5 Hardness Changes of 0.3% C, 1.0% Cr, 0.3~0.7% Cu, 0.15% Ti Steels with and without Boron-Addition, as Quenched and Tempered.**

明らかなように、この場合においては Cu 含有量の如何にかかわらずその焼入れ硬度は硼素の添加によつてほとんど何等の變化も認められない。このことは C 含有量の増加により硼素の添加の有無に關係なく、材質それ自體すでに大きな焼入れ効果を有するをもつて硼素添加の効果はこれにより抹殺せられ顯われなくなるものと思われる。また各焼戻温度における硬度も

の場合と同様焼準のままの状態にてはほとんど何等の硼素添加の効果を示さない。すなわちこの種 1.0% Cr, 0.3~0.7% Cu 鋼においてはその炭素含有量を 0.3% 程度へ増加により焼準



**Fig. 6 Mechanical Properties of 0.3% C, 1.0% Cr, 0.3~0.7% Cu, 0.15% Ti Steels with and without Boron-Addition, as quenched and tempered.**

硼素添加の有無にかかわらずほとんど同一にして何等の影響も認められない。このことよりしても 350°, 450° および

550° 焼戻の場合の機械的性質も硼素添加の有無にかかわらずほとんど同一のものであることは豫期出来ることである。すなわち Fig. 6 に示す如きほとんど同一な機械的性質にして、Series I におけるが如き硼素添加の効果は何等認め得ない。

これを要するに、この種の鋼材においてよく硼素添加の効果も期待せんがためにはその C 含有量はなるべく低いものを可とし、0.3% 程度にもなれば全然その効果なきことを知る。たゞしこの場合硬化能すなわち Hardenability という観点よりすれば、Series II における材料の組成より見ても微量の硼素の添加は著しくこれを増大しおるといふことは諸種の研究結果よりして確かなことである。従つて供試材料の大きさによつては Series II においても硼素添加による効果もまた顯われくるものと思推する。すなわち本報告におけるが如き平行部の直徑 7 mm 程度の小抗張試片にありてはその質量効果に関する諸種の影響を無視し得るため、上述したように硼素添加の効果は皆無である。

Series III. 0.15% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.003%

% B, 0.5~2.0% Mn

Series IV. 0.20% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.003%

% B, 0.5~2.0% Mn

(1) 燒準のままの状態における機械的性質の變化：上に述べたようにこの種の鋼種にては燒準のままの状態において前報の 0.3~0.5% Mo 鋼の場合の如き著しい硼素添加の効果は求め得られなかつた。従つてさらにこれらのものに 0.5~2.0% 程度の Mn を添加して鋼材そのものゝ空冷時の性質を向上した場合に前報におけるが如き硼素添加による飛躍的な効果が得られるかどうかを検討して見た。これらの實驗結果を Fig. 7 に示す。圖において實線にて示した値は 950° に 30 分間加熱後通常の方法にて室温まで空冷したもの、また點線にて示した値は同じく 950° に 30 分間加熱後扇風機により風を送りつゝいわゆる衝風冷却を施したのものについての實驗結果である。すなわち普通の空冷時においては C 含有量 0.15% の場合は Mn 添加量 1.0% 程度までは餘り大きな効果を示さぬが、Mn 量 1.5% 以上になると空冷のままでも可成り大きな  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値を示す。また C 含有量 0.20% の場合は Mn 添加量の増加に伴いほぼ直線的に  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値が増大する。次に衝風冷却の場合について見るに C 含有量 0.15% の場合は Mn 添加量 1.0% より良くその効果を示し、高い  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値を示すようになる。また C 含有量 0.2% の場合は Mn 添加量 0.5% より 2.0% への増加に伴いほぼ直線的に  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の増大を示す。しかしながらこれらの變化を検討するに、 $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の増大はすべて添加せし Mn による影響が主として顯われしものであつて、Mn のある添加量において特に飛躍的な増大を示しておらぬといふことは Mn の添加により特に硼素の作用が効果的に促進増大せしめられたということを示すものではない。すなわち燒準の状態にありては Mn などの添加によりそのもの自體の空冷時の硬化性を大にしてやつても硼素の効果は餘り促進せられぬのである。要するに圖に示したところの  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  などの増大は主として添加せられた Mn の作用に負うものである。次にこれらのものゝ伸び、絞りあるいは衝撃

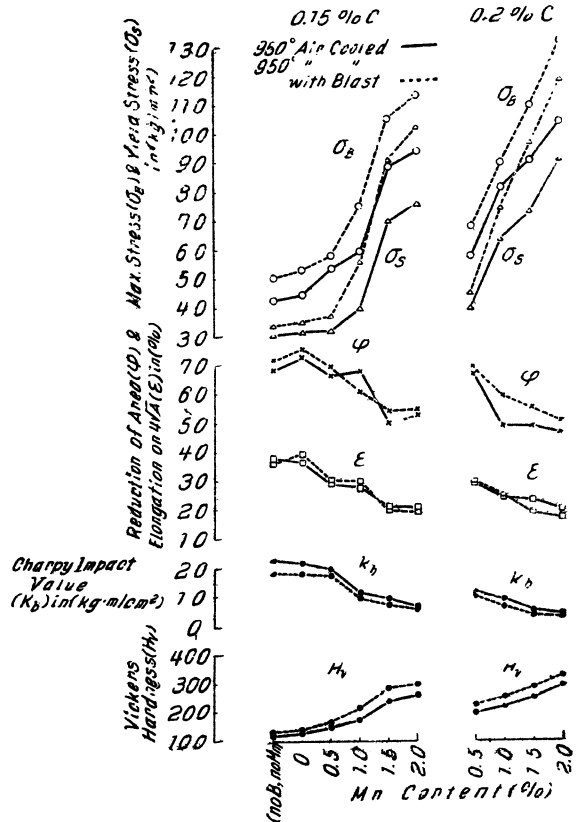


Fig. 7 Mechanical Properties of 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.15% Ti, 0.003% B Steels with Addition of 0.5~2.0% Mn, as Air-cooled from 950° with and without Blast.

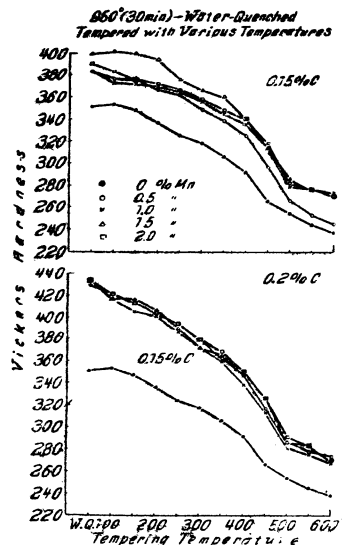


Fig. 8 Hardness Changes of 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.15% Ti, 0.003% B Steels with Addition of 0.5~2.0% Mn, a Quenched and Tempered.

示すものではない。すなわち燒準の状態にありては Mn などの添加によりそのもの自體の空冷時の硬化性を大にしてやつても硼素の効果は餘り促進せられぬのである。要するに圖に示したところの  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  などの増大は主として添加せられた Mn の作用に負うものである。次にこれらのものゝ伸び、絞りあるいは衝撃

値を見るに Mn の添加量が 0.15% の場合においては 1.5% Mn 以上, また 0.20% C の場合においては 1.0% Mn 以上にもなると著しく低下し, 餘り良好な結果をもたらすものではない. 要するに本報告におけるが如き 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3~0.5% Cu 鋼のごとき鋼種においては前報の 0.3~0.5% Mo 鋼において見られた如き焼準のままの状態における機械的性質の飛躍的向上は硼素の添加により期待することは出来ぬのである.

(2) 焼入, 焼戻を施せる場合の機械的性質の変化: 950° に 30 分間加熱後水焼入し, これを 100~600° の各温度にそれぞれ 30 分間焼戻した場合の硬度の変化を Fig. 8 に示す: 圖より明らかなように 0.5~2.0% 程度の Mn の添加によつて焼入れ硬度および焼戻硬度は何れも相當の高い値を示している. しかし添加せし Mn 量の差異による硬度の差は餘り認められずほとんど同等の値を示す. これら Mn を添加せし場合の 350°, 450° および 550° 焼戻の場合の機械的性質を Fig. 9, 10 および Fig. 11 に示す. 圖より見て

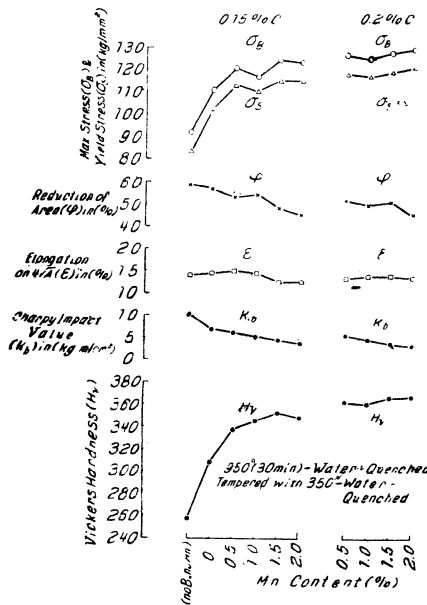


Fig. 9 Mechanical Properties of 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.15% Ti, 0.003% B Steels with Addition of 0.5~2.0% Mn, as Quenched and Tempered with 350°.

對する Mn の添加は餘り有効なものでなく, 假りに Mn を添加して  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値を少しく高めようとする場合においても 1.0% 程度までの添加に止めるのが適當である.

## 2. 滲炭試験

上述の試料について滲炭試験を行うに 30% BaCO<sub>3</sub> を含む普通滲炭劑による場合は本鋼種は 1.0% Cr を含有するため著しい過剰滲炭を示す. 従つて普通滲炭劑に該炭を混入して緩和滲炭を行つた場合の一例を Table 2 に示す.

この場合試料としては直徑 6 mm, 長さ 15 mm の丸棒を使用した. Table 2 より明らかなように硼素添加の有無に

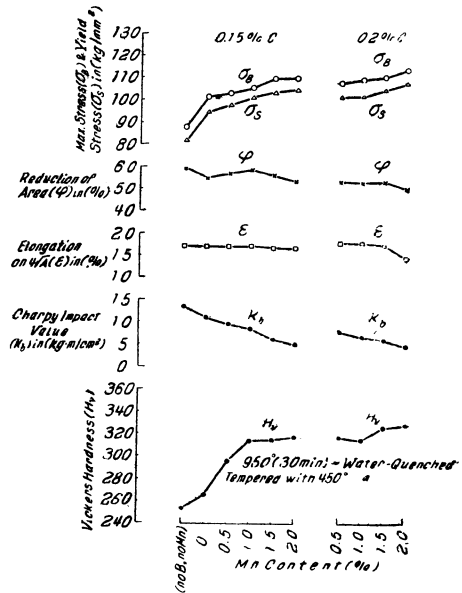


Fig. 10 Mechanical Properties of 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.15% Ti, 0.003% B Steels with Addition of 0.5~2.0% Mn, as Quenched and Tempered with 450°

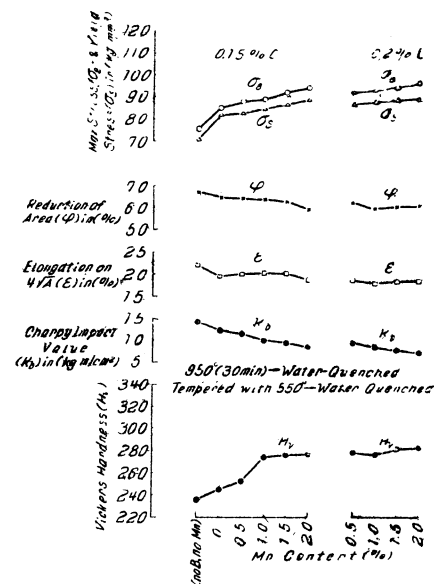


Fig. 11 Mechanical Properties of 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3% Cu, 0.15% Ti, 0.003% B, Steels with Addition of 0.5~2.0% Mn, as Quenched and Tempered with 550°.

關せずほとんど同等の滲炭狀況にして, 滲炭層の組織もまた正常である. またこの場合の大洲田結晶粒度は 7~8 (學振法) にして極めて優秀なものである. 従つてこの鋼種は

また肌焼鋼としても充分實用に適するものである。

Table 2 Carburizing Tests (925°×6 hrs).

Sp. No.	No. 42	No. 43	No. 54	No. 55	No. 56	No. 57
wt of the specimens before carburizing	3.2966	3.3124	3.3155	3.3165	3.3140	3.3079
wt after carburizing	3.3289	3.3456	3.3473	3.3508	3.3489	3.3420
wt increase	0.0323	0.0332	0.0318	0.0343	0.0349	0.0341
% of wt increase	0.98	1.07	0.96	1.03	1.05	1.03

#### IV. 實驗結果に對する考察

上述したように 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3~0.5% Cu 鋼は 0.003% 程度の微量の硼素の添加により、焼入、焼戻の状態において極めて大きな  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の増大をもたらすということは單にそのもの自身では C 含有量低く、また合金元素の添加量も小にして、これを水焼入れする場合といえどもなおかつ充分な焼入れ効果を示さないのに對し、これに微量の硼素を添加することにより、充分焼きが入るようになったことに基くものである。かゝる焼入れ効果を増大せしめるという硼素の舉措に關しては現在なお詳かではないが恐らく hardenability を良く向上せしめるという硼素の舉措と同じ機構によるものと考えられる。

従つて充分焼入れ効果を示すような材質——すなわち本報告におけるが如き C 含有量の 0.3% 程度への増加とか、あるいは Cu 含有量の 0.7% 程度への増加とかにより材質自體充分焼きの入る如きもの——においては硼素の

添加はほとんどその價値がないのである。すなわち硼素の添加によつて焼入れ硬度そのものが増大するものではなく、今まで焼きが充分入らず硬度も比較的低かつたものが硼素の添加により充分焼きが入るようになったに過ぎないのである。

またすでに述べた如く  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  などの値の著しい増大にもかゝらず衝擊値がそれほど低下しないということは焼戻の過程にあつて析出してこるところの炭化物あるいは窒化物などの析出狀況が硼素の添加によつて微細に分散せしめられる結果に基くものと思推せられる。

#### V. 結 論

(1) 0.15~0.20% C, 1.0% Cr, 0.3~0.5% Cu 鋼に對し 0.003% 程度の微量の硼素の添加はこれを焼入、焼戻を施せる場合極めて優秀な機械的性質の向上を示し、著しい  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の増大を示すにもかゝらず伸び、絞りなどはほとんど變化なく、衝擊値もまた僅かに低下するのみで低級構造用 Ni-Cr 鋼の代用に適するものである。

(2) 本鋼種に對する Mn の添加は餘り有効でなく、0.5~2.0% 程度の Mn の添加により  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の値は増大するも餘り顯著なものでなく、Mn 添加量の増加に伴い衝擊値も逐次低下するを以て 1.0% 以上の Mn 添加は適當ではない。

(3) 本鋼種は通常の緩和滲炭法により極めて優秀な滲炭組織を示し、大洲田の結晶粒度もまた 7~8 程度の微細なものにして肌焼鋼としても實用に供し得るものである。