

含 硼 素 鋼 の 研 究 (第 5 報)  
低炭素-低合金鋼に對する微量硼素添加の影響 (II)\*  
0.05~0.08 % C, 0.3~0.5 % Mo 鋼に對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 (5th Report). On the Effects of Addition of Boron Upon the Mechanical Properties of Low-Carbon, Low-Alloy Steels [II]. This paper describes the results of mechanical tests on several series of low-carbon (0.05~0.08 %), low-alloy (0.3~0.5% Mo) steels containing boron (0.003 %), tested in a hardened-tempered condition. Like the results of tests under normalized condition, in a 550°-tempered condition, the mechanical

\*\* 東北大學金屬材料研究所

\* 1951年春期及び秋期大會に發表

properties of these types of steels are improved markedly by addition of boron, the max. stress rising from 55 kg/mm<sup>2</sup> to 75~85 kg/mm<sup>2</sup> and the yield stress, from 40 kg/mm<sup>2</sup> to 70~80kg/mm<sup>2</sup>. The reduction of area or impact values are not effected so much; the former remaining at 55 ~ 65 % and the latter showing the considerably high values of 7.5~12.0 kg-m/cm<sup>2</sup>. The elongation is slightly decreased from 30 % to 20~25 %. An addition of Mn or Cr, in the order of 1.0 % or an increase of carbon-content up to 0.2 %, are very effective to raise their strength much as in samples prepared under normalized condition.

(Received November 11, 1952)

I. 緒 言

前報<sup>(1)</sup>において 0.05~0.08% C, 0.3~0.5 % Mo 鋼の機械的諸性質について 0.003 % 程度の微量硼素添加の効果につき主として焼準のままの状態における実験結果を簡単に報告したが、本報においてはこれらのものゝ焼入、焼戻を施した場合の諸結果について報告する。

II. 実験方法

実験に使用した試料はすべて前報<sup>(1)</sup> Table 1 に掲げたものである。

III. 実験結果

機械試験に先立つ熱処理としては 950° に 30 分間加熱後水焼入れを行いこれを 550° にて 30 分間焼戻を行った。

1. 焼戻時の硬度の變化

950° に 30 分間加熱後水焼入れを施し、爾後 100~700° の温度範囲にてそれぞれ 30 分間焼戻を施した。焼戻温度よりの冷却はすべて水中冷却とした。

Series I. 含硼素, 0.05~0.08 % C, 0.5 % Mo の焼戻硬度の變化

各焼戻温度における硬度の變化を Fig. 1 に示す。同圖より明らかなようにに硼素を添加せるものゝ中 Ti 0.1 % お

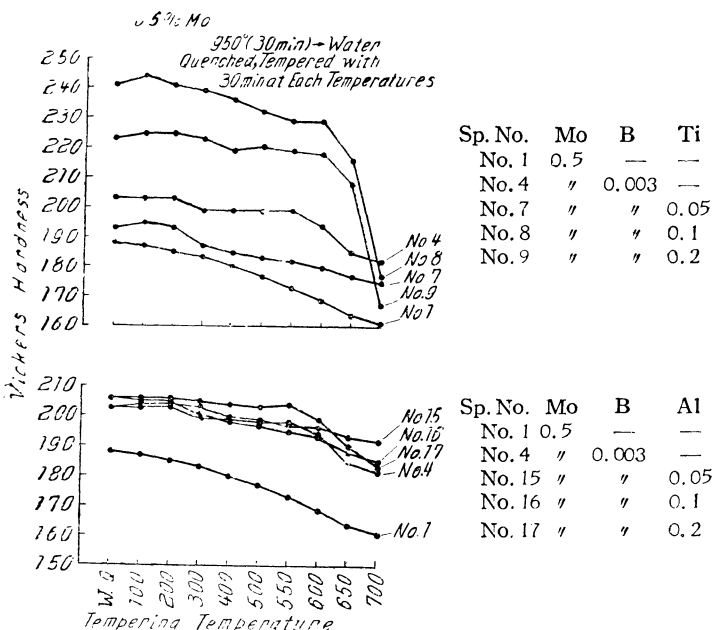


Fig. 1 Changes of Hardness with Tempering of 0.05~0.08% C, 0.5 % Mo, 0.003 % B-Steels with and without Ti or Al- Additions.

よび 0.2 % 添加のもの、および Al 0.2 % 添加せるものは焼入硬度が相當高い値を示している。すなわち 0.05~0.08 % C の如き極めて低い含炭素量にもかかわらず硼素添加により焼入れ硬化が顯著に認められる。またこれらの鋼種はすべて含炭素量 0.05~0.08 % 程度の極めて低炭素のため焼戻温度 600° 程度までは餘り大きな硬度の減少を示さない。従つて次項に述べる焼入、焼戻、操作を施せるものゝ機械試験においてはすべて焼戻温度を 550° とした。要するに 0.05~0.08 % C, 0.5 % Mo 鋼に對して適當量の Ti または Al の添加を伴つた微量の硼素の添加は含炭素量が極めて低いにもかかわらずなお相當大きな焼入れ効果を示し焼入硬度が大になる。

Series II. 含硼素, 0.05~0.08 % C, 0.4 % Mo の焼戻硬度の變化

実験結果を Fig. 2 に示す。この場合も Series I と同様 Ti または Al 0.2 % を添加せるものはその他のものに較べ相當高い焼入れ硬度を示している。

Series III. 含硼素 0.05~0.08 % C, 0.3 % Mo の焼戻硬度の變化

実験結果を Fig. 3 に示す。この場合も上述の Series I, II の場合同様 Ti 0.1 % または Al 0.2 % の同時添加の場合、焼入れ硬度は高くなるが 0.5 % Mo, 0.4 % Mo の場合はほど大きなものではない。

以上を要するに適當量の Ti または Al の同時添加により微量の硼素の添加は焼入れ効果を大にし、焼入れ硬度は大になる。しかしその度合は含 Mo 量の減少に伴い漸次減少するものも 0.3 % Mo の場合においても明瞭に認め得る。

2. 焼入れ焼戻後の機械試験の結果

前述せるようにに焼戻は 550° にて 30 分間行い、爾後の冷却は水中冷却とした。

Series I. 焼戻時の含硼素, 0.05~0.08 % C, 0.5 % Mo の機械的性質

実験結果を Fig. 4 に示す。すなわち圖より明らかなようにに B 0.003 % は Ti 0.1 ~ 0.2 % または Al 0.2 % の同時添加を施せる場合  $\sigma_B$  は 83~85 kg/mm<sup>2</sup> にも達し無硼素のものに較べ約 30 kg/mm<sup>2</sup> の増大を

示す。また  $\sigma_s$  は 80~82 kg/mm<sup>2</sup> となり、これまた約 40 kg/mm<sup>2</sup> 程度の飛躍的増大を示す。このように含炭素量 0.05~0.08 % C 程度にして、しかも 550° にて焼戻を

(1) 今井, 本誌, 17 (1953), 129.

施してあるにもかかわらず  $\sigma_B=85\text{kg/mm}^2$ ,  $\sigma_S=80\text{ kg/m}^2$  の如き高い値を示すことは次に述べるが如き可成りに

以上のような  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の極端な増大にもかかわらず絞り 60~65%, 伸び 23~25% の値はほとんど無

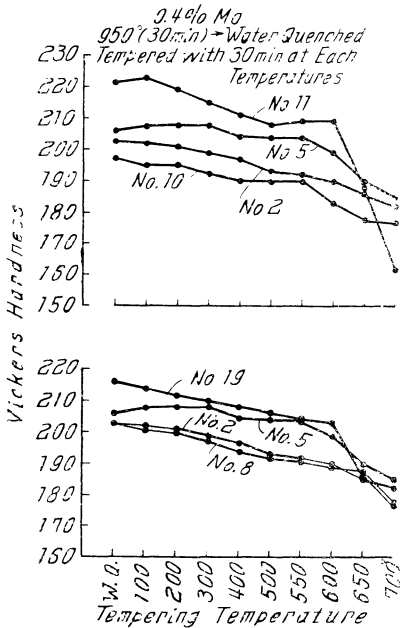


Fig.2 Changes of Hardness with Tempering of 0.05~0.08% C, 0.4% Mo, 0.003% B-Steels with and Without Ti- or Al-Additions.

Sp. No.	Mo	B	Ti
No. 2	0.4	—	—
No. 5	"	0.003	—
No. 10	"	"	0.1
No. 11	"	"	0.2

Sp. No.	Mo	B	Al
No. 2	0.4	—	—
No. 5	—	0.003	—
No. 18	"	"	0.1
No. 19	"	"	0.2

素の低  $\sigma_B$ , 低  $\sigma_S$  の場合と變らず, また衝撃値も Ti 添加の場合は  $12\text{ kg}\cdot\text{m/cm}^2$  前後にして優秀な値を示している. たゞ Al 0.2% 添加の場合は衝撃値の若干の低下を示し,  $7.5\text{ kg}\cdot\text{m/cm}^2$  前後となる. 要するに硼素添加の効果は焼入れ効果を増大し,  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  の飛躍的な増大をもたらすにもかかわらず他の機械的諸性質すなわち絞り, 伸びまた衝撃値などの低下を餘り惹起しないということである. このことは焼戻時における炭化物または窒化物などの析出を非常に微細な形に分散せしめること, および Ti または Al などの同時添加による結晶粒微細化のためによるものと考えられる.

Series II. 焼戻時の含硼素, 0.05~0.08% C, 0.4% Mo の機械的性質

實驗結果を Fig. 5 に示す. この場合も前述の Series I の場合と同様 Ti または Al 0.2% 添加の場合よく硼素添加の効果認められ  $\sigma_B 81\sim 82\text{ kg/mm}^2$ , また  $\sigma_S 77\sim 79\text{ kg/mm}^2$  の如き極めて高い値を示し絞り, 伸びおよび衝撃値などの低下はほとんど認められない. たゞ Al 0.2% 添加の場合は絞り 50%, 伸び 20% とやや低下を示すも, 實用上差したることは無きものと思われる.

Series III. 焼戻時の含硼素, 0.05~0.08% C, 0.3% Mo の機械的性質

實驗結果を Fig. 6 に示す. この場合も上述の場合と同様 Ti 0.1% または Al 0.2~0.3% の同時添加の場合極めて優秀な結果を示し  $\sigma_B$  および  $\sigma_S$  はそれぞれ  $74\sim 79\text{ kg/mm}^2$ , および  $68\sim 77\text{ kg/mm}^2$  となり, また絞り 55~65%, 伸び 23% 前後, 衝撃値  $9\sim 14\text{ kg}\cdot\text{m/cm}^2$  とそれぞれ優秀な値を示し, 硼素を添加せざるものに比較し餘り低下しない.

また Ti の同時添加の場合添加量が 0.2~0.3% と増加するに従い, 硼素添加の効果の低下するは前報<sup>(1)</sup>の空冷時における機械試験の項で述べた如く, 鋼中の溶解窒素量の極端なる低下によつて硼素の効果か餘り明瞭に顯われなくなつたものと考えられる. 従つてこの場合も焼入れ温度を前報<sup>(1)</sup>の場合と同様に  $1000^\circ$  以上の高温に上昇せしむれば, 硼素による効果は再び増大するものと思われるが, 熱處理温度の上昇はそれだけ結晶粒の粗大化を伴い, その結果當然衝撃抗力の低

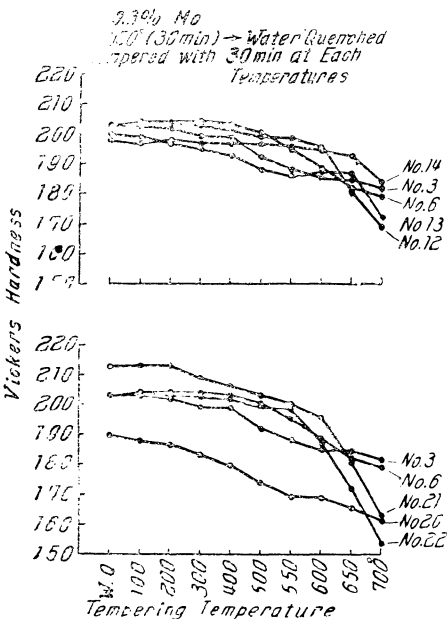


Fig.3 Changes of Hardness with Tempering of 0.05~0.08% C, 0.3% Mo, 0.003% B-Steels with and Without Ti- or Al-Additions.

Sp. No.	Mo	B	Ti
No. 3	0.3	—	—
No. 6	"	0.003	—
No. 12	"	"	0.1
No. 13	"	"	0.2
No. 14	"	"	0.2

Sp. No.	Mo	B	Al
No. 3	0.3	—	—
No. 6	"	0.003	—
No. 20	"	"	0.1
No. 21	"	"	0.2
No. 22	"	"	0.3

大きい衝撃抗力とともに注目値するものである.

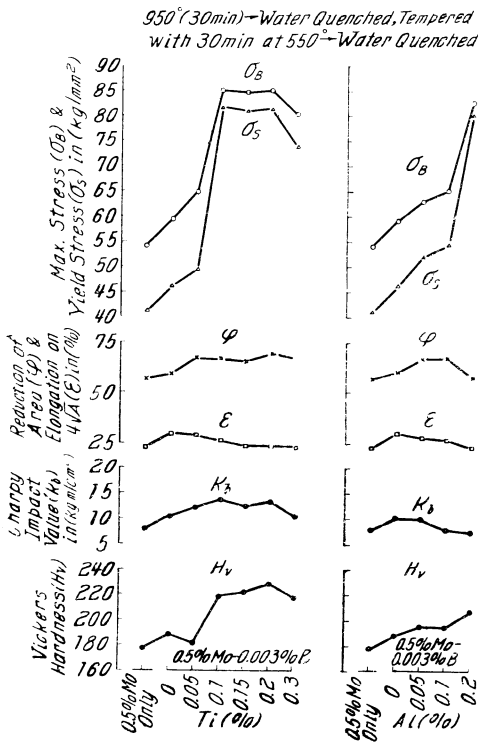


Fig 4 Mechanical Properties of 0.5% Mo-0.003% B-Steels, as Quenched and Tempered.

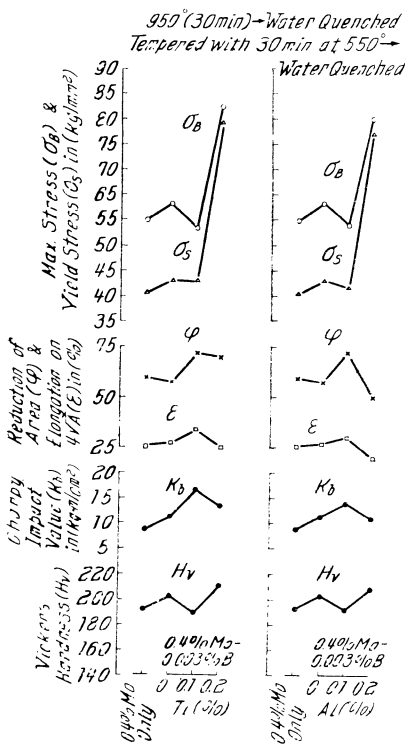


Fig 5 Mechanical Properties of 0.5% Mo-0.003% B-Steels, as Quenched and Tempered.

下をもたらすものであるから寧ろ有害で適量な Ti の添加量によつて比較的低い熱処理温度により充分硼素添加の効果をもたらす事が肝要である。

以上述べたように 0.05~0.08% C, 0.3~0.5% Mo 鋼に対する硼素の添加は適量量の Ti または Al の同時添加により前報(1)において述べた空冷の場合と同様焼入れおよ

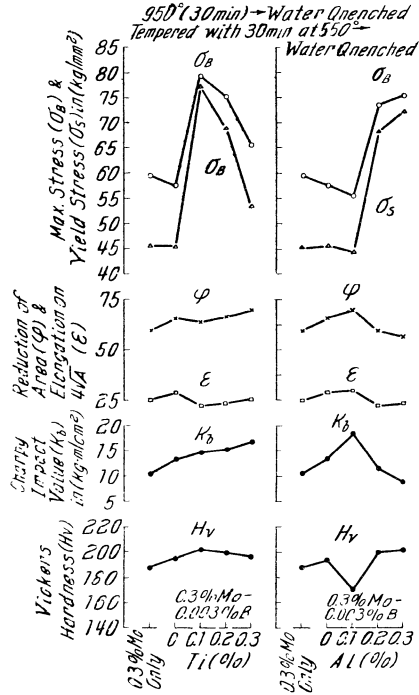


Fig. 6 Mechanical Properties of 0.3% Mo-0.003% B Steels, as Quenched and Tempered.

び焼戻を施した場合にも極めて優秀な結果を示す。

この場合前報(1)の空冷の場合同様 Ti または Al 單獨の添加によつてこれらの鋼種がどの程度まで機械的性質を改善するかを一應求めて置く必要がある。よつて Ti 單獨の添加の場合を求めて見るに 0.5% Mo 鋼の場合の結果は Fig. 7 に示す如くなる。

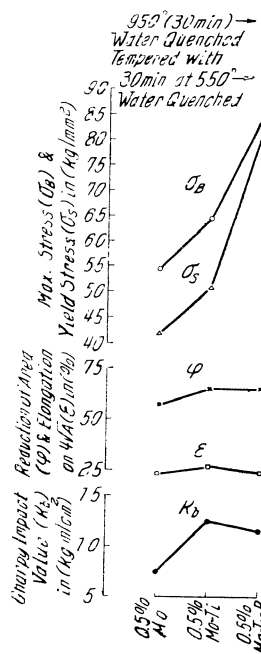


Fig 7 Mechanical Properties of 0.5% Mo-, 0.5% Ti- and 0.5% Mo-0.003% B-Steels, as Quenched and Tempered.

る。すなわち圖より明らかなように 0.15% Ti 程度の Ti 單獨添加によつても  $\sigma_B=64 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_S=41 \text{ kg/mm}^2$  となり、ある程度の増加を示すが上述の如き  $\sigma_B=80\sim 85 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_S=80\sim 83 \text{ kg/mm}^2$  の如き飛躍的な増大は矢張り硼素添加によるものと断ぜざるを得ない。

### 3. Series IV. 含硼素, 0.05~0.08% C, 0.3~0.5% Mo 鋼に対する Mn, Cr 及び V の添加による焼戻硬度の變化および機械的性質に対する影響

Mn, Cr および V の添加量は前報の空冷時の場合と同様 Mn および Cr はそれぞれ 1.0% とし、V は 0.5% および 1.0% の 2通りとした。これら諸元素を添加せる場合の焼戻時の硬度の變化を Fig. 8 に、また 550° 焼戻の場合のそれ

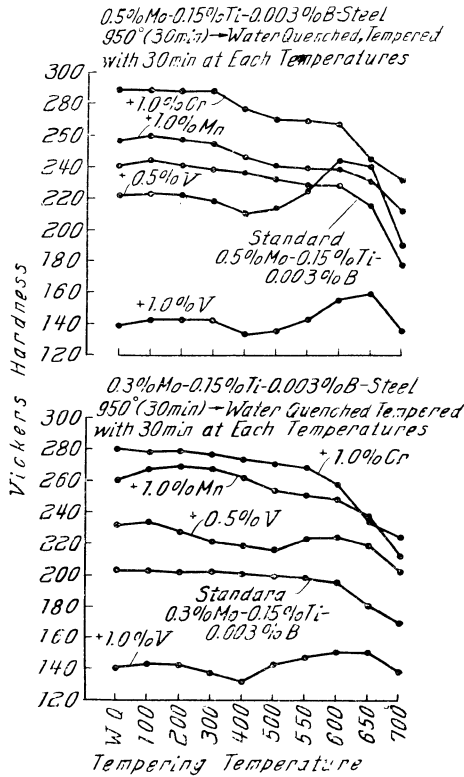


Fig. 8 Effect of 1.0 % Mn, 1.0 % Cr, 0.5 % V and 1.0 % and 1.0 % V-Addition to the Tempering Hardness of 0.5 or 0.3 % Mo-B-Steels.

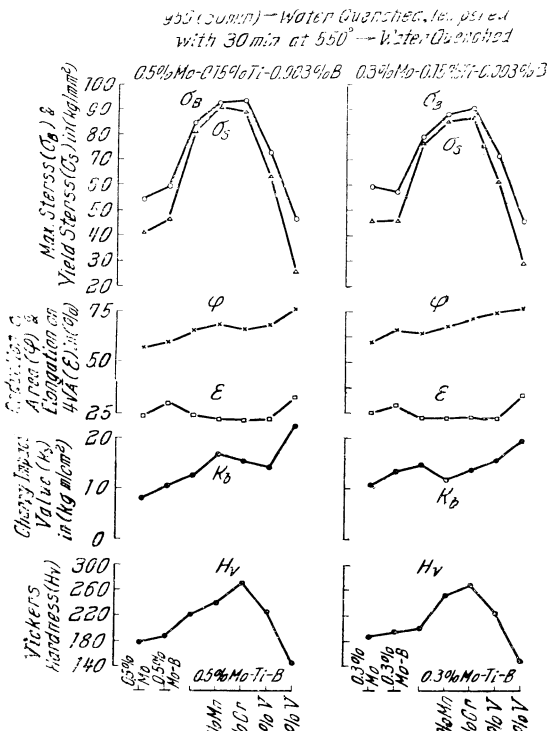


Fig. 9 Effect of 1.0 % Mn, 1.0 % Cr, 0.5 % V-Addition to the Mechanical Properties of 0.5 % or 0.3 % Mo-B Steels, as Quenched and Tempered.

ぞれの機械試験の結果を Fig. 9 に示す。

先づ焼戻硬度の結果について見るに Mn および Cr の添加は Mo 量 0.3 % および 0.5 % の何れの場合においても著しい焼戻硬度の増大を示している。しかるに V の添加の場合にあつては 0.5 % Mo 鋼の場合 V 添加量 0.5 % および 1.0 % の何れの場合においても V を添加せざるものよりも相當低い焼戻硬度を示し、殊に 1.0 % V の添加は硼素添加の効果をも全然抹殺しいわゆる dead soft の状態を示している。これは V による鋼中の溶解窒素量の極端な低減のためと考えられる。従つてこの鋼種に對する V の添加は寧ろ負の影響を示すことになる。また V 添加の場合焼戻温度 550 ~ 600° において二次的の硬化現象が認められる。

次に 0.3 % Mo 鋼の場合であるが 0.5 % Mo 鋼の場合同様 Mn および Cr の添加は有効で Fig. 8 より認め得るようにそれぞれの焼入れ硬度は著しく増大している。またこの場合の V の添加であるが 0.5 % V の場合は僅かではあるが焼入れ硬度の上昇を示すも、その添加量が 1.0 % になると上述の 0.5 % Mo の場合と同様 dead soft の状態となり硼素添加の効果を完全に抹殺する。また 550 ~ 600° の二次硬化も 0.5 % Mo 鋼の場合と同様に認められ

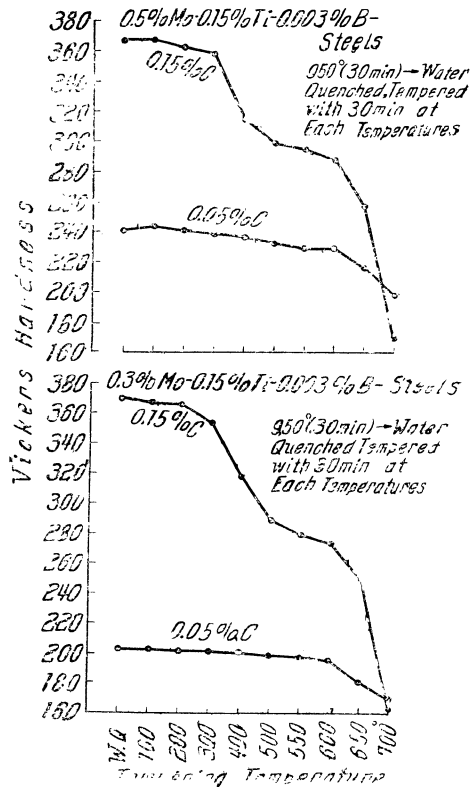


Fig. 10 Effect on Tempering Hardness of 0.5 or 0.3 % Mo-Ti-B Steels, Increasing Carbon-Content from 0.05 % to 0.15 %.

るもその大きさは小さい。

次に 550° 焼戻の場合の機械試験の結果であるが Fig. 9 より明らかなように Mn および Cr それぞれ 1.0 % の

添加は Mo 量 0.3% および 0.5% 何れの場合においても  $\sigma_B=88\sim94 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_S=86\sim91 \text{ kg/mm}^2$  の如き著しい高い値を示し, 殊に  $\sigma_S$  の増大率大にして  $\sigma_B$  に對し僅か數  $\text{kg/mm}^2$  程度の差に迫る. 殊に Mn 添加の場合この傾向が大きい. このような強度の増大にもかかわらず

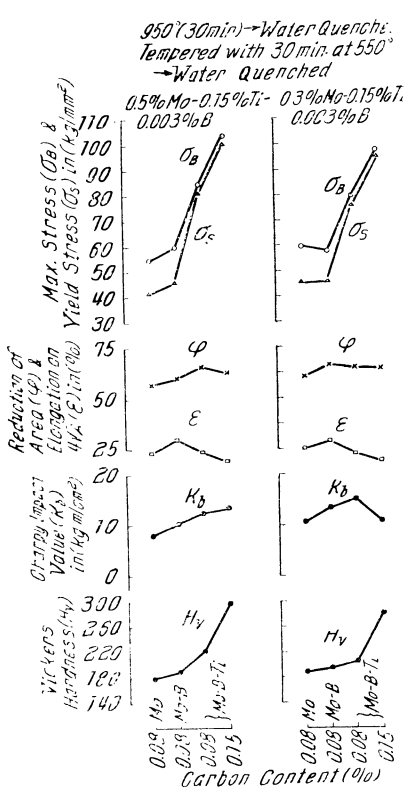


Fig. 11 Effect on Mechanical Properties of 0.3% or 0.5% Mo-B-Ti Steels, Increasing Carbon Content from 0.08% to 0.15%, as Quenched and Tempered.

dead soft の状態を示すに至る.

4. Series V. 含硼素, 0.05~0.08% C, 0.3~0.5% Mo 鋼に對する炭素量の増加による焼戻硬度の變化および機械的性質に對する影響

炭素量の増加の程度としては前報の空冷時の試験の場合同様 0.15% C とした. この場合の焼戻硬度の變化を Fig. 10 にまた 550° 焼戻の場合の機械試験の結果を Fig. 11 に示す.

先づ硬度について見るに Fig. 10 に示す如く炭素量の

0.15% への僅かな増加は大きな焼入れ硬度の増大をもたらし, Mn または Cr それぞれ 1.0% 程度の添加の場合よりなお相當大きな効果を示す.

しかし焼戻温度が 300° 程度にもなると急激な硬度の減少を示し, 550° における焼戻によつてはほとんど Mn または Cr の添加の場合と同等の大きくなる.

次に 550° 焼戻の場合の機械試験の結果は Fig. 11 より明らかなように  $\sigma_B=97\sim103 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_S=94\sim100 \text{ kg/mm}^2$  となり, 絞り は 60% 前後, 伸び 18% 前後, また衝撃値は 12~14  $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$  と基だ優秀な値を示し, Mn および Cr を添加せざるものに較べ寧ろ改善の傾向にある.

以上のように炭素量の増加は極めて有効なことであるがこれ以上の炭素量の増加は當然衝撃抗力の低下を急速に惹起せしむるをもつて最大限 0.2% C 程度までの増加を許容し, それ以上の増加は餘りは望ましいものでなきものとする.

IV. 結 論

(1) 0.05~0.08% C, 0.3~0.5% Mo 鋼に對する 0.003% 程度の微量の硼素の添加は焼入れ, 焼戻を施した場合においても前報において述べた焼準のままの状態におけると同様にその機械的諸性質を飛躍的に向上せしめる.

この種の硼素添加の効果を得るには含有 Mo 量に應じ硼素の添加に先行して適當量の Ti または Al などによつて強脱酸および脱窒を行わねばならない.

(2) 950° より水焼入れし, これを 550° で焼戻した場合硼素添加の効果は抗張力は 55  $\text{kg/mm}^2$  より 75~85  $\text{kg/mm}^2$  に, 降伏點は 40  $\text{kg/mm}^2$  より 70~80  $\text{kg/mm}^2$  にと飛躍的に増大するのに對し断面收縮率は 55~65% にしてほとんど變らず, 伸びは 30% より 20~25% にと僅かに低下し, 衝撃値は 7.5~12.0  $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$  程度にしてほとんど低下しない.

(3) この種の鋼種に對する 1.0% 程度の Mn または Cr の添加は極めて有効で, 降伏點および抗張力を一層増大せしめる.

(4) 含炭素量の増加はさらに一層有効にして 0.15% C 程度への増加によりは Mn または Cr 1.0% 添加の場合と同程度の効果を示す. しかし含有炭素量の増加は衝撃抗力の低下に鋭敏に反應するをもつて最大限 0.2% 程度までと考えられる.