

含ボロンばね鋼 TS 50 B 60 に関する研究 (II)*

安田 洋一**・鈴木 吉 弥**

STUDIES ON THE BORON-TREATED SPRING STEEL T50 B60 (II)

Yoichi Yasuda and Kichiya Suzuki

Synopsis:

In continuance to the 1st report, (No. 2 of this Journal, 1956, p. 105~110) the authors studied the statical and dynamical mechanical properties of four spring steels, using the same specimens as before. The results were as follows:

1) At quenching and tempering, AISI 6150 showed the greater resistance to tempering than other steels. As to the toughness (elongation, reduction of area and Charpy impact value) at the same hardness, AISI 6150 was the greatest and other three steels showed little difference.

2) On the tensile test with notched specimen, AISI 6150 had the greater resistance to tempering and at BHN 400 TS50 B60 was the best.

3) On the impact test at low temperature, AISI 6150 and TS50 B60 were good, and they had no clear transition points.

4) As to the resistance to hot deformation, TS50 B60 was the least and AISI 6150 was the greatest.

5) Fatigue limits found by the Schenck's repeated bending tester were 55kg/mm² for AISI 6150 and TS50 B60, and 53kg/mm² for AISI 5160 and SUP 6.

6) Using the Sawai's fatigue machine of resonance type, the authors examined the test pieces of TS50 B60 and SUP 6 with the real size and heat-treated surface. The results of TS50 B60 were better than SUP 6, because the former had very thinner decarburized layer of surface than the latter.

From the above points, TS50 B60 were found to be very good spring steel.

I. 緒 言

第1報に引続いて同じ試料を用い、焼戻性能曲線、切欠引張試験、低温衝撃試験、熱間変形抵抗試験および疲労試験等主として機械的性質に関する結果を述べ4種類のばね鋼特に含 B-Cr 鋼の特性について総合的な考察を報告する(試料の略号は第1報と同じである)

II. 試験方法及び結果

(1) 焼戻性能

焼戻性能については棒鋼より削出した試料を用い、850°Cで油焼入し350~650°Cの間で焼戻後引張および衝撃試験を行った。その結果はFig. 1のごとくであり、焼戻抵抗はV鋼が大であるが他の3鋼種においては大差が無い。同一硬度に対する種々の性質の関係はFig. 2の通りでV鋼が特に優れて伸、絞、シャルピー値が高くB鋼、M鋼は低硬度すなわち高温焼戻の状態では優れているが、バネとしての実用硬度であるBHN 400前後では、B鋼、M鋼、S鋼では大差がないとしてよい。靱性率(Toughness factor)とは(シャルピー値/抗張力

×100)であるがその傾向はシャルピー値とほぼ同様である。

(2) 切欠引張試験

切欠引張試験については河井氏の詳細な研究があり切欠強度が繰返打撃強度に密接な関係があるとされているので、同氏にならつて中央に45°のノッチをつけた4号試験片を用いて引張試験を行った。試料の熱処理は前項に述べたと同じである。その結果はFig. 3に示すごとくであり、普通の引張試験の結果と同じくV鋼は焼戻抵抗が大きく550°Cで切欠強度が最高になるが他はいずれも400~450°Cの所に山がある。抗張力/切欠強度の比は450°C戻迄は急激に低下するがそれ以上では約0.8~0.7で一定となる。切欠抗張力と硬度との関係は先のFig. 2に併記したがBHN 400附近ではB鋼が優れている。この他、伸、絞、および破断面の状況から見てもB鋼およびV鋼は良好であり、繰返し打撃試験においても優れた性質を示す事が期待される。

* 昭和30年4月第49回講演大会にて発表

** 大同製鋼株式会社平井工場技術課

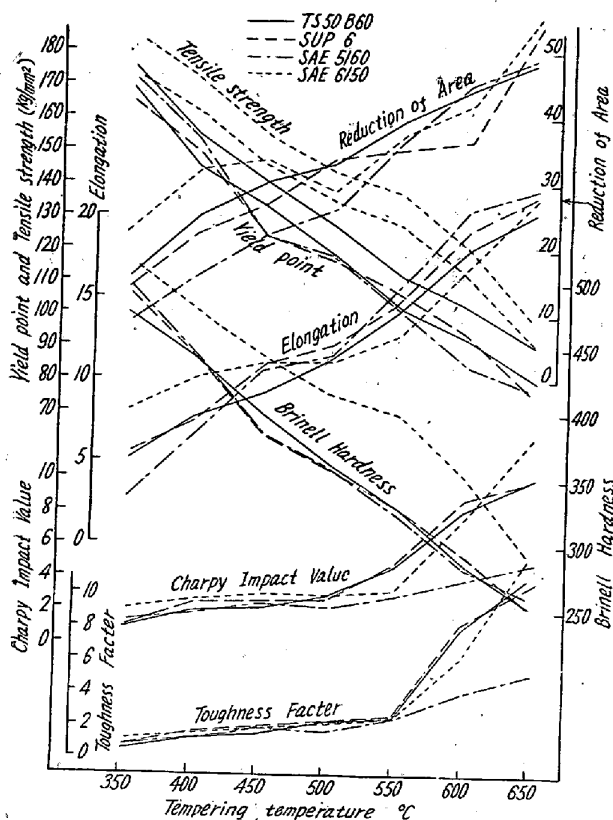


Fig. 1. Mechanical properties at various tempering temperatures.

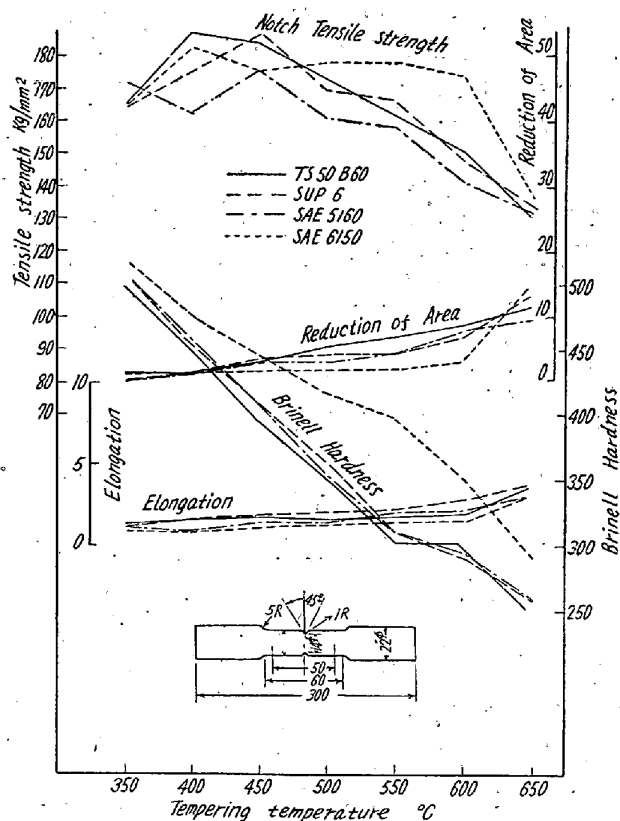


Fig. 3. Tensile properties with notched specimens at various tempering temperatures.

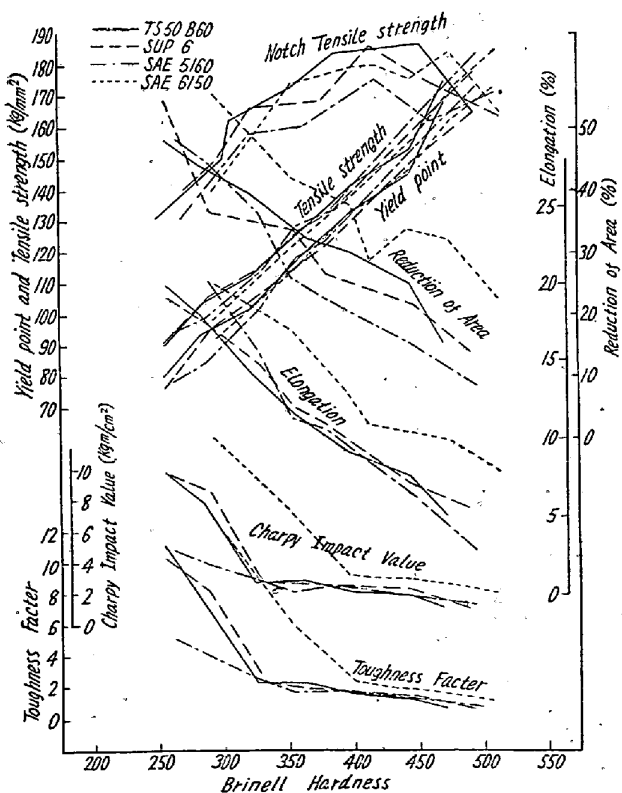


Fig. 2. Mechanical properties versus hardness.

(3) 低温衝撃試験

米国の文献²⁾によれば TS50B60 は低温における衝撃値が良好で寒冷地向バネに適するとの報告があるのでこれを確認しかつ各鋼種の遷移特性を知るために、850°C 油焼入後 BHN 388 に焼戻したシャルピー試験片にて +50~70°C の間で衝撃試験を行つた。その結果は Fig. 4 の通りで衝撃値並にその低下のいずれについても V 鋼が最も優れ B 鋼はこれに次ぎ、ともに明瞭な Transition point が見られず低温における切欠靱性の優れている事が認められる。S 鋼および M 鋼はそれぞれ -40°C, -10°C 附近で衝撃値が著しく低下するが -50°C 以下では

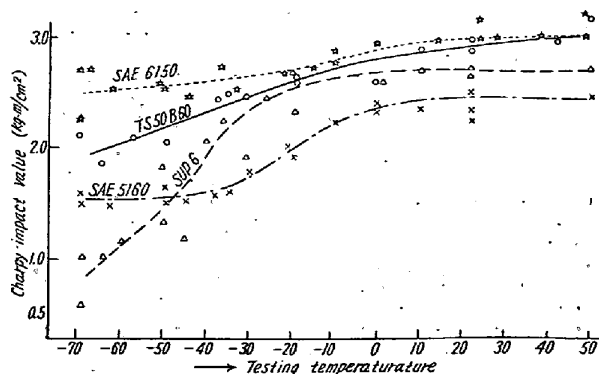


Fig. 4. Impact properties at low temperatures.

S鋼の衝撃値が特に低下する。

高橋氏等の研究⁹⁾によれば TS50B60 と SUP6 はいずれも -60°C で若干の衝撃値低下を示すのみであつて、我々の結果とは異なつているが元來遷移現象は種々の影響を受けるものであるから詳細の検討が必要であるが、他の鋼種においても Ti や B の添加によつて衝撃値の遷移特性や低温焼戻脆性が著しく改善される事も報告されており、B の添加法等に相違があるためではないかと思われる。

(4) 熱間変形抵抗試験

バネ鋼の圧延または成形加工の容易さの目安として落錘試験法⁵⁾によつて熱間変形抵抗の比較試験を行つた。試料は各鋼種とも 22mmφ の棒鋼を 870°C×30mn の焼準後 10φ×10mm の円環状の試験片に加工し、N₂ ガスを流した管状炉にて加熱して試験を行つた。重錘の重量は 10kg で 1m の高さからコンクリートで固定した重量 170kg の金敷上の試験片に落下させ、試験前後の高さ H₁ および H₂ を精密に測定して変形抵抗を算出した。加熱温度は 700, 750, 800, 850, 900, 1000, および 1100°C の 7 種とし、所定温度に達してから 10 分間保持した。1 条件の試料数は 5 個である。試験の結果は Fig. 5 に示す。オーステナイト領域に入り始める

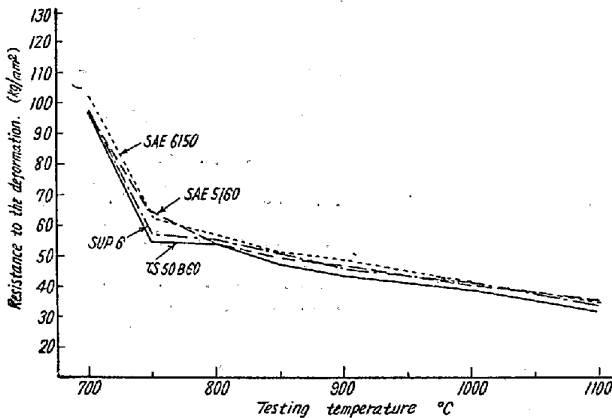


Fig. 5. Resistances to hot deformation.

750°C においてはほぼ A₁, A₃ 変態点の高い順序 (第 1 報参照) に変形抵抗が高いが、各温度を通じて概観すれば V 鋼が最も変形抵抗が高く B 鋼が最も小さく、M 鋼および S 鋼は概ねこの間にあつて大差がない。各温度の平均値を取つて比較すれば次のごとくである。

順位	V 鋼 = M 鋼 > S 鋼 > B 鋼
変形抵抗の差 (kg/mm ²)	0.1 2.3 2.1

熱間変形抵抗の測定法としてこの方法は種々の点で欠陥もあり絶対値について不確実であるが、鋼種間の比較程度には十分であろうと考える。

(5) シェンク曲げ疲労試験

後述の共振型疲労試験と対比して、表面状況の影響を除き材質そのものの疲労強度を調査する為にシェンク式曲げ疲労試験を行つた。試料は 3 項と同じく 850°C 油焼入後 BHN 388 に焼戻し、3mm の厚さの所定形状の試験片に加工し 50c/s の試験速度で実施した。その結果は Fig. 6 の通りであつてバラッキはあるが NS 曲線から求められる疲労限は S 鋼および M 鋼が約 53 kg/mm², B 鋼および V 鋼が 55 kg/mm² であつて、後者は約 2 kg/mm² 程度優れている。

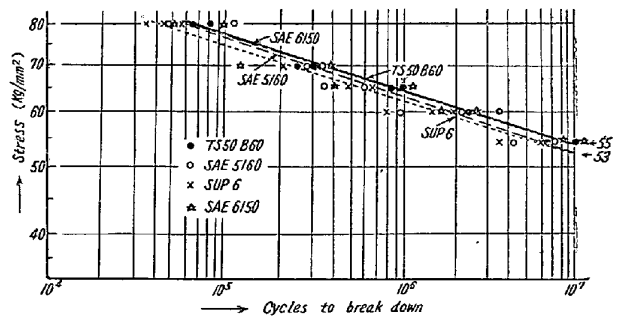


Fig. 6. Results of bending fatigue tests.

(6) 共振型曲げ疲労試験

前述のごときシェンク式あるいは小野式の疲労試験は特定の試験片を機械加工によつて製作して試験を行うので、材質そのものの試験としては有効である。しかし車輛用バネにあつては板バネの場合には熱延並に熱処理のままコイルバネの場合にも熱処理のままの黒皮状態で使用されるものであるから、バネの寿命には肌や脱炭の状況、すなわち表面または表面附近の場所における状況が非常に影響し、従つてショットピーニングのごとき表面処理はバネの寿命を著しく延長させ脱炭は極めて有害である⁶⁾⁷⁾事が良く知られている。そこでバネ鋼としての鋼種の良否の判定にはこれ等の表面状況を加味した疲労試験が必要であるが、従来の試験機では前述のごとく試験片の大きさの制約を受けるとか、あるいは試験速度が遅い為め時間的に実施が困難である等の問題があつた。所が最近東大生産技術研究所第 3 部沢井教授の所で完成された共振型疲労試験機⁸⁾⁹⁾は板バネ程度の大きさの物では実物大の試験片を使用する事が出来、かつ試験速度が極めて早く各種の比較試験を行うに便利であるのでこの機械によつて各鋼種、各処理別の試験を行つた。Fi. 7 はこの試験機の大要を示す、すなわち試験片は 2 ケの支点で支えられ支点の外側下方に置かれた 2 ケの電磁石に可変周波数の交流を通じこの周波数を変化させるとこれが試験片の共振波数と一致した所で強い撓み振動が起つて疲労試験を行うことが出来る。

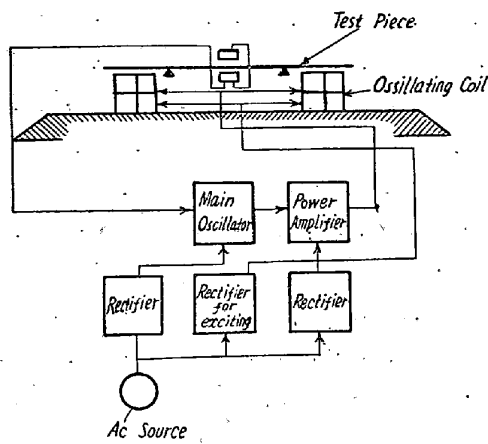


Fig. 7. Schematic diagram of the resonance-type-fatigue machine.

材料の Dimension と共振周波数の関係は式 (1) によつて、また材料にあたえられる応力は振巾を精密に測定する事により式 (2) で計算される。

$$f = \frac{c (d \text{ or } t)}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots\dots (1)$$

$$S = 14 \cdot 61 \times \left(\frac{E t a}{l^2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

E: Young's modulus

t or d: Thickness or diameter of test piece

l: Length of test piece

a: Amplitude

実際の試験には 11×70×500 mmの平鋼試験片をシェーパーにて 0.8 mm, サーフフェイスグラインダーにて、0.2 mm 両面を削つて厚さを 9 mm にしたものを用いた。予備試験においては圧延のままのものを熱処理し 1 部はショットピーニングをかけたものも使用して試験を行つたが、圧延時の肌荒れ、脱炭等の不均一によつてバラッキが出る虞れが認められたので、本試験の際には鋼種は SUP 6 および TS50B60 の 2 種に限定し、圧延時の影響を除く為に上述のごとき機械加工を行つたので

ある。熱処理は 850°C×30mn および 900°C×60mn の 2 種の加熱状態から油焼入の後 BHN 401 を目標として焼戻しを施して試験を行つた。加熱条件を 2 種類にしたのは肌荒れおよび脱炭の影響を調査せんとするものである。また試験応力としては 45 kg/mm² 程度では破断に長時間を要するのでバラッキが大きくなるから高応力短時間で耐久限を測定することとし、50 および 55 kg/mm² の応力を用いた。

このような条件において試験を行つた結果を Table 1 に示す。

(脱炭深度はフェライト 50% 迄の深さを測定した。) これによれば TS50B60 は SUP 6 に比しいずれの場合にも脱炭層が少なく優れた耐久力を有する事が示され、また高温焼入は脱炭を増大する等の影響によつて耐久限を非常に低下させる事が判る。Photo. 1 は各試験片の破断状況を示すが、SUP 6 では 1ヶ所から疲労が

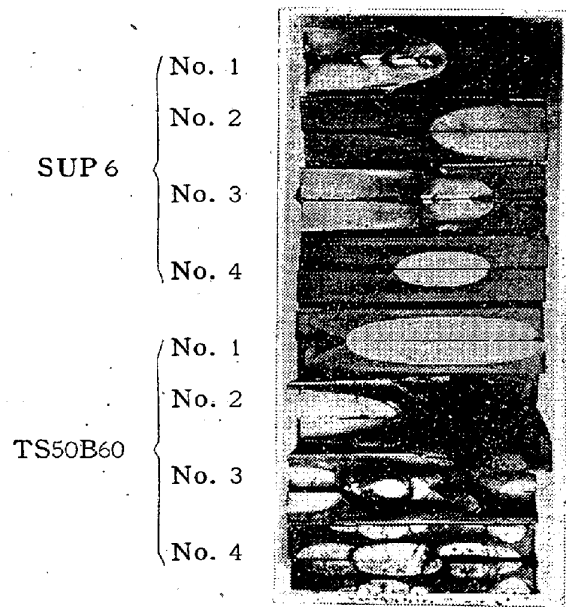


Photo. 1. Fractures of test pieces broken by the resonance-type-fatigue machine.

Table 1. Results of resonance type fatigue tests.

Items	850°C×30mn OQ→Temper ¹⁾					900°C×60mn OQ→Temer ¹⁾				
	Specimen No.	Hardness (BHN)	Decarburized layer	Load	Cycle to break down	Specimen No.	Hardness (BHN)	Decarburized layer	Load	Cycle to break down
TS50B60	No. 1	401	0.005	55	25.6 × 10 ⁴	No. 3	401	0.01	55	4.8 × 10 ⁴
	No. 2	401	0.005	50	27.6	No. 4	401	0.01	50	13.6
SUP 6	No. 1	401	0.04	55	18.4	No. 3	401	0.08	55	? ²⁾
	No. 2	388	0.04	50	18.4	No. 4	401	0.08	50	12.0

Remarks: 1) To obtain BHN401, 450°C×6mn for TS50B60 and 500°C×60mn for Sup 6
2) Not exact, because of an accident of the machine

進行し大きな疲労破面が見られるのに対し TS50B60 では表面の各部から同時に疲労が進行しているのが見られ破断面に著しい特徴があるが、この理由は不明である。

V鋼, M鋼については予備試験の成績によればB鋼とS鋼の中間でS鋼に近い値であつた。この結果から見れば静的の機械的性質や普通の疲労試験ではV鋼が比較的良好な成績を示していたに拘らず、黒皮のままでの疲労試験ではB鋼が良い成績となつており、これは表面状況、特に脱炭の少ない事が大きな影響をもつているものと考えられ、バネ鋼としての良否には加熱時の表面状況についての性質が強く支配するものである事を物語つている。

[またショットピーニングの効果も予備試験において調査したが、これも従来の多くの報告にあるごとく耐久延長には極めて有効であることが認められた]。

III. 結 言

第1報および第2報を通じての結果を総括すると鋼種間の比較としては試料が少ないので今後量産の結果によつて若干の訂正を要するものと思われるが、特に Cr-B 鋼について、主として現在我が国で最も広く用いられている Si-Mn 鋼と比較した特徴をまとめると次のごとくである。

1) Bの添加によつて清浄度が特に悪化する心配はない。

2) 焼入性はB鋼の方がずっと良好となり Si-Mn 鋼では 15mm 以上の厚物については完全に焼が入りがたいが、B鋼では約 35mm 迄使用する事が出来、通常寸法の小型のバネについては焼入焼戻硬度のバラッキが小さくなる。

3) 焼割、焼歪の傾向はやや大となるが、現在の普通の作業状況では心配はないものと思われる。

4) 結晶粒はB添加の際 Al や Ti を併用する場合には粗大化の虞れはない。

5) 加熱によるスケール生成、従つて肌荒れの傾向は

900°C 以上の高温の場合には大きいですが、スケールのはがれが良好でかつ脱炭深度が非常に小さい特徴がある。

6) 機械的性質は切欠強度、低温衝撃値、疲労限等において若干優れているが、全般的に見て所謂機械試験成績においては4鋼種の内では Cr-V 鋼が最も優れた結果を示す。また熱間加工性については Cr-B 鋼が最も良好である。

7) Cr-B 鋼の最も優れた点は黒皮状態での耐久試験であつて種々の処理状態において Si-Mn 鋼に勝つた成績を示す。これは先の脱炭の少ないことと焼入性良好なることに起因するものであろう。

これ等の点を総合し、更に製造原価の点を考慮するならば TS50B60 はバネ鋼として甚だ優れた鋼種であると言ひ得るのであつて、広くバネ使用者、設計者並に製造者各位の御認識を得たいと思つている次第である。

最後に本研究を実施するにあつて多大の御援助を頂いた東大沢井教授および鴨井氏並に大同製鋼株式会社の技術関係の方々に対し深謝の意を表するものである。

(昭和 30 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) 河井, 小川: 鉄と鋼, **37** (1951), 154
- 2) Knowlton, H. B.: Metal Progress, **63** (1963), April, 67
- 3) 高橋, 西原, 中野, 牧岡: 鉄と鋼, **40** (1954), 969
- 4) 河合, 益田, 西田: 鉄と鋼, **40** (1954), 926; **41** (1955) 877
- 5) 小平, 安田: 鉄と鋼, **41** (1955), 885
- 6) 植田: ばね論文集 **1** (1952), 26
- 7) Hankins and Beeker: J. I. S. I. **125** (1931), 387
- 8) 沢井, 鴨井: 金属, **23** (1953), 310
- 9) 内山, 関: 鉄と鋼, **41** (1955), 923