

ばね鋼 (SUP 6) に及ぼす Cu の影響 (II)*

小平俊雄**・安田洋一**

INFLUENCE OF Cu ON THE SPRING STEEL (SUP 6) (II)

Toshio Kodaira and Yoichi Yasuda

Synopsis:

In sequence to the report No. 1, the authors studied the influences of copper content on the properties at the ordinary temperature of Si-Mn spring steel with the same samples, and the results were as follows:

- 1) No change was occurred on the non-metallic inclusions.
- 2) The hardenability measured by Jominy method increased with the Cu addition.
- 3) At normalized states, the tensile strength, yield point and hardness increased, but the elongation and reduction of area decreased a little with the Cu content.
- 4) Resistance to the tempering increased with Cu, specially at the range of 400~450°C.
- 5) Endurance limits of the spring leaves tended to decrease slightly.

I. 緒言

特殊鋼に対する Cu の影響の一例として代表的ばね鋼である Si-Mn 鋼 (SUP 6) を選び、C, Si, Mn, P, S について全く同じ値と同じ製鋼履歴を持ち Cu のみを 0.2~1.0% の間に變化させた試料について各種の調査を行つた。

第1報においては試料の製造法並びに高温における諸性質について報告したが、第2報においては主として常温時の諸性質に関して述べる。

II. 清浄度及脱炭深度

Table 1 は平鋼に圧延された試料について清浄度および脱炭深度を測定した結果である。

清浄度は B 0.5~0.7, 3~4 μ であつて Cu による相違の傾向は認められない。Si-Mn 鋼は一般に脱炭の出易い鋼種であるが、工業的に生産された平鋼での脱炭傾向は試料毎の変動が甚しいので Cu の影響は全く認められない。

スケールの発生並びに脱炭の傾向におよぼす Cu の影響を測定するために実験室の炉において加熱試験を行つたが、装置の不備のためか、これまた顕著な相違を認める事ができなかった。

III. 焼入性

焼入性におよぼす Cu の影響を見るために 19mm ϕ の棒鋼試料を用い、870°C \times 30mn 焼準の後 16mm ϕ に仕上げ SAE に準拠した Jominy 式焼入試験を行つた。即ち焼入加熱は鑄鉄ダライ粉をつめた密閉箱中に入れ 840°C に 30mn 分保持の後 5 秒以内に試験装置に移して冷却した。水温は 26~29°C, 水冷時間は約 10mn 間である。

硬化能曲線は Fig. 1 に示す如くであり、下方の曲線は水冷端より同距離における硬度の最大と最小の差を取つたものである。これによれば試料間における若干の不揃はあるが、4/16" から 10/16" の間で Cu% による硬化能の變化が顕著にあらわれており、その差は 7/16" の所で最大となり Rc で 11 (BHN で 1.33, Dia換算

Table 1.

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cu content (%)	0.18	0.28	0.39	0.50	0.62	0.68	0.75	0.80	0.87	1.02
Non metallic inclusions	B μ 0.6 4	0.6 3	0.6 4	0.7 4	0.6 4	0.5 4	0.6 4	0.6 4	0.06 4	0.6 4
Decarburating Mean layer (mm) Max.	0.005 0.01	0.05 0.10	0.02 0.02	0.02 0.08	0.005 0.005	0.005 0.04	0.005 0.03	0.005 0.005	0.005 0.005	0.005 0.02

* 本会第 43 回及び第 45 回講演大会にて発表

** 新理研工業株式会社

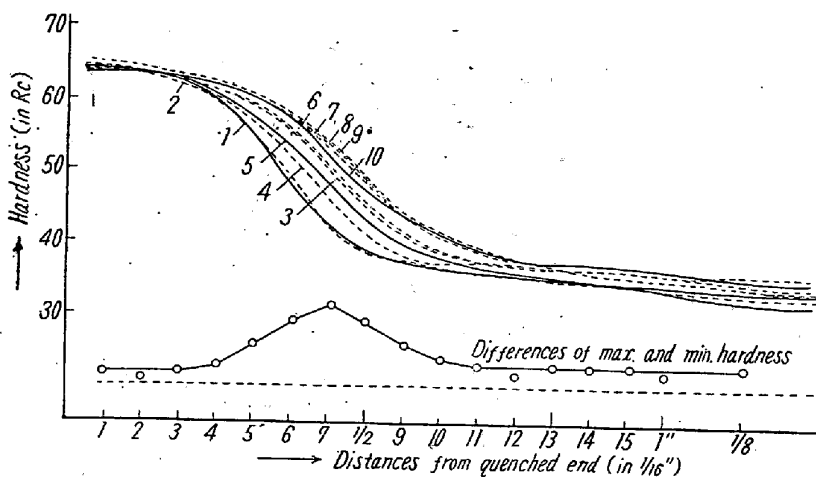


Fig. 1. Hardenability curves.

0.44 mm) を示し、また同硬度を得る焼入深さについて見れば Rc 50 の点で最大 1/8" の相違を示し、概ね Cu% に比例して焼入深さは大となる。

この変化は顕微鏡組織にも明瞭に表わされており、Cu 0.18% の No.1 では 7/16" において M+B+T, 10/16" において S であるに対し、Cu 1.02% の No.10 では 7/16" で M+B, 10/12" で M+B+T である。

Cu が焼入性を良好ならしめる事については古くから Stogoff および Messkin¹⁾ やその他の多くの人の報告があるが、定量的測定としては俵博士²⁾ の研究があり、これによれば 900°C 附近からの焼入では臨界冷却速度は Cu 4% 迄は小となり、4% 以上では未溶解の Cu が核となるため、臨界冷却速度は逆に大となつて焼が入りにくいとされている。

従つて我々の測定結果もこれとよく一致している訳であつて SUP 6 においては Cu% の大なるにつれて焼入硬化能は大となる。

IV. 焼準状態の機械的性質

圧延平鋼および 19mmφ の棒鋼に 830°C×30mn の焼準を施し夫々 JES 7号試験片および4号試験片を採取して硬度、抗張力、降伏点および伸、絞を測定した。その結果を Fig. 2 に示す。

図に示す如く Cu% の増加に伴い硬度、抗張力および降伏点は僅かに増加し、伸および絞は低下するが、その程度は何れも余り著しいものではなく、Cu は焼準状態の機械的性質には大きな影響はおよぼさない。

V. 焼入焼戻時の機械的性質

平鋼より旧 JES 7号試験片と 8×10mm のシャルピー衝撃試験片を採取し、870°C×20mn の焼準の後、

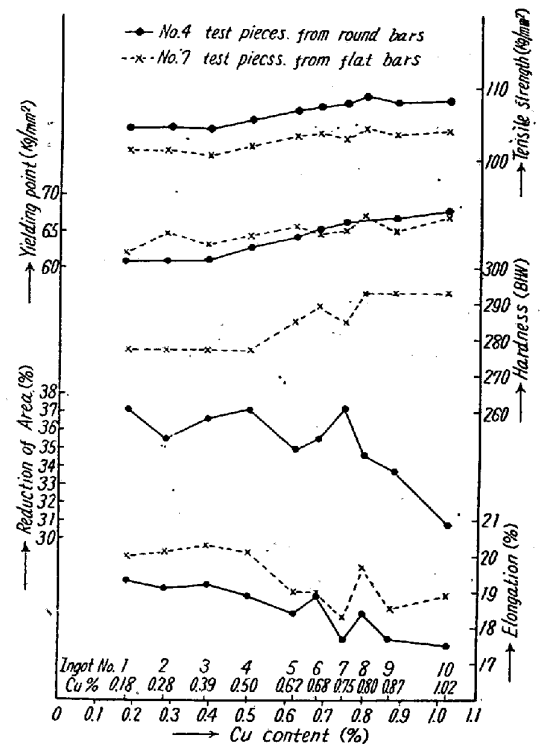


Fig. 2. Tensile properties at the normalized state.

840°C×30mn 加熱油冷の焼入を行い、これを 350°, 450°, 500°, 550°, 600°, および 650°C の各温度に 90mn 焼戻し空冷して試験を行つた。試験片の採取方向は引張は圧延方向に平行、衝撃は直角である。

Fig. 3 は試料 No. 1, 5 および 10 についての結果を纏めたものであるが、Breuil³⁾, Nehl⁴⁾ 等多くの人によつて認められている如く、抗張力、降伏点、硬度の如き強度は Cu によつて大となり、伸、衝撃値の如き靱性に関する性質は劣化する。

Fig. 4 は Cu の最も多い試料 No. 10 を Cu の最も少ない No. 1 と比較して各性質の差と温度の関係を示したものであるが、各性質共 400~450°C での変化が最も著しくかつ同様の曲線を No. 3, 5, 8 等について作れば Cu の多い方が変化量が多い事が認められる。

Fig. 3 および Fig. 4 を合せて考察すれば引張試験における焼戻性能曲線は相対的のズレの他に形状の相違が認められ、両者相俟つて Cu は焼戻抵抗を増大するものと考えられる。

この焼戻抵抗増大の1つの原因は焼入状態の相違、従つて前述の焼入硬化能の差違が考えられるが、事実、別の試験片において焼入硬度の分布を測定した所、Fig. 5 の如くなり、Cu の少ない試料 No. 1 では中央部の硬度が低く、No. 10 に比して焼入が不完全であり、斯様なものを焼戻せば硬度、抗張力に当然変化があるものと考え

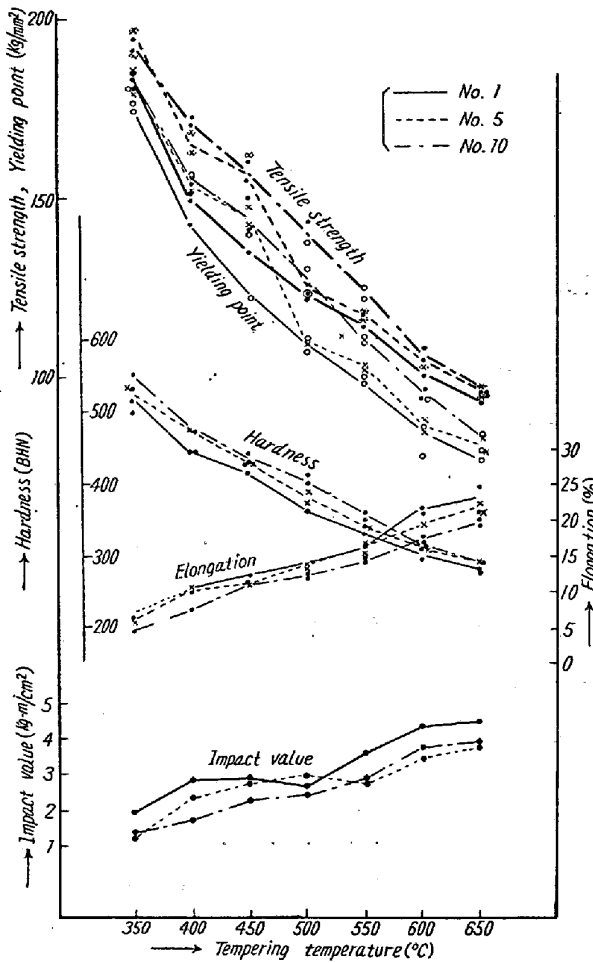


Fig. 3. Mechanical properties at various tempering temperatures.

えられる。

Cu を含む鋼材は 500°C 附近で析出硬化の現象のある事は低炭素鋼では明瞭にされているが、高炭素鋼の場合には焼戻による硬度低下と析出による硬化が打消しあうので硬化の傾向を把握しがたいが、Fig. 4 の示差曲線に表われる 400~500°C における山はこの傾向を示すものと考えてよいと思われる。唯低炭素鋼における析出硬化は保持時間によつても異なるが、略々 500°C を中心として起るに対し⁵⁾ SUP 6 における示差曲線の山はやや低温側の 450°C 附近にズレているのが認められる。C, Si, Mn 等の影響によつて Cu の溶解度曲線に変化が生じたものと推定される。

Fig. 6 はシャルピー衝撃値についての焼戻曲線を各試料について並記したものであるが、Fig. 3 に示せる如く全般的に衝撃値が小さくなる他、Cu の低いものでは 450~550°C で衝撃値の低下する傾向、即ち第一次焼戻脆性に類する傾向が表われているに対し、Cu% が高くなるにつれて脆性の傾向が少なくなり、No. 10 の試

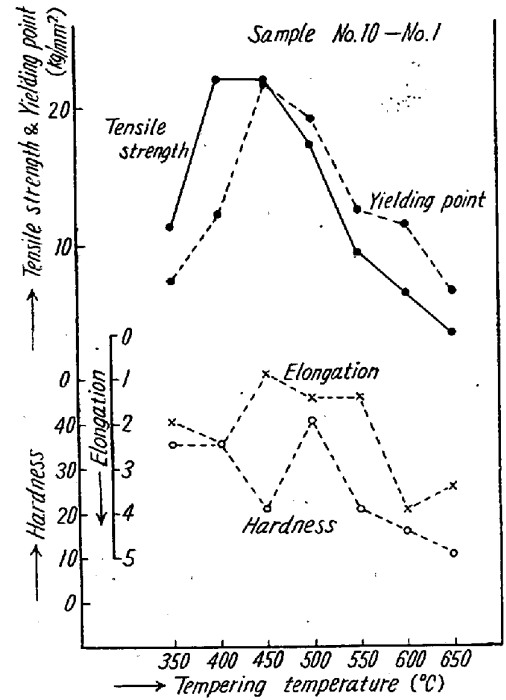


Fig. 4. Relations between the differences of mechanical properties by Cu content and tempering temperatures.

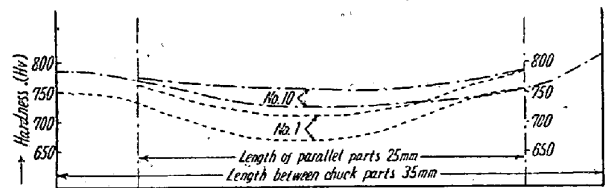


Fig. 5. Hardness distributions at the sections of test pieces for tensile tests.

料については殆んど脆性が消失している。所謂第一次焼戻脆性は 350~400°C で起るもので、上記の結果とは温度のズレがあり、かつ今回の実験では焼戻保持時間を一定し、冷却は油冷を行い、衝撃試験機の容量も過大である (30kg-m) ので確実な考察はできないが、興味のある現象と考えられる。

顕微鏡組織についても調査したが、この程度の Cu 含有量では組織的には殆んど相違は認められない。

IV. 繰返彎曲試験

1) 本試験は板ばねの実用状態にかなり近い状況において耐久限におよぼす Cu の影響並びにこれが表面の状態によつて如何に変化するかを調査せんとするものであつて、試料の調製は我々が行つたが、試験は全部大同製鋼株式会社川崎工場を煩はした。

2) 試験の条件

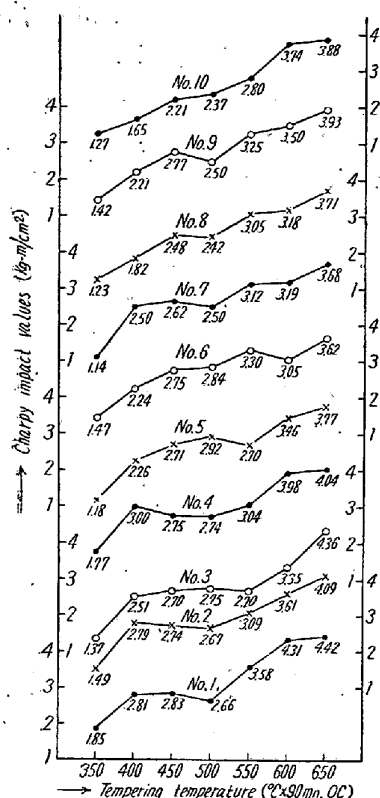


Fig. 6. Variation of impact values by tempering temperature.

試験機：繰返彎曲試験機

最大荷重—5t, 繰返速度—96回/分,

試験片：鋼種—No. 1, 2, 3, 6, および 10

寸法—8×63×5×550 mm, 支点間距離—500 mm, 熱処理—焼入—840°C×20mn 油冷, 焼戻—480~500°C×60mn油冷, 硬度—H_B 370~388

試料の表面状況および応力

- A) 黒皮のまま, 応力 8←→80kg/mm²
- B) エメリー仕上, 応力 0←→80 kg/mm²
- C) 同上 // 24←→115 //
- D) ショットピーニング施行のもの, 応力 ←→115 kg/mm²

3) 試験方法：試験前内力 90 kg/mm² のセッチング 3 回を行い, 変化の無い事を認めた後, 96r.p.m. で 1 日 10h 宛行い応力は次式によつて計算した。

$$\delta = \frac{l^2 \sigma}{6E \cdot t}$$

δ : 撓み (mm), σ : 応力 (kg/mm²), E : ヤング率
 t : 試験片の厚さ (mm), l : 支点間距離 (=500 mm)

4) 試験結果: A) および D) については各鋼種 2 枚宛行つたのでその平均値を用い, B) 及び D) について

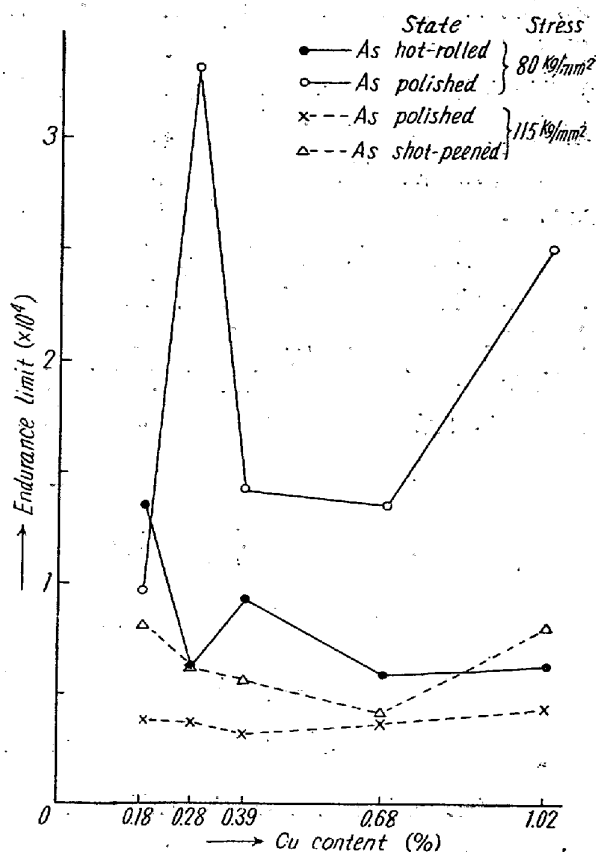


Fig. 7. Influences of Cu contents and surface conditions upon the endurance limits of spring leaves.

は 1 枚宛の値を用いて Fig. 7 に示した。この図に示される通り, 表面状態が耐久限におよぼす影響は著しく表われ, 黒皮のままは最も弱く, ペーパー仕上でも黒皮に比して著しく寿命を延長し, ショットピーニングは更に有効である。

Cu の影響についてはバラッキが著しいので明瞭でないが, Cu の最も少ないものから漸次耐久限が低下し, Cu 1.02% の場合の耐久限の上昇は恐らくは前述の如く Cu が焼入硬化能を増すためではないかと考えられる。

VII. 結 言

第 1 報に引続き Cu のみを変化させ他の成分並びに製造履歴を同じにした試料によつて Si-Mn 系ばね鋼 (SUP 6) の常温の諸性質におよぼす Cu の影響を調査し次の結果を得た。

- 1) 清浄度には変化が無つた。
- 2) Jominy 式焼入試験によつて測定した焼入硬化能は Cu が増すにつれて大となる。
- 3) 焼準状態の機械的性質については Cu の増加に伴い

抗張力, 降伏点, 硬度は極めて僅かに増大するが, 伸, 絞は低下する.

4) 焼戻性能については, Cu が増すにつれて焼戻抵抗が増すが特に 400~450°C における変化が大である.

5) ばねの耐久限に対しては Cu は悪い影響をあたえる様である.

本研究は日本ばね協会のばね技術研究会より委託された「ばね鋼の改善」研究の一部として行つたものであつて, 研究費については文部省科学試験研究費の補助を抑ぎ, 実験については大同製鋼他各方面の御協力を煩はしたものである. 此処に深謝の意を表する次第である.

(昭和 30 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) Stogoff u. Messkin: Arch. f. Eisenhüttenw **2**, (1928), 321.
- 2) 俵 信次: 鉄と鋼, **23**, (1937), 875.
- 3) Breuil: J. Iron & Steel Inst., **74**, (1907), 1~78.
- 4) Nehl: Stahl u. Eisen, **50**, (1930), 678.
- 5) Gregg & Daniloff: Alloys of Iron and Copper; pp. 144~166.

軸 受 鋼 の 研 究 (II)*

(ベアリングの寿命に及ぼす金相学的因子の影響について)

上 野 学***・三 橋 鉄太郎**・中 野 泰***

STUDIES ON BALL BEARING STEELS (II)

(Effect of Some Metallurgical Factors on Life of Ball Bearing Steels)

Manabu Ueno, Tetsutaro Mitsuhashi, Dr. Eng. and Yutaka Nakano

Synopsis:

The inner rings of the ball bearing, which had been known the life time in life test, was studied in order to look for the relation between some metallurgical factors and life.

As some factors the chemical composition, non-metallic inclusions, hardness, compressive load of inner rings, cementite content, grain size and forging degree were tested.

The results obtained by our investigation were summarized as follows.

(1) Generally speaking, the chemical composition had no direct relation to life of ball bearing. By our results carbon content of our home-made ball bearing steels was controlled in a higher range of the standard, but it must be controlled in a lower range to avoid the segregation and coarse carbide. Chromium content must be controlled in 1.40~1.50 per cent.

(2) Nitrogen content had no clear relation to life of ball bearing steels.

But some group of the nitrogen had relation to cementite content, while the other group had no relation to cementite content.

(3) The higher hardness of after heat-treatment, the longer was life of ball bearing.

Hardness of inner ring increased mostly after life test. It is due to transformation of the retained austenite. Hardness of after life test has no relation to the life.

(4) The compressive load of inner ring had no direct relation to life of ball bearing.

(5) Non-metallic inclusions had scarcely relation to life of ball bearing according to our investigation.

(6) In the forging ratio our home-made ball bearing steels were considerably lower. It must be raised by using the bigger ingot.

(7) Cementite content retained after heat-treatment had clear relation to life of ball bearing.

Maximum life was in about 6~8 percent of cementite content

(8) Grain Size had no distinct relation to life of ball bearing. But some group of it had relation to life, and the other group had no relation to life.

* 昭和 30 年 4 月 本会講演大会にて発表, ** 工業技術院機械試験所・工博, *** 同機械試験所