

## バネ材料に関する研究 (VII)\*

堀田 秀 次\*\*

## STUDY ON THE SPRING MATERIALS (VII)

Hideji Hotta, Dr. Eng.

## Synopsis:

Many materials were studied hitherto by the author as the spring materials for high temperatures, and these results were reported in Tetsu-to-Hagané as the 1st to the 6th reports.

In the 6th. report, (Tetsu-to-Hagané Vo. 42 No. 4. p. 333~337), it was recognized that with the material corresponding to a die steel No. 5, the treatment in a hot bath at 600°C and quenching from 1100°C was confirmed as the best heat-treatment. In the impact hardness test of ordinary quench-tempered Si-Mn steel, the almost linearly descending inclination of impact hardness was recognized with ascent of testing temperature.

In this report, the test was made on thermal expansion coefficient, impact hardness at high temperature and H<sub>RC</sub> hardness, impact value, fatigue test at room temperature with Si-Mn steel, and thermal expansion coefficient and torsional test at high temperature with die steel No. 5, and the results were summarized as follows.

(1) The maximum hardness value in Rockwell C scale of Si-Mn steel, was obtained by quenching at 900°C and tempering at 350°C.

(2) The Izod impact value at room temperature of die steel No. 5, austempered at 600°C was superior to that of Si-Mn steel.

(3) The number of repeatings by fatigue test with the Upton Lewis testing machine of die steel No. 5 austempered at 600°C was superior to that of Si-Mn steel.

(4) The maximum torsional stress of die steel No. 5, was recognized by the isothermal treatment at 600°C×1h. in a constant bath and quenching from 1,100°C

## I. 緒 言

高温用バネ材料の研究として著者はすでに各種の研究発表<sup>1)~6)</sup>を行ない、前回の第6報<sup>6)</sup>においては、主としてダイス鋼第5種に恒温熱処理を施したものについて、高温衝撃硬度試験、常温の硬度試験、衝撃試験および疲労試験などを行ない、また Si-Mn 鋼の高温衝撃硬度試験などを施行した経過についてのべたのである。バネ材料の研究として、従来発表せられたものはあるが<sup>7)~9)</sup>、高温用バネ材料の諸性質について発表せられたものは稀であるので、高温用バネ材料として、さらに今回は Si-Mn 鋼の熱膨脹試験、ならびにこれを焼入焼戻したもの的高温衝撃硬度試験、常温の硬度試験、衝撃試験、疲労試験および顕微鏡試験などを行ない、ダイス鋼第5種と比較検討し、あわせてダイス鋼第5種をオーステンパー処理したものの常温ならびに高温における振り試験、熱膨脹試験その他の諸性質を調査した経過の概要についてのこととする。

## II. 試験成績ならびに考察

## (1) 試験方法

常温および高温の振り試験として 600 cm kg 手動振り試験機を使用し、最大振り応力および最大振り角を測定した。この試験片の形状寸法は Fig. 1 の通である。

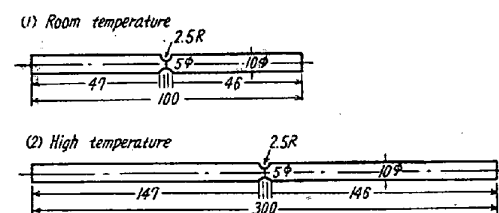


Fig. 1. Torsional test piece. (unit: mm)

常温の衝撃試験としては、前回<sup>6)</sup>と同様アイゾット衝撃試験機を使用し、試験片は全長 84 mm で 10 mm 角材に切込が 2 箇所、28 mm を距てて、たがい相隣れる面に切られたものを使用した。

疲労試験としてはアプトン・ルイス式疲労試験機を使用し、繰返曲げ試験を行ない、一定応力を試片に加え、破壊にいたるまでの繰返回数の比較を行なつたが、試片は厚

\* 昭和 31 年 4 月本会講演大会(東京)にて発表

\*\* 熊本大学教授, 工学博士

さ 6 mm, 巾 22 mm; 長さ 88 mm の平板材である。

高温硬度の測定法として、谷口一上田式高温衝撃硬度試験機を使用し、試験片の寸法は直径 35 mm, 高さ 35 mm である。変態点および熱膨脹係数の測定法として、本多式全膨脹計を使用し、試験片の寸法は直径 8 mm, 長さ 100 mm である。

(2) 熱処理法

試験片の熱処理用として、Si-Mn 鋼の場合はニクロム線電気炉を使用し、ダイス鋼の場合は容量 6KVA のシリコン窒素電気炉を使用し、塩浴用としては  $KNO_3 + NaNO_3 (50:50)$  のものを使用した。ダイス鋼第 5 種と Si-Mn 鋼の熱処理曲線は Fig. 2 の通りである。

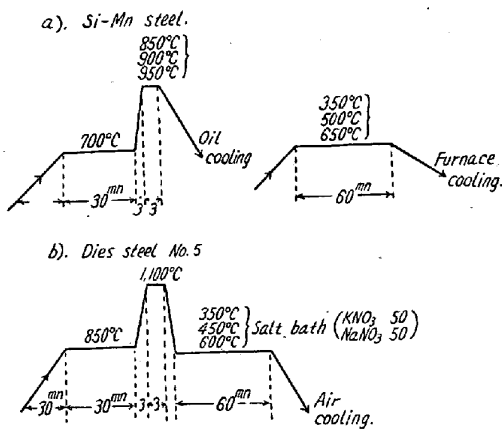


Fig. 2. Heat-treatment curve.

(3) 供試材料

本試験に使用したダイス鋼第 5 種ならびに Si-Mn 鋼の主要元素分析成分は Table 1 に示す。

Table 1. Chemical compositions of Si-Mn steel and die steel No. 5.

Types of steel	Compositions (%)					
	C	Si	Mn	Cr	W	V
Si-Mn steel	0.28	1.94	0.81			
Die steel No. 5	0.22	0.14	0.52	1.82	8.97	0.65

これらはそれぞれ 26 mm φ の丸棒より 15 mm φ の丸棒に鍛延し、焼鈍して試験片を切出し試験に供した。

(4) 試験成績と考察

(A) Si-Mn 鋼の場合

イ) 熱膨脹試験

本多式全熱膨脹計により変態点および 800°C までの平均および真の熱膨脹係数を測定した結果はそれぞれ Table 2 および Table 3 に示す。

Table 2. Transformation points of Si-Mn steel.

	Ac	Ar
Si-Mn steel	760°~775°C	660°~690°C

Table 3. Thermal expansion coefficient of Si-Mn steel.

Temperature (°C)	Mean thermal expansion coefficient × 10 <sup>-6</sup>
25°~100°	10.9731
25°~200°	11.0304
25°~300°	12.1235
25°~400°	12.6321
25°~500°	13.0818
25°~600°	13.3749
25°~700°	14.0738
25°~800°	14.4014

Temperature (°C)	True thermal expansion coefficient × 10 <sup>-6</sup>
25°~100°	10.9731
100°~200°	11.0638
200°~300°	13.9987
300°~400°	13.9709
400°~500°	14.6944
500°~600°	14.9728
600°~700°	17.9478
700°~800°	16.4532

ロ) 常温におけるロックウェルスケール硬度試験と顕微鏡組織

Si-Mn 鋼を 900°C 焼入後 350°, 500° および 550°C でそれぞれ焼戻したものと、850° および 950°C 焼入後いずれも 550°C 焼戻したものとを常温における Rockwell C scale hardness を比較すると Fig. 3 に示す通り、一般に 900°C 焼入後 350°C 焼戻したものが最高

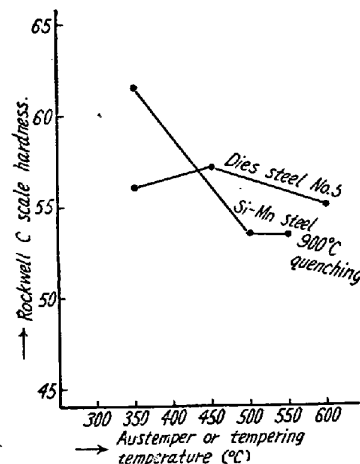


Fig. 3. Austemper or tempering temperature vs. Rockwell C scale hardness at room temperature.

の硬度を示す。これは 350°C 焼戻の顕微鏡組織は Martensite で、500°C および 550°C 焼戻のそれはそれぞれ Troostite および Sorbitic Troostite によるものと考えられる。

ハ) アイゾット衝撃試験と顕微鏡組織

上記と同様の熱処理を施したものについて、常温におけるアイゾット衝撃試験を施行した結果は Fig. 4 の通り。一般に焼入温度 900°C、焼戻温度 500°C のものが最大の衝撃値を示し、同温度焼入後 350°C 焼戻のものが最低値を示す。これは上記の顕微鏡組織よりみて当然のことと考えられる。

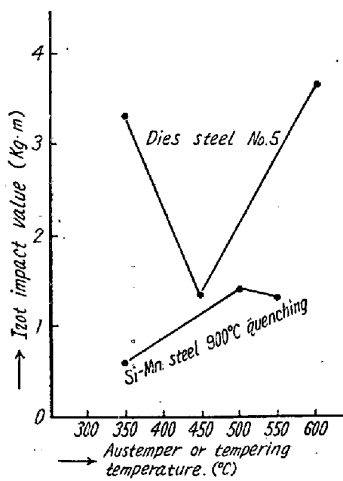


Fig. 4. Austemper or tempering temperature vs. Izot impact value at room temperature. (Comparison of die steel and Si-Mn steel)

ニ) アプトンリス式疲労試験

上記と同様の熱処理を施したものについて、アプトンリス式疲労試験機によつて、常温における繰返屈曲回数を測定した結果は Fig. 5 の通り、上記ハ) 項の衝撃

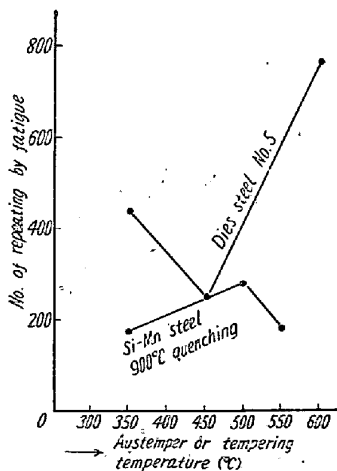


Fig. 5. Austemper or tempering temperature vs. the number of repetitions by fatigue at room temperature. (Comparison of die steel and Si-Mn steel)

値とほぼ同様の傾向を示し 900°C 焼入後 500°C 焼戻のものが繰返回数が最大である。

ホ) 高温における衝撃硬度試験と顕微鏡組織

850° および 900°C 油焼入後各 350°, 500°C および 550°C 焼戻のもの 300°~700°C の高温における谷口一上田式衝撃硬度(保熱時間 10mn)は Fig. 6 の通り一般に 900°C 焼入の方が 850°C 焼入よりやや高い。これは焼入温度の高い 900°C の方が Austenite grain size がやや大なるため、焼きが入り易いことによるものと推定される。また焼戻温度の低い方が硬度大である。これは Martensite 組織によるものと考えられる。またいずれも試験温度の上昇とともに硬度を低下し 700°C においてはほとんど差がなくなる。これは試験温度が高いため、焼戻が進行した結果によるものと思料される。

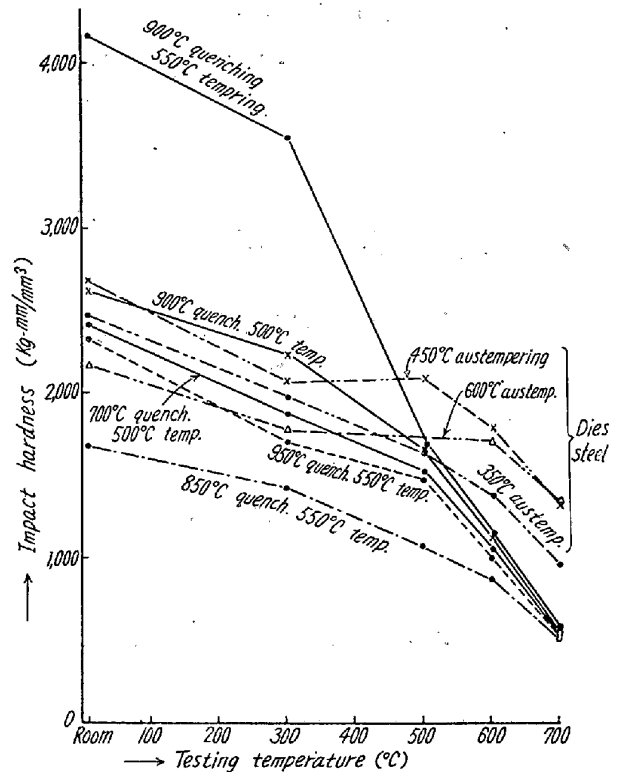


Fig. 6. Testing temperature vs. impact hardness at high temperature. (Comparison of die steel and Si-Mn steel)

正誤: 図中 700°C quench 500°C temp. とあるのは 900°C quench 550°C temp. の誤り。

また試験温度 500°C に 10mn ないし 240mn 保持した場合 Fig. 7 および Fig. 8 のごとく、一般に 900°C 焼入の方が 850°C 焼入の場合より硬度やや高く、また焼戻温度の低い方が硬度やや大で、保持時間が長くなると、幾分硬度を低下する。これは高温で保持時間が長いいため、焼戻が進行していずれも組織が幾分安定化するによるものと考えられる。

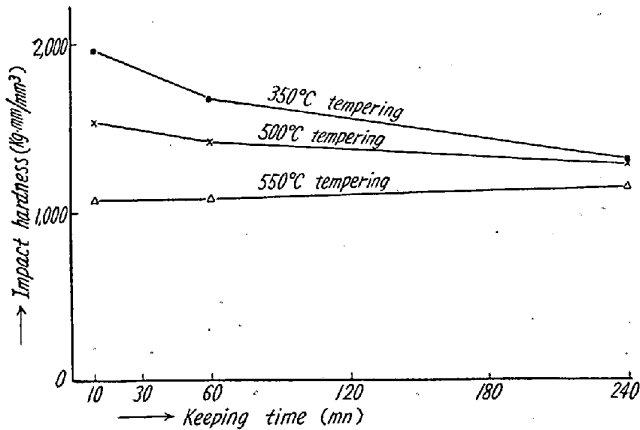


Fig. 7. Keeping time versus impact hardness in high temperature. Si-Mn steel. (Testing temperature 500°C; 850°C quenching)

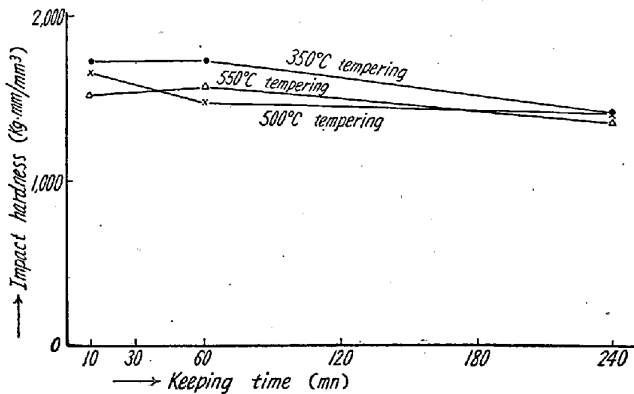


Fig. 8. Keeping time versus impact hardness in high temperature. Si-Mn steel. (Testing temperature 500°C; 900°C quenching)

(B) ダイス鋼第5種の場合

イ) 熱膨脹試験

本多式全熱膨脹計によりダイス鋼第5種の変態点および 800°C までの平均および真の熱膨脹係数を測定した成績はそれぞれ Table 4 および Table 5 の通りである。

ロ) 常温および高温における振り試験と顕微鏡組織

600 cmkg 手動振り試験機を使用し、試験温度として常温、300°, 500°, および 600°C とし保持時間各 10 mn 間で、振り試験を施行した結果は Fig. 9, Fig. 10 の通りダイス鋼第5種を 1100°C より 450° ないし 600°C に austemper 処理したものが 350°C austemper 処理のものより常温における最大振り応力大で、600°C austemper 処理のものは 500°~600°C の高温における最大振り応力がやや大である。これは 600°C オーステンパー処理の顕微鏡組織は Sorbite に W および Cr の微小な炭化物が均一に少量分布しているためによるものであろうと考えられる。

Table 4. Transformation points of die steel No. 5.

	Ac	Ar
Die steel No. 5	820~880°C	720°~805°C

Table 5. Thermal expansion coefficient of die steel No. 5.

Temperature (°C)	Mean thermal expansion coefficient $\times 10^{-6}$
25°~100°	11.6202
25°~200°	11.7264
25°~300°	11.8094
25°~400°	12.0486
25°~500°	12.1864
25°~600°	12.4720
25°~700°	13.0616
25°~800°	13.4985

Temperature (°C)	True thermal expansion coefficient $\times 10^{-6}$
25°~100°	11.6202
100°~200°	11.7929
200°~300°	11.9281
300°~400°	12.6585
400°~500°	12.6425
500°~600°	13.7407
600°~700°	13.3510
700°~800°	16.2913

(Dies steel No. 5)

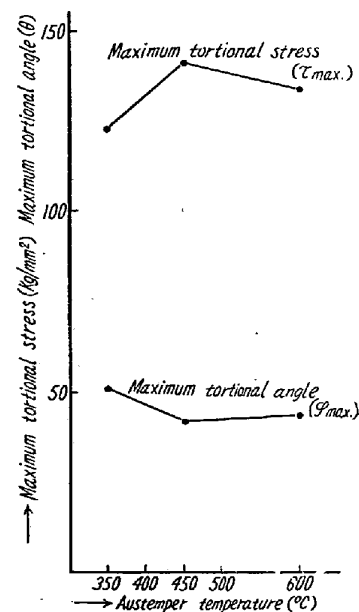


Fig. 9. Austemper temperature versus maximum torsional stress and angle at room temperature.

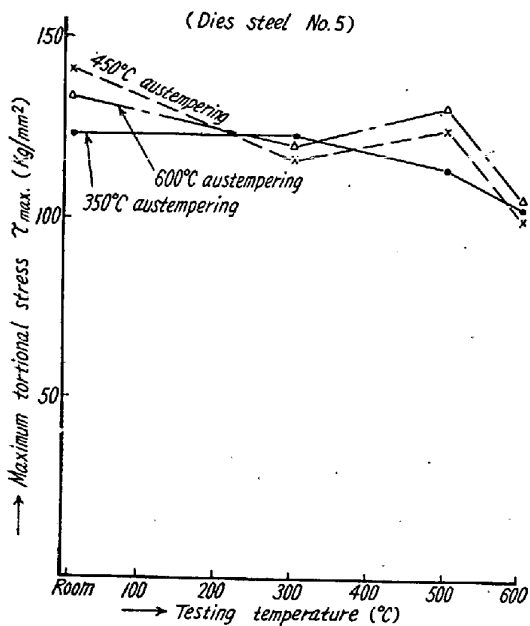


Fig. 10. Testing temperature-maximum torsional stress at high temperature.

### III. 総括

本試験の結果を前回試験の結果<sup>9)</sup>と比較し、これを要約すればおおむねつぎのとおりである。

(1) Si-Mn 鋼を 900°C 焼入後 350°C 焼戻したものの常温のロックウェル C スケール硬度は最大を示すが 500° および 550°C 焼戻のものは、ダイス鋼第 5 種を 450° および 600°C でオーステンパーしたものより硬度やや小である。(Fig. 3)

(2) Si-Mn 鋼のアイゾット衝撃値は、ダイス鋼第 5 種を 600°C オーステンパー処理したものより、一般に小である。(Fig. 4)

(3) Si-Mn 鋼のアプトンリス式疲労試験による繰返屈曲回数はダイス鋼を 600°C オーステンパー処理のものより小である。(Fig. 5)

(4) ダイス鋼第 5 種の常温および 600°C までの高温の振り試験の結果 1100°C より 600°C に 1h オーステンパー処理したものは、他の処理のものより概して最大振り応力が大である。

(5) 一般にダイス鋼の 600°C オーステンパー処理の良成績なのは顕微鏡組織上よりみて Serbite 組織に W および Cr の微小な炭化物が均一に少量分布していることによるものであらうと考えられる。

(6) Si-Mn 鋼はダイス鋼より試験温度 300°C 以下の高温硬度が一般に大であるが、さらに高温の 500° ないし 700°C における高温硬度は小である。(Fig. 6)

終りに臨み、本研究遂行にさいし御懇篤な御鞭撻を賜った九州大学教授工学部長谷村燾博士に厚く御礼申し上げます。

本研究は文部省科学研究費の一部を以て行われたもので謝意を表する次第である。(昭和 32 年 7 月寄稿)

### 文 献

- 1) 堀田秀次: 鉄と鋼, 36 (昭 25) No. 7, 31
- 2) 堀田秀次: 鉄と鋼, 36 (昭 25) No. 12, 26
- 3) 堀田秀次: 鉄と鋼, 37 (昭 26) No. 8, 28
- 4) 堀田秀次: 鉄と鋼, 38 (昭 27) No. 12, 26
- 5) 堀田秀次: 鉄と鋼, 40 (昭 29) No. 6, 513
- 6) 堀田秀次: 鉄と鋼, 42 (昭 31) No. 4, 333
- 7) E. Houdremont u. H. Benneck: Stahl und Eisen, 52 (1932), 654
- 8) F. Rapatz: Die Edelmstähle, 1934
- 9) I. Mitchell: Metal Progress, 1950. Oct. 491