

時計ゼンマイ材料の研究 (I)**

(昭和 25 年 4 月本會講演大會にて講演)

三橋 鐵太郎* · 上野 學*

STUDY OF THE WATCH-SPRING MATERIAL (I)

Tetsutataro Mitsuhashi and Manabu Ueno

Synopsis:

The "Metal Progress" 1948. (P. 648) reported that the fatigue limit is improved by the "martemper and temper."

It seems to differ from the "martemper" called in our country, but it means to hold an object for a time at a temperature just above Ar'' transformation and to cool it gradually in this critical range of the Ar'' transformation and temper.

The fact that the fatigue limit is improved by the "martemper and temper" is probably due to being free from the micro-crack by quenching, but its problem has not been solved yet. The authors reported the comparison of the mechanical properties in the martemper and temper, the austemper, and the oil quenching and temper on the hardness, the tensile strength, the elongation, the fatigue limit and the simple torque test.

I. 緒 言

近着の米誌りに依るとマルテンパーエンドテンパーなる熱処理がバネ鋼の疲労限を向上させると報告されている。

こゝで云ふマルテンパーエンドテンパーとは焼入、焼戻の意味でなく鋼を高温から Ar'' 變態点上の附近に急冷して適當な時間保持した後冷却する操作を云ふ。マルテンパーエンドテンパー処理による疲労限の向上は Ar'' 變態を徐々に進行させるために内部歪の發生が少く、普通の焼入の際に生ずる Micro-Crack²⁾ を防止すると言われているが全面的に肯定し得ないところがある。著者は時計ゼンマイの素材に上記マルテンパーエンドテンパー処理と油焼入焼戻処理とオーステンパー処理の3種類の熱処理を施して、硬度、抗張力、延伸率、疲労破断試冷、簡易トルク試験、衝撃試験、を行ひ比較検討した結果を報告する。

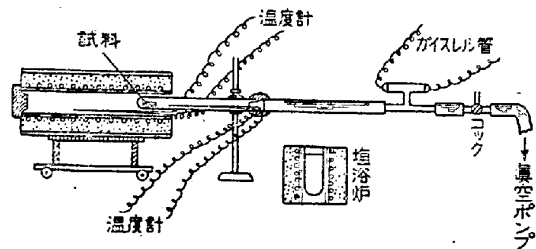
II. 試料及び熱処理

試料は日立安來製作所工場の白紙2號を使用した。その化學成分を第1表に示す。試料は 0.4mm の薄板に付き試験を行つた。薄板は安來工場の白紙2號を特殊金屬工業會社で壓延せるものである。

試料の熱処理には第1圖に示す如く加熱の際に酸化脱

第1表 化學成分

化學成分	C	Si	Mn	P	S	備考
試料						
薄板	1.01	0.16	0.30	0.019	0.003	白紙2號



第1圖 電気爐と鹽浴爐

炭を最小限度に止める爲に真空中にて加熱し、焼入の際には栓を開いて直下の油槽或は鹽浴中に焼入れる。栓を開いて油槽に焼入する迄の時間は數秒であるから、表面は多少干渉色が着くが脱炭の心配はない。マルテンパーエンドテンパーとオーステンパーには恒温保持鹽浴爐を使用した。

* 機械試験所

** 一部機械試験所所報 3卷5號 (昭25) p 174 に發表

a) 油焼入焼戻処理

薄板の試料を第1圖に示す如く石英管中に入れて真空に引き 10⁻² 程度になると電気爐に入れて 800°C に5分間保持した後に栓を開いて直下に設けた油槽中に焼入する。その後 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C の各温度の鹽浴中にて 10 分間焼戻を行ふ。

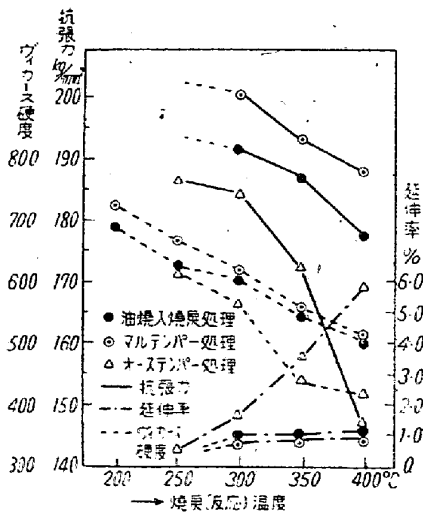
b) マルテンパー-エンドテンパー処理 (以後マルテンパーと云う) 薄板を第1圖に示す爐にて 800°C に5分間加熱して 200°C の油槽に焼入して、その油槽に10分間保持した後に油冷を行ひ Ar¹¹ 變態を完了させる。そして 200°C, 250°C, 300°C, 400°C の各温度の鹽浴中にて 10 分間焼戻を行ふ。

c) オーステンパー処理

薄板の試料を第1圖に示す爐にて 800°C × 5 分間加熱して恒温保持鹽浴爐中に投入した。各反應温度に次の時間保持した。250°C—65 分間, 300°C—35 分間, 350°C—10 分間, 400°C—5 分間, 尙各時間保持後油冷を行つた。顯微鏡検査の結果は保持時間は變態完了に充分なる時間である。

III. 實驗結果

a) 硬度・抗張力・延伸率



第2圖 各熱処理における抗張力, 延伸率, 硬度との關係

第2圖に示す如く硬度は焼戻温度の上昇と共に低下する。マルテンパー処理は他の熱処理に比し各温度に付き抗張力が高くなっている。マルテンパー処理と油焼入焼戻処理の場合 200°C, 250°C, で 10 分間焼戻しを行つた試料は靱性がなく引張試験の時に曲げ應力が作用するため途中にて切斷して完全な引張りが行われなかつたのでデータが抜けている。オーステンパーで反應温度

350°C で硬度, 抗張力が急に低下し, 延伸率が急になつていのは lower Bainite から upper Bainite か troostite への移行による組織の變化に基くのである。以上の結果を第2表に示す。

b) 疲勞破斷試験, 簡易トルク試験

時計ゼンマイは變形して貯へたエネルギーを徐々に仕事にかえる作用をする。一般にトルクが大で, トルク曲線が平らな傾向を持つことが好ましい。それは捲いた時トルクが大きくて時間のたつと共にトルクが急に減少すると時計が遅れたり, 進んだりして好ましくないからである。著者は第3圖の如き疲勞破斷試験機を試作するに至り, 次の計算を行つた。時計ゼンマイの抗張力は 180~200kg/mm² が必要であると云われている。時計ゼンマイを捲いた時どれ位の應力がかゝっているか實測したデータがないので, 次の式で近似的に計算した。

$$1/\rho_L - 1/\rho_E = \frac{M}{EI} = \frac{2\sigma}{Eh} \left(\because \sigma = \frac{Mh}{2I} \right)$$

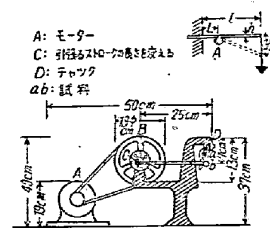
ρ_L : 時計ゼンマイを捲いた時の曲率半径

ρ_E : 時計ゼンマイを拘束しないときの曲率半径

M : 曲げモーメント E : ヤング率

I : 断面係数 σ : 最大曲げ應力 h : ゼンマイの厚さ

ρ_L ρ_E はゼンマイの側面に印肉をつけて紙にプリントして實測した。 $\rho_L = 1.5\text{cm}$, $\rho_E = 6.11\text{cm}$ であつた。 $E = 2.1 \times 10^{10} \text{dyne/cm}^2$, $h = 0.04\text{cm}$ として上式に代入して σ を求めると, $\sigma = 2.1 \times 10^4 \text{kg/cm}^2 = 210\text{kg/mm}^2$ となる。使用したゼンマイは理研の日巻時計用ゼンマイ



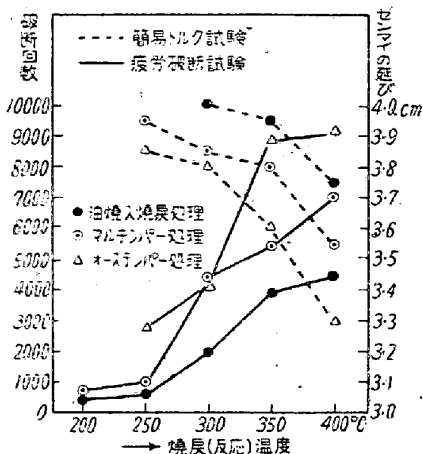
第3圖 疲勞試験機(ゼンマイ用)

である。この疲勞試験機では第3圖の上圖に示す如き曲げ應力が作用している。A 點の外側に於て最大曲げ應力が最大となる。これを近似計算すると $\sigma = 6y_0Eh/(4l-L)$ となる。 y_0 が大きくなると數パーセント程度の誤差を生ずる。 $l = 4.0\text{cm}$, $y_0 = 2.0\text{cm}$, $L = 1.0\text{cm}$, $E = 2.1 \times 10^{10} \text{dyne/cm}^2$, $h = 0.04\text{cm}$ として σ を求めると

$\sigma = 2.24 \times 10^4 \text{kg/cm}^2 = 224\text{kg/mm}^2$ となる。よつて上に計算した時計ゼンマイを捲いた時の最大曲げ應力とこの方法で疲勞試験を行つた状態とは大體同じ最大曲げ應力が掛つてるとみてよい。この試作機を用いて破斷ま

第2表 各熱処理による機械的性質の比較

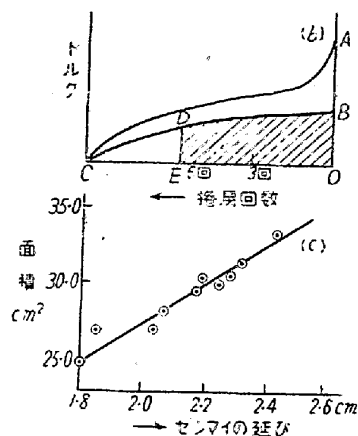
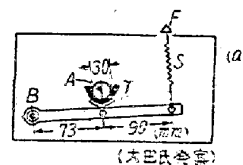
機械的性質		ヴィカーズ 硬 度	抗張力試験		疲労破断試験	簡易トルク試験
焼戻(反応)温度	抗張力 kg/mm ²		延伸力 %	断 破 回 数	スプリングの伸び cm	
焼油	200°C	690	—	—	450	破断
戻	250	627	—	—	600	〃〃
焼	300	604	191.5	1	1966	4.00
處	350	548	187.2	1.1	3930	3.95
理入	400	509	177.4	1.3	4370	3.75
1 マル	200°C	729	—	—	630	破断
ル	250	670	—	—	950	3.95
處	300	620	203.2	0.8	4320	3.85
テン	350	558	193.2	0.9	5400	3.80
パ	400	510	187.9	1.0	7000	3.55
處ンオ	250°C	618	186.6	0.5	2750	3.85
パ	300	566	184.2	1.6	4160	3.80
ス	350	440	172.2	3.5	8840	3.60
理1テ	400	417	145.5	5.8	9070	3.30



第4圖 各熱処理における疲労破断回数と簡易トルク試験との関係

での繰返し曲げ回数を求めた。その結果を第4圖に示す。マルテンパー処理と油焼入焼戻処理も 250°C 焼戻では疲労破断回数に大した相異はないが 250°C 以上の焼戻温度になるとマルテンパー処理の方が疲労破断回数が良くなって行く、これは Ar¹¹ を除冷するので Micro-Crack の少ない事に由るとも考えられるが、又マルテンパー処理では一部 Bainite が出て残留オーステナイトが普通の油焼入に比して少ない。それ故 250°C 以上の温度で焼戻すると油焼入焼戻処理では残留オーステナイトがマルテンサイトに分解されて靱性が低下するに反してマルテンパー処理では残留オーステナイトの分解がないために疲労破断回数が良い。そのいずれかの決定には更に実験を要する。オーステンパー処理では他の処理に比し各温度に於て疲労回数は良好である。

機械試験所の太田技官が昭和 24 年時計懇談會にて發



第5圖 簡易トルク試験

表した簡易トルク試験装置を借用して3種の熱処理によりトルクが如何に変化するか検討した。第5圖 (a) は簡易トルク試験装置を示す、Aは 30mm の圓棒で、Bを支点としFなる力で引張るとTなる試料はAなる圓周に沿つて曲る。この時Sなるスプリングの伸びが以下の如き理由によつてトルクのエネルギーに比例する。著者は日巻時計用のゼンマイ (理研製) で簡易トルク試験によるSの伸びとトルク試験機との値との比較実験を行つた。ゼンマイの厚さは 0.46mm で、巾は 0.79mm である。このゼンマイをトルク試験機にてトルク曲線を描くと第5圖 (b) の如くなる。即ちゼンマイを捲くと CA の曲線を描き、捲いたゼンマイを戻すと BC なる曲線

でトルクが減少して行く。ゼンマイのトルクの値として例えば \overline{OB} 又は3回捲戻した時のトルクの値をとることも出来る。又は日捲時計の規格では30時間時計が動いていなければならないので、30時間以上、ここでは36時間までも充分なるトルクを持つように1回もどるのに6時間かかるので6回捲戻したとき即ち36時間後の \square BDEOの面積(エネルギー)を持つて、そのゼンマイのトルクの比較値とした。この面積と第5圖(a)のSなるスプリングの伸びとの関係を求めると第5圖(c)の如き比例関係を示す。上述の簡易トルク試験装置を用いて3種の熱処理方式によるトルク試験を行った。その結果を第4圖と第2表に示す。油焼入焼戻処理とマルテンパー処理とも焼戻し温度の上昇と共にトルク値が低下し350°C以上の温度に焼戻すると急に低下する。油焼入焼戻処理の方がマルテンパー処理に比して各温度にてトルクの値が高い。オーステンパー処理では他の処理に比して各反応温度に比して悪い。

IV. 結 論

硬度、抗張力試験に於てオーステンパー処理は他の処理に比し各反応温度で低い値を示す。又マルテンパー處

理は油焼入焼戻処理よりも高い値を示すが、硬度試験では著しい差異はみとめられない。延伸率は抗張力と反對の傾向を示す。簡易トルク試験では油焼入焼戻処理が他の処理に比し各種焼戻温度に於て高目の値を示す。疲労破断試験ではオーステンパー処理を施せばもつともよく次にマルテンパー処理で油焼入焼戻処理がもつとも低い値をとる。以上の実験結果を總括して時計ゼンマイに於いてトルクを必要とする時は油焼入焼戻処理がもつともよく、850°Cから油焼入して350°Cで焼戻しをすることが好ましい。トルクは時計ゼンマイの寸法にて補つて疲労に強いゼンマイを必要とする時はマルテンパー処理を行い焼戻温度を300°~350°Cの間にするのが良い。オーステンパー処理は疲労には良いがトルクが充分出ない缺點がある。終りに本実験遂行にあたり終始熱心な助力を寄せられた太田正之氏、櫻井好正氏、矢口剛君に深く感謝の意を表する次第である。(昭和25年10月寄稿)

文 献

- 1) Arthur C. Forsyth & Roland P. Carreker, Metal Progress, 54 (1948) 683.
- 2) E. S. Darven Port, E. L. Reff & E. C. Bain Trans. A. S. M., 22 (1934) 287.

鋼の高温度に於ける諸變化に及ぼす超音波の影響

(昭和25年4月本會講演大會に於て講演)

田中 清治・吉田 高明・高木甲子雄

EFFECT OF SUPERSONIC WAVES ON VARIOUS CHANGES OF STEEL AT HIGH TEMPERATURE

Seiji Tanaka, Dr. Ing., Takaaki Yoshida and Kineo Takagi

Synopsis:

Effect of supersonic waves on the various changes of steel was studied at high temperatures. The specimens used in the experiments were 1.2% carbon steel strip and the supersonic waves of 100 K.C. were propagated by the magnetostriction vibrator from one end of the specimen to the other which was put into the electric furnace and heated to temperatures required.

The results obtained were as follows.

- (1) It was found in the thermal analysis that transformation was remarkably accelerated.
- (2) Some spots of troostite were found in martensite layer at almost fixed places, grain growth was not uniform, and the so called mixed grain structure was obtained. The phenomena were probably caused by interference of the supersonic waves.
- (3) The distribution of cementite was not uniform and coagurated in grain boundaries or other parts.
- (4) Oxydation and decarburization in air at high temperature was remarkably accelerated.