なる位置に反曲点がある。 $l_{\infty} < 0$ では反曲点の位置が負となり実際には反曲点があらわれない。すなわち、いま問題にしている反曲点を有するときに理想的である場合には、 $l_{\infty} > 0$ したがって $R_0 > \frac{EI}{T_m}$ であり、その形は(10)式に $M = T_m$ を入れて得られる。であるから(10)式の第2項の円の半径 $\frac{EI}{T_m}$ は香箱の内半径 R_0 よりも小である。

第3図 点線: Cornu's-spiral
実線: (10)式の曲線
円の半径: $\frac{EI}{T_m} < R_0$

その模様を第3図に図示しておいた。

このようなばねを時計に用いることによつてその持続時間ならびにトルク変動率の改善により結果を得られている。

(1)精機学会誌にも発表の予定、慶応義塾学事振興資金補助金による研究。

(2)筆者、"渦巻ばねの変形について"、日本機械学会論文集、14巻、46号、P.95(昭23年)

(3)上記参照

(4)Cornu's-Spiralは光学において研究せられた曲線で Janke und Emde, "Funktionstafeln" S. 109-111, (1933), に精しい表と図がある。

(5)一ぱいに巻かれたときに均一モーメントを受けるとしても解くことが出来るが、この方が合理的である理由を本文のこの個所以下に述べておいた。

時 計 用 ゼ ン マ イ の 研 究 (第 1 報)

三 橋 鉄 太 郎* ・ 上 野 学*

ON THE STUDY OF TIME PIECE SPRING (I)

T. Mitsuhashi & M. Ueno

Now-a-days, on account of shortage of Swedish Steel which had been imported prior to the War, time piece springs are produced from high carbon steel in this country.

There were many impurities in this steel (e.g. Cu, Cr, P, S, etc.) and caused breakings very often in rolling and employment. The study of time piece spring became necessary.

There are a few references relating to the effect of austempering on the properties of steel. However little seems to have been done on the effect of austempering or martempering on time piece springs.

The authors, taking samples of two kinds of thin high carbon steel plates and rod bars, examined the mechanical properties due to austempering and martempering. Below 300° C the mechanical properties due to austempering were superior to martempering in thin high carbon steel plates.

I 緒 言

時計用ゼンマイの素材として、戦前輸入されていた「スエーデン鋼」の枯枯と共に国内の高炭素鋼を使用して、ゼンマイの製造を行つている。然し我国の鋼材中に Cu その他の不純物が多く、圧延中に切断したり、使用中に破断したりして、不良品が多く歩留が大変悪い現状である。その為時計ゼンマイの研究が重要視されるようになった。鋼の恒温変態の機械的性質に及ぼす影響に

対する文献¹⁾²⁾はあるが、時計用ゼンマイの熱処理に関する文献³⁾は余りにも少ない。著者は我国の時計ゼンマイの薄板の素材にオーステンパー熱処理を行ふと如何なる機械的性質を示すか、マルテンパー熱処理との相異を実験し、優秀な時計用ゼンマイを製造する目的をもつて第一着手として薄板 (C≒0.8%) と丸棒 (C≒0.9%) について熱処理を行い、それによる機械的性質の検討を

* 工業技術院機械試験所

行い、その実験結果を報告する。

II 実験結果

(1) 成分

本研究に供した試料の化学成分は第1表に示す。薄板は日本金属株式会社にて圧延せるものであり、丸棒は日興金属株式会社製である。

第1表 化学成分表

成分 試料	C	Si	Mn	P	S	備考
薄板	0.80	0.10	0.342	0.035	0.006	日本金属
丸棒	0.93	0.21	0.41	0.059	0.02	日興

(2) 熱処理による硬度

硬度の測定を試料として $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ の試料を使用し、 800°C の鹽浴中にて 15 分間加熱して油焼入を行い、各温度の鹽浴中に 5 分、10 分、20 分、30 分、60 分間保持する焼戻を行つて水冷を行ふマルテンパーの熱処理を行つた。又一方 800°C の鹽浴中に 15 分間保持して各温度の鹽浴中に 5 分、10 分、20 分、30 分、60 分間保持し水冷するオーステンパーの熱処理を行つた。

此の各試料に付てヴィツカース硬度計にて硬度を測定した。その結果は第2表に示す。第1図はマルテンパーの熱処理とオーステンパーの熱処理を行い機械的性質を研究し実験を行つた時の保持時間と硬度の関係を示す。いつぱんに時計用ゼンマイとして使用される材料の硬度として $600 \sim 700\text{V.H.N.}$ が望しい。よつて 275°C に「マルテンパー」と「オーステンパー」との熱処理を行い、機械的性質を研究し実験を行つた。

保持温度が高くなるにつれて、且又保持時間が長くなれば硬度が低くなる。保持温度 300°C 以上になるとオーステンパー熱処理はマルテンパー熱処理に比して硬度

第1図 各温度に於ける保持時間と硬度との関係

が相対的に低くなる。

(3) 薄板の熱処理による機械的性質

時計用ゼンマイは弾性的に変形して貯へたエネルギーを徐々に或る仕事に変える作用を行うものである。故に物理的性質から考察して弾性限界が高いこと、次に耐屈撓性の大きくなることが大切である。従つて時計用ゼンマイの抗張力は $180\text{kg/mm}^2 \sim 200\text{kg/mm}^2$ が必要であると云われている。本実験では抗張力、伸率、硬度及び特別に試作した疲労試験機にて破断に到る破断回数を測定した。

抗張力試験片は厚さ 0.4mm 、平行部幅 8mm 、長さ 30mm の試験片を使用。硬度はヴィツカース硬度計を使用、疲労試験機を第2図に示す。

この疲労試験機は繰返し撓みで第2図に示す。

第2表 硬度 (オーステンパーとマルテンパー)

熱処理温度 保持時間	オーステンパー $800^\circ\text{C} \rightarrow$ 鹽浴				マルテンパー $800^\circ\text{C} \rightarrow$ 油焼入 $\rightarrow$ 鹽浴			
	275°C	300°C	350°C	400°C	275°C	300°C	350°C	400°C
5 分	748	645	489	423	655	584	586	576
10 分	653	548	467	408	620	566	573	498
20 分	645	531	466	399	562	563	557	423.3
30 分	610	510	457	396	553	557	543	433.3
60 分	603	504	452	388	528	551	545.6	481.0

第2図 疲労試験機(ゼンマイ用)

A……モーター(出力 200W)

B……プーリー

C……此の部分で引張るストロークの長さを変える

D……試料を留めるチャック

a, b……30mm にて一方の方向に繰返す撓みを受ける部分

Dなる部分にて試料を留める。abの間隔は 30mm である。

Aのモーターの廻轉により、BのVベルトプリーを廻轉して廻轉数を落し、Bの廻轉によりCの円板が廻轉する。そうするとCbの棒がピストンの如く1方向に移動する。故にabの試料は1方向にのみ撓み、これにより疲労し破断に到る回数を読みとる。Cを加減するとピストンの移動するストロークの長さが変化する。この試験に於て実験を行つた條件はストロークの長さは 15mm とした。 $\sigma = -\frac{3}{2} \frac{Eh\delta^4}{l^4}$ なる式に $E = 2.1 \times 10^{10} \text{ dyne/cm}^2$, $h = 0.04 \text{ cm}$, $\delta = 1.5 \text{ cm}$, $l = 3.0 \text{ cm}$ を代入すると最大曲げ応力 $\sigma = 210 \text{ kg/mm}^2$ となる。この様な條件のもとに疲労試験を行つたことになる。

各試料を 800°C に 5 分間保持し油焼入して 275°C に 5 分, 10 分, 20 分, 30 分, 60 分間、焼戻しを行つたマルテンパー熱処理と 800°C に 5 分間保持して 275°C の鹽浴に焼入して 5 分, 10 分, 20 分, 30 分, 60 分間保持して水冷を行つたオーステンパー熱処理に付て機械的性質を測定した。その実験の結果を第3表に示す。オーステンパーとマルテンパーとの熱処理の図解を第3図に示す。第4図、第5図はマルテンパーとオーステンパーの熱処理を上述べの如く行つた後の機械的性質と保持時間との関係を示す。

硬度はオーステンパー、マルテンパーの熱処理のいずれの時にも保持時間と共に降下する。

然しオーステンパーの熱処理の方がマルテンパーの熱

処理の時よりも硬度が一般に高くなつてゐる。

実際時計ゼンマイ製造業者にては焼戻し時間は 2 分～30 分の範囲である。275°C に焼戻して 10 分間保持すると硬度は 620V.H.N. である。炭素約 0.8% の高炭素鋼を 275°C の温度にオーステンパーした時変態を始めるのが約 1 分間位であり、変態終了が 1 時間位である。変態終了後の硬度は 603V.H.N. である。硬度の点に於てはオーステンパー熱処理もマルテンパー熱処理も殆んど同

第3表 薄板ゼンマイの機械的性質

機械的性質 保持時間	オーステンパー 800°C→275°C鹽浴			マルテンパー 800°C→油焼入 →275°C鹽浴		
	抗張力 kg/mm ²	伸率 %	疲労試験 破断回数	抗張力 kg/mm ²	伸率 %	疲労試験 破断回数
5 分	205	9.8	9250	135.6	9.1	3040
10 分	200	9.3	10200	138.7	9.4	3230
20 分	198.3	9.2	8800	167.5	9.2	2220
30 分	194.6	9.6	5760	164.7	9.5	1520
60 分	187.3	9.5	12260	196.3	9.6	1800

第3図 オーステンパーとマルテンパーとの図解

第4図 マルテンパーに於ける保持時間と機械的性質の関係(275°C)

第5図 オーステンパーに於ける保持時間と機械的性質との関係 (275°C)

じ値である。抗張力はマルテンパー熱処理の場合焼戻による保持時間と共に増加する。275°Cに5分間保持すると、135.6kg/mm²、10分間保持すると138.7kg/mm²に増加し、60分間保持すると196.3kg/mm²に増加する。これは油焼入により生じた残留オーステナイトがマルテンサイトに変化したのではないかと考えられる。

オーステンパー熱処理の場合抗張力は保持時間と共に減少して行く。変態し始めの保持時間5分間の際は205kg/mm²となり、変態終了した保持時間60分間の時は187.3kg/mm²と減少する。マルテンパー熱処理に於て275°Cに10分間保持した時よりも、オーステンパー熱処理に於て変態完了させた60分間保持せる場合の方が抗張力が高い。抗張力が高いと云う点よりすればオーステンパー熱処理の方が良い。

伸率ではオーステンパー熱処理もマルテンパー熱処理も殆んど保持時間に变化なく殆んど同じである。

疲労試験を行つた時破断するに到るまでの破断回数はマルテンパー熱処理の時には保持時間と共に破断回数は減少して行く現象を呈する。275°Cに5分間保持すると3040回にて破断し、10分間保持すると少し増加して3230回にて破断する。20分、30分、60分間と保持時間が増加するにつれ破断に要する回数は小さくなり、60分間焼戻を行えば抗張力は増加するが破断に到る破断回数は1800回と非常に脆くなる。

オーステンパー熱処理では破断に到る回数は275°Cで保持時間30分の時最小となり、此の時が疲労に一番悪い。オーステンパーの変態の開始する時即ち275°Cの鹽浴に焼入れして5分間保持した時破断に到る破断回

数は9250回、10分間保持すると10200回に増加し、20分間保持すると8800回、30分間保持すると5760回に減少し、60分間保持すると再び12260回に増加する。

疲労破断に対してはオーステンパー熱処理を行えば非常によく、マルテンパー熱処理と比較して数倍も破断回数が増加する。以上の機械的性質を総括して考察するとオーステンパー熱処理の方がマルテンパー熱処理の方よりも優秀な機械的性質を示す。

(4) 丸棒の熱処理による機械的性質

時計用ゼンマイの素材の薄板と丸棒の高炭素鋼に対する機械的性質の相異を検討することが必要である。

丸棒で直径が大きくなると質量効果の為脆がある程度しか入らないと云うことがあるが、薄板の場合にはその点の欠点はない。

丸棒の高炭素鋼の機械的性質をオーステンパー熱処理とマルテンパー熱処理を行つて実験した。機械的性質として抗張力、伸率、硬度、衝撃値を測定した。

衝撃試験片はJ.E.S.の規格の寸法でなく、丸棒でノッチをつけずに衝撃試験を行つた。抗張力試験片と衝撃試験片の寸法を第6図に示す。

各丸棒の試料を800°Cに15分間保持して油焼し290°Cの鹽浴に10分、20分、30分、60分間焼戻したマルテンパー熱処理と800°Cに15分間保持して290°Cの鹽浴

第6図 抗張力試験片と衝撃試験片の寸法

に焼入して10分、20分、30分、60分間保持して水冷したオーステンパー熱処理を行つた各々の試料に付き機械的性質を測定した。その実験結果は第4表に示す。

第7図、第8図はマルテンパー熱処理とオーステンパー熱処理を上述の如く行つた後の機械的性質と290°Cに保持した時間との関係を示す。

マルテンパーの熱処理では硬度は保持時間と共に漸次減少する。然し10分間焼戻しと60分間焼戻しとの硬度差

第4表 高炭素鋼(丸棒)の機械的性質

機械的性質 保持時間	マルテンパー 800°C→油焼入→290°C鹽浴				オーステンパー 800°C→290°C鹽浴			
	硬 度 V.H.N.	抗 張 力 kg/mm ²	伸 率 %	シャルビー kg-m/cm ²	硬 度 V.H.N.	抗 張 力 kg/mm ²	伸 率 %	シャルビー kg-m/cm ²
10 分	652	131.2	3	1.95	400	113.7	10	4.04
20 分	646	143.0	1.5	2.11	406	107.3	15.5	4.04
30 分	636	155.0	1.5	2.05	389	107.9	16	3.93
60 分	628	156.0	1.5	2.16	398	111.2	14.5	3.99

第7図 マルテンパーに於ける保持時間と機械的性質との関係 (290°C)

第8図 オーステンパーに於ける保持時間と機械的性質との関係

は小さい。オーステンパーの熱処理でも硬度は約 400 V.H.N. で保持時間により殆んど変化はしない。薄板の熱処理のときオーステンパー熱処理ではマルテンパーの熱処理を行った場合よりも硬度は高いが、丸棒の高炭素鋼の場合反対の結果を示している。

抗張力も又同じ傾向を示す。これは丸棒の試料ではオーステンパー熱処理の際 S 曲線の鼻を冷却曲線が切つて一部パーライトが析出して出たのではないかと考えられる。顕微鏡写真では一部パーライトが出たと考えられる組織を示す。第2報で此の点を注意したいと思う。

抗張力はオーステンパーの熱処理では保持時間20分間30分間で減少して、60分間保持すると 111.2kg/mm² に増加する。マルテンパー熱処理では焼戻時間と共に増加し10分間焼戻で 131.2kg/mm²、60分間焼戻すると 156 kg/mm² になり、薄板にマルテンパー熱処理を行った場合と同じ傾向を呈する。但し薄板の時より抗張力が一般的に低い。

伸率ではオーステンパー熱処理では保持時間20分間30分間の時増加し、60分間保持すると 14.5%に下る。これは薄板のオーステンパーの熱処理の時よりも一般的に高く、薄板をオーステンパー熱処理を行うと保持時間に対して伸率は殆んど変化なく、マルテンパー熱処理を行うと伸率は焼戻時間20分間に減少し、以後殆んど変化を生じない。焼戻10分間すると伸率3%位で、薄板の場合に比して著しく低い。

衝撃値即ちシャルビー値はオーステンパー熱処理を行うと非常に良い。保持時間が増加しても余り変化しない。衝撃値はオーステンパー熱処理では60分間保持して水冷した試料に付いては 39.9kg-m/cm² である。マルテンパー熱処理では焼戻時間と共に余り変化はしないが衝撃値は低く10分間焼戻では約 2.05kg-m/cm² である。

III 結 論

上述の研究結果を要約すると次の通りである。

A) 時計用ゼンマイの薄板素材を 275°C にオーステンパー熱処理と焼入焼戻しせるマルテンパー熱処理とを施せし時硬度、抗張力、疲労試験に於ける破断に到る破断回数等の性質ではオーステンパー熱処理の方が良好である。伸率では両者の熱処理とも殆んど同じ値を示す。

B) 高炭素鋼の丸棒の素材を 290°C の温度にオーステンパー熱処理と焼入焼戻しせるマルテンパー熱処理とを施せし時マルテンパー熱処理の方が硬度、抗張力が良いが、然し衝撃値、伸率が悪くなる。

丸棒と薄板では両熱処理方法による機械的性質に及ぼす影響が相異なる。即ち抗張力、硬度の点に於て反対の結果を示す。

最後に此の実験に協力をしていただいた野口徳蔵氏、矢口剛君に衷心深謝致します。

(発表昭和24年9月19日機械試験所研究発表会受付昭和24年10月15日)

- 1) W.T. Griffiths, L.B. Pfeil, N.P. Allen, The Iron and Steel Institute, Special Report, No.24 (1939), 343
- 2) P. Payson, W. Hadapp, Metal Progress, 35 (1939), 358.
- 3) 小柴定雄, 野原考三郎, 日本金属学会誌, 13 (1949), 43.
- 4) 片持梁に於ける σ なる最大曲げ応力を求める時、撓みが大なる時には $\sigma = -\frac{3}{2} \frac{Eh\delta}{l^2}$ なる式にて最大曲げ応力を求めることが出来ない。撓みがある程度以上大となると計算が複雑となる。Die Federn, Ihre Gestaltung und Berechnung なる雑誌に計算の方法は記載してあるが、此所では簡単の爲 $\sigma = -\frac{3}{2} \frac{Eh\delta}{l^2}$ の式を用いて計算した。 $\sigma = 210 \text{ kg/mm}^2$ となるが、実際は最大曲げ応力は 210 kg/mm^2 よりも小である。