

# Si-Mn ばね鋼と Si-Mn-Cr 強靱鋼の耐久性に 及ぼす熱処理法の影響

新持喜一郎\* 永島祐雄\*\*

## Effects of Heat Treatment on Endurance of Si-Mn Spring Steel and Si-Mn-Cr High Tension Steel

By Kiichirō Shinji, D.S.E., and Sukeo Nagashima  
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The writers investigated into the effects of the heat treatment, comprising quenching, tempering and austempering, on the high tension steel with the aid of the Matsumura's repeated impact tester, and obtained the following results:

- (1) When quenched and tempered, tensile strength and yielding point of the specimens against equal hardness became higher.
- (2) When austempered, elongation, reduction of area and impact value became higher.
- (3) By the repeated impact test, it was revealed that, provided that the specimens are harder than a certain value, the endurance of austempered steel is superior to that of quenched and tempered steel under the impacting energy which corresponds to the condition of the fatigue test.

### 〔I〕 緒 言

著者の1人は先<sup>(1)</sup>に Si-Mn ばね鋼に就いて熱処理法がその耐久性に及ぼす影響に関して、松村式繰返打撃試験に依つて追求した結果、恒温変態処理の方が普通の焼入焼戻処理したものに対し等硬度に対して優れていることを確めた。又硬度が高くなるに従つて恒温変態処理したものは打撃回数即ち耐久性が大になるが、焼入焼戻処理したものはこれと全く対蹠的であつた。この現象は興味ある問題にして茲に再び Si-Mn ばね鋼と Si-Mn-Cr 強靱鋼に就いて調べることにした。

### 〔II〕 試 料

その化学分析結果を示すと第1表の如くである。試験片は繰返打撃試験片の外、抗張、衝撃試験片等何れも荒仕上状態に於て熱処理を施した後仕上げて試験に供し

\* 日立製作所安来工場 工博

\*\* 日立製作所安来工場

た。Si-Mn ばね鋼は

- (1) 恒温変態処理: 860°C から 275~375°C の二次浴に焼入れ、その温度に1時間保持後水冷した。
- (2) 焼入焼戻処理: 860°C から油焼入後 400~560°C の各温度に焼戻した(水冷)。

Si-Mn-Cr 強靱鋼は

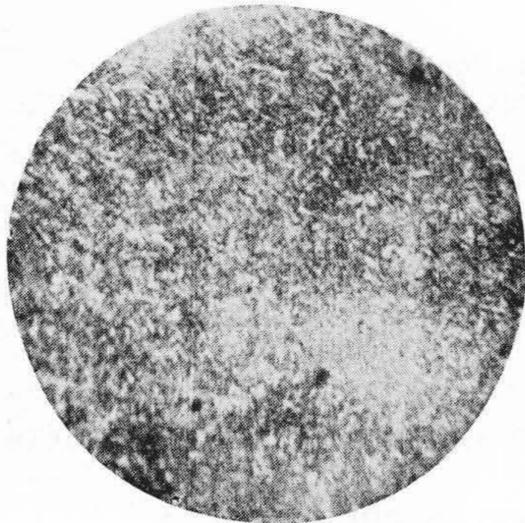
- (1) 恒温変態処理: 880°C から 300~375°C の二次浴に焼入れ、その温度に1時間保持後水冷した。
- (2) 焼入焼戻処理: 880°C から油焼入後 320~480°C の各温度に焼戻した(水冷)。

かくして得た試料の顕微鏡組織の二三を示せば第1図~第4図(次頁参照)の如くである。第1図はばね鋼を

第1表 試料の化学成分(%)

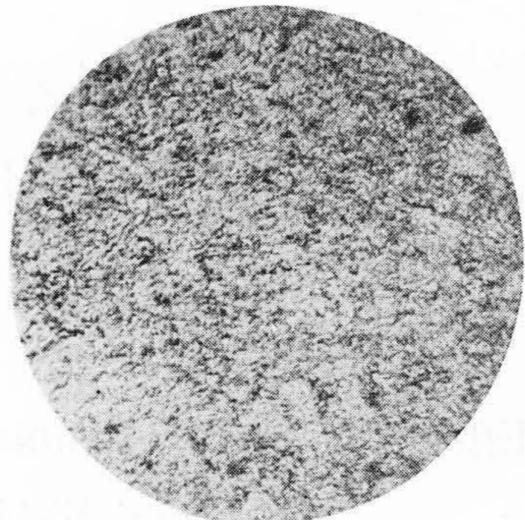
Table 1. Chemical Composition of Sample (%)

	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Cu	Mo
SUP 6	0.62	1.63	0.89	0.020	0.29	0.27	0.214	—
SMnC 90	0.38	0.92	0.88	0.029	0.34	1.11	—	0.05



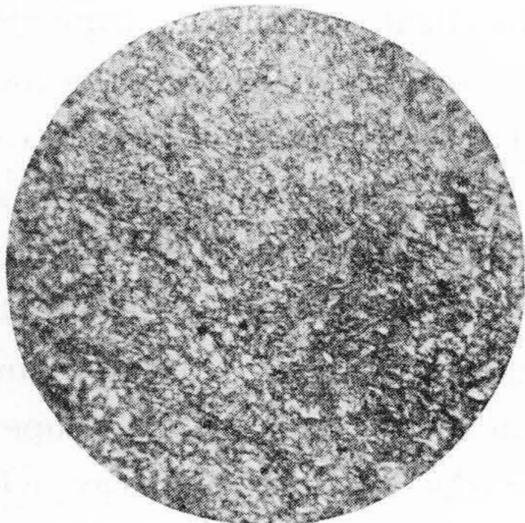
第1図 焼入焼戻処理したもの  
860°C 油冷 520°C 焼戻  
SUP 6 Rc 40.3

Fig. 1. Quenched and Tempered  
Oil Quenched at 860°C  
Tempered at 520°C  
SUP 6 Rc 40.3



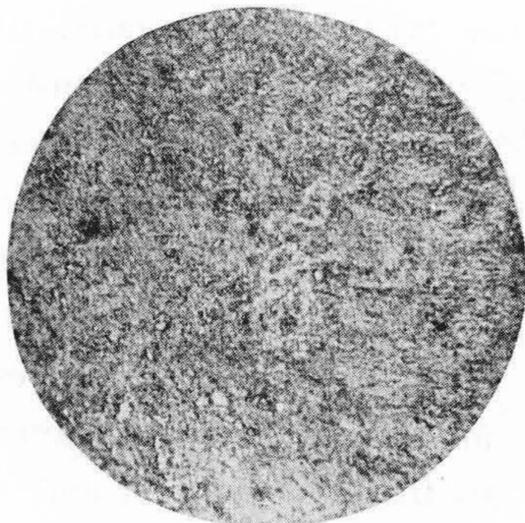
第3図 焼入焼戻処理したもの  
880°C 油冷 320°C 焼戻  
SMnC 90 Rc 48.5

Fig. 3. Quenched and Tempered  
Oil Quenched at 880°C,  
Tempered at 320°C  
SMnC 90 Rc 48.5



第2図 恒温変態処理したもの  
860°C→375°C, 鉛浴1時間保持  
SUP 6 Rc 40.6

Fig. 2. Austempered 860°C→375°C Pb Bath  
Austempered for 1 hr  
SUP 6 Rc 40.6



第4図 恒温変態処理したもの  
880°C→325°C 鉛浴、1時間保持  
SMnC 90 Rc 49.7

Fig. 4. Austempered 880°C→325°C Pb Bath  
Austempered for 1 hr  
SMnC 90 Rc 49.7

60°C 油冷、520°C 焼戻処理したもので、Rc 40.3, ツルースタイトを含むソルバイト組織である。第2図は同じくばね鋼を 375°C に於て恒温変態処理したもので、Rc 40.6であるが変態進行中のものである。第3図は強靱鋼を 880°C 油冷、320°C 焼戻処理したもので、Rc 48.5, ソルバイト組織である。第4図は同じく強靱鋼を 325°C に於て恒温変態処理したもので、Rc 49.7 であるが変態進行中のものである。

### 〔III〕 実験結果

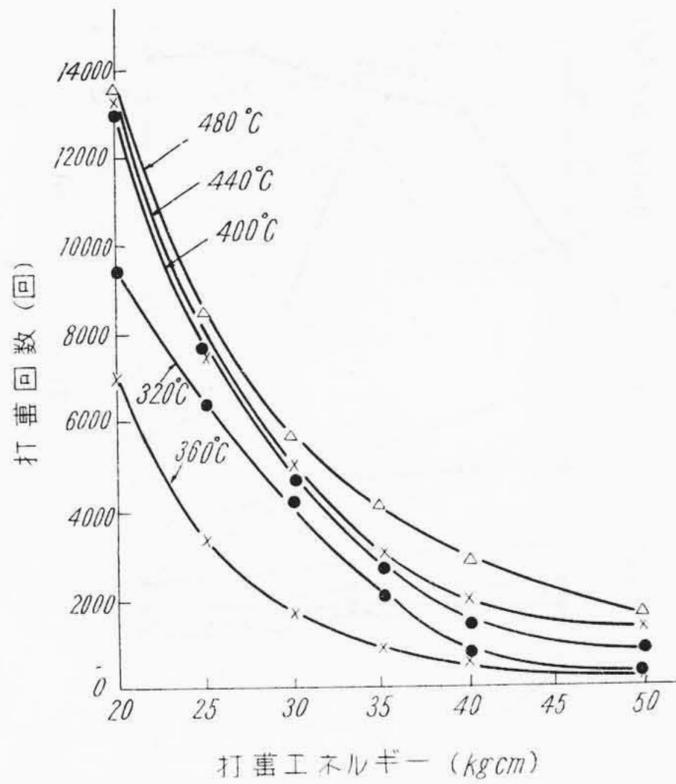
#### (1) 打撃エネルギーと打撃回数との関係

打撃エネルギーの増加するに従って打撃回数は最初急激に減少し、後次第に徐々に減少する。強靱鋼に就いて打撃エネルギー対打撃回数曲線を示すと第5図及び第6図の如くである。

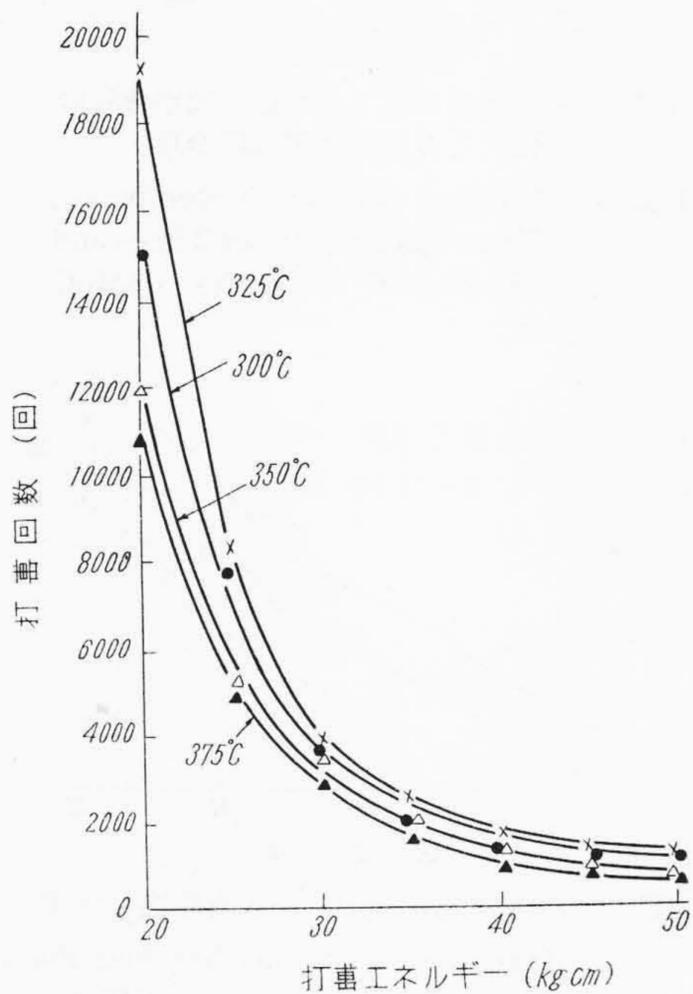
#### (2) 焼戻温度及び二次浴温度と打撃回数及び機械的性質との関係

ばね鋼に就いて示すと第7図及び第8図の如くである。焼戻温度が高くなるに従って伸、絞及び衝撃値は増加するが、打撃回数は最初増加するが 480°C を極大点として減少する。又二次浴温度が高くなるに従って伸及び衝撃値は増加するが絞は最初増加して 325~350°C に於て極大となる。打撃回数は打撃エネルギーが 20kgcm の場合 325°C に極大点がある。打撃エネルギーがそれ以上に大になるとこの極大点の存在が著しくなく、傾向としては二次浴温度の高くなるに従って打撃回数は減少する。

強靱鋼に就いて示すと第9図及び第10図の如くである。焼戻温度が高くなるに従って伸、絞及び衝撃値が増加するが、打撃回数は最初減少し、360°C を極小点とし

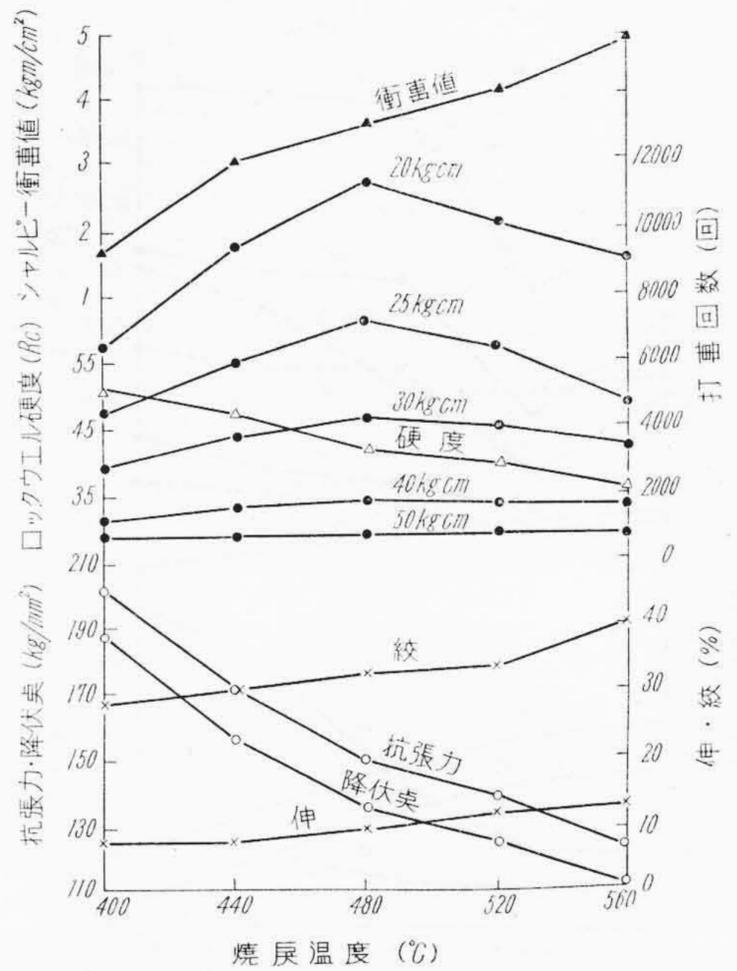


第5図 打撃エネルギー対打撃回数曲線 (SMnC90) 焼入焼戻処理  
Fig. 5. Impact Energy—Impact Times Quenched and Tempered (SMnC 90)

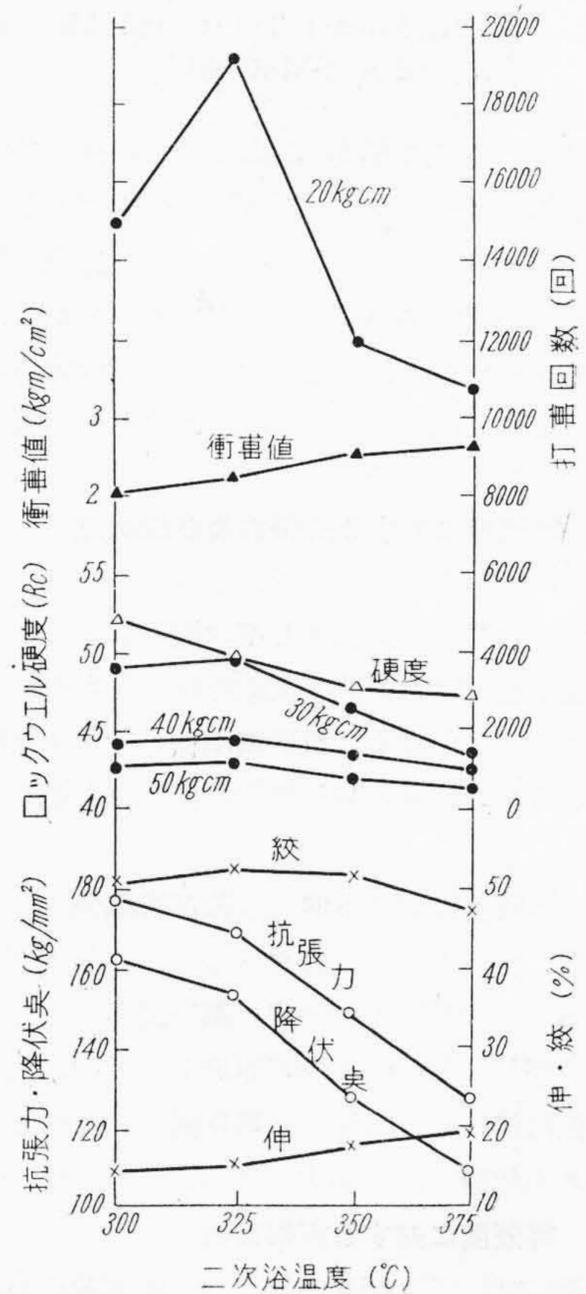


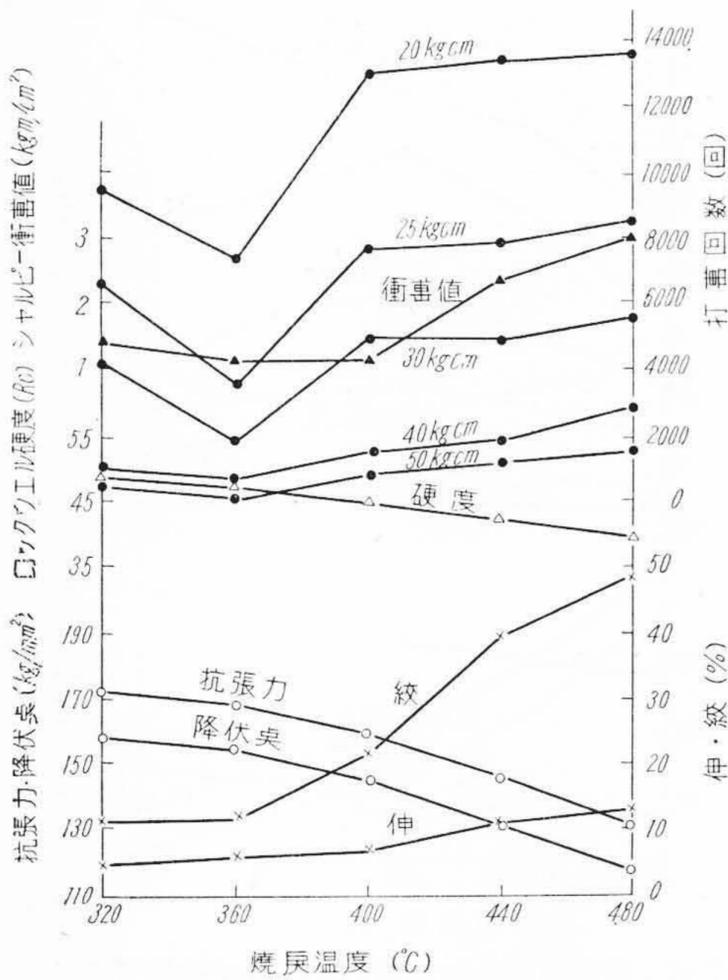
第6図 打撃エネルギー対打撃回数曲線 (SMnC 90) 恒温変態処理  
Fig. 6. Impact Energy—Impact Times Austempered (SMnC 90)

第8図 二次浴温度と打撃回数及び機械的性質との関係(SUP 6)→  
Fig. 8. Relation between Austempering Temperature, Impact Times and Mechanical Properties (SUP6)



第7図 焼戻温度と打撃回数及び機械的性質との関係 (SUP 6)  
Fig. 7. Relation between Tempering Temperature, Impact Times and Mechanical Properties (SUP 6)





第 9 図 焼戻温度と打撃回数及び機械的性質との関係 (SMnC 90)

Fig. 9. Relation between Tempering Temperature, Impact Times and Mechanical Properties (SMnC 90)

て増加する。又二次浴温度が高くなるに従つて伸及び衝撃値は増加するが、絞は 325°C を極大点として二次浴温度が更に高くなると却つて減少する。打撃回数は打撃エネルギーが 20 kg/cm の場合 325°C に極大点がある。打撃エネルギーがそれ以上になるとこの極大点の存在が著しくなくなり、傾向としては二次浴温度の高くなるに従つて打撃回数は減少する。

(3) 等硬度に対する抗張力及び降伏点

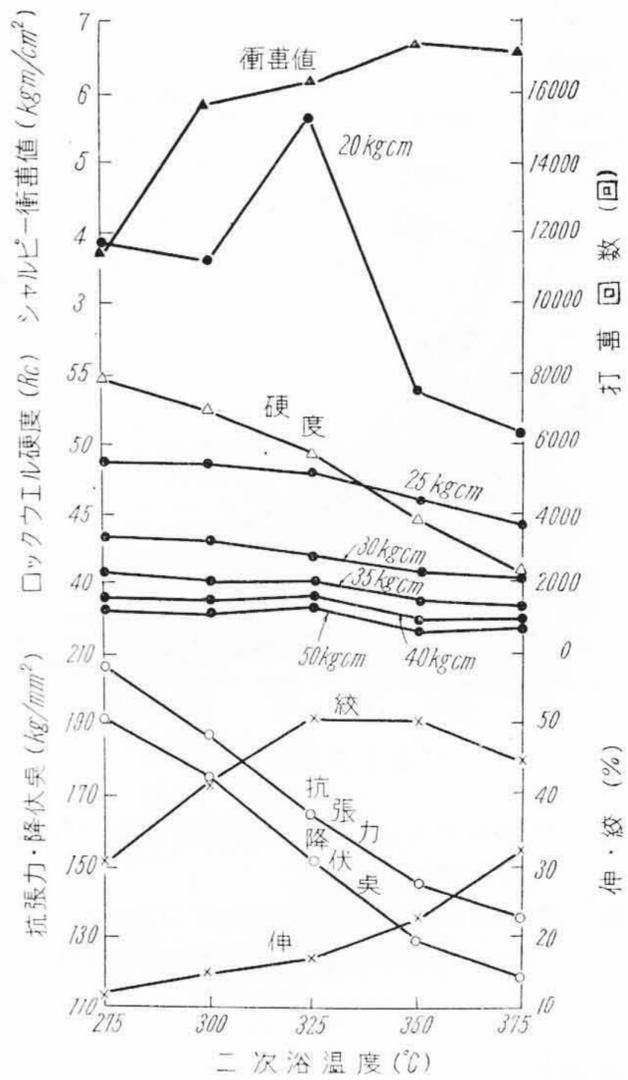
ばね鋼に就いて等硬度に対する抗張力、降伏点に及ぼす両熱処理法の影響を示すと第11図の如くにして、焼入焼戻処理を施した方が恒温変態処理したものに比し抗張性の大なることが判る。強靱鋼に就いて示すと第12図の如くにして、ばね鋼と同様焼入焼戻処理を施した方が大である。

(4) 等硬度に対する伸、絞及び衝撃値

ばね鋼に就いて等硬度に対する伸、絞及び衝撃値に及ぼす両熱処理法の影響を示すと第13図の如くにして、恒温変態処理した方が焼入焼戻処理したものに比して大である。強靱鋼に就いて示すと第14図の如くにして、同様に恒温変態処理した方が大である。

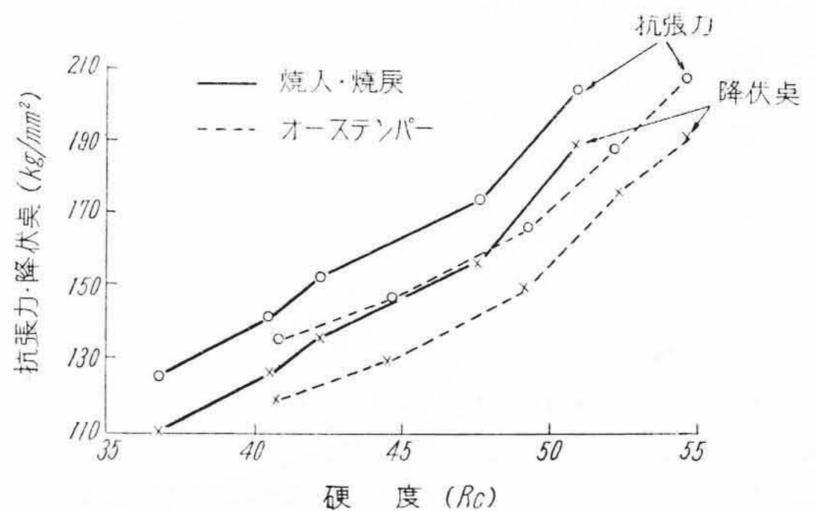
(5) 等硬度に対する打撃回数

ばね鋼に就いて等硬度に対する打撃回数に及ぼす熱処



第 10 図 二次浴温度と打撃回数及び機械的性質との関係 (SMnC 90)

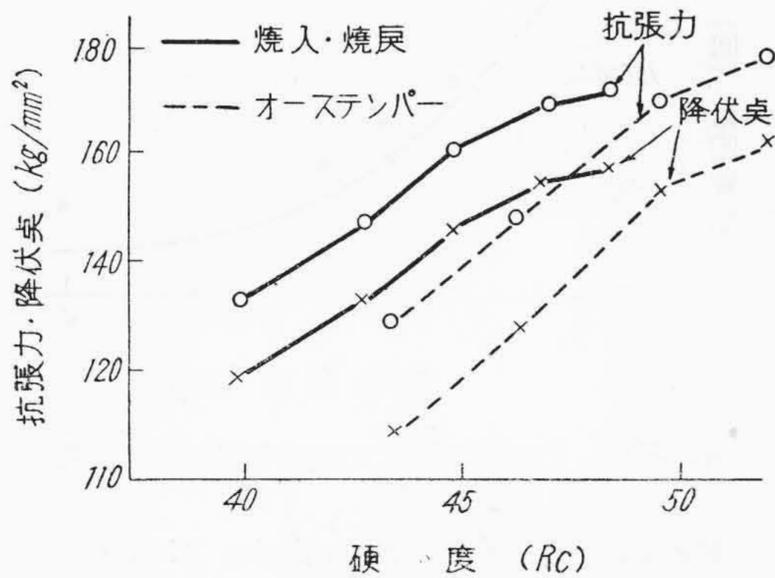
Fig. 10. Relation between Austempering Temperature, Impact Times and Mechanical Properties (SMnC 90)



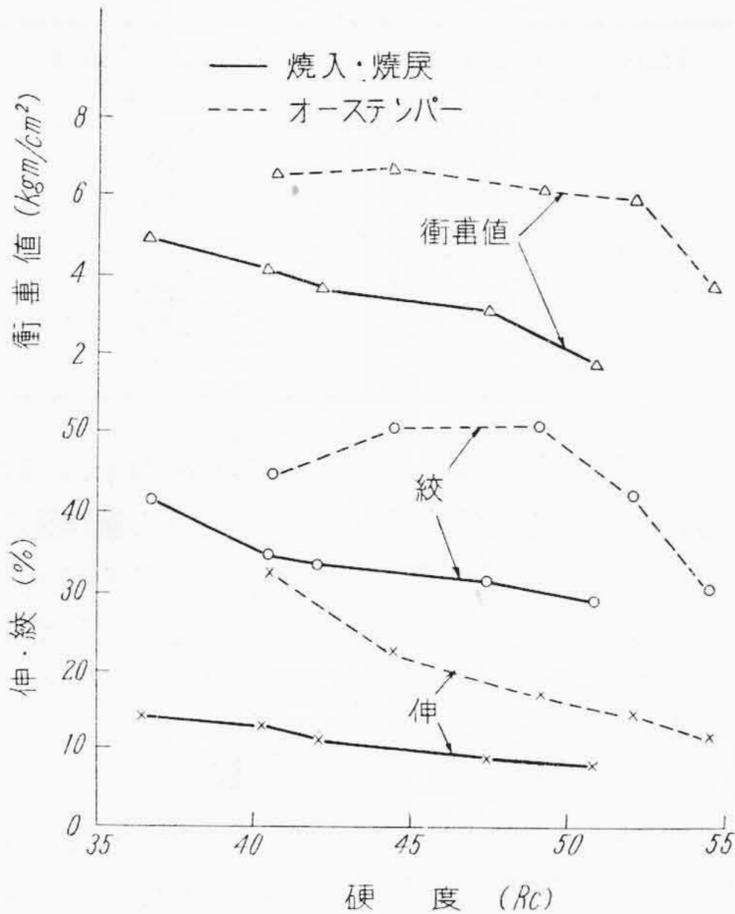
第 11 図 等硬度對抗張力、降伏点曲線 (SUP 6)

Fig. 11. Tensile Strength and Yielding Point against Equal Hardness (SUP 6)

理法の影響を示すと第15図の如くにして、打撃エネルギーが 20 kg/cm の場合、Rc 約 46 以上に於て恒温変態処理した方が耐久性に富むが、硬度がそれ以下の場合、或は打撃エネルギーがより大なる場合、耐久性は焼入焼戻処理した方が大になる。強靱鋼に就いてこれを示すと第16図の如くにして、打撃エネルギーが 20 kg/cm の場合、Rc 約 45 以上に於て恒温変態処理したものが耐久性に富



第12図 等硬度対抗張力、降伏点曲線 (SMnC 90)  
Fig. 12. Tensile Strength, Yielding Point against Equal Hardness (SMnC 90)



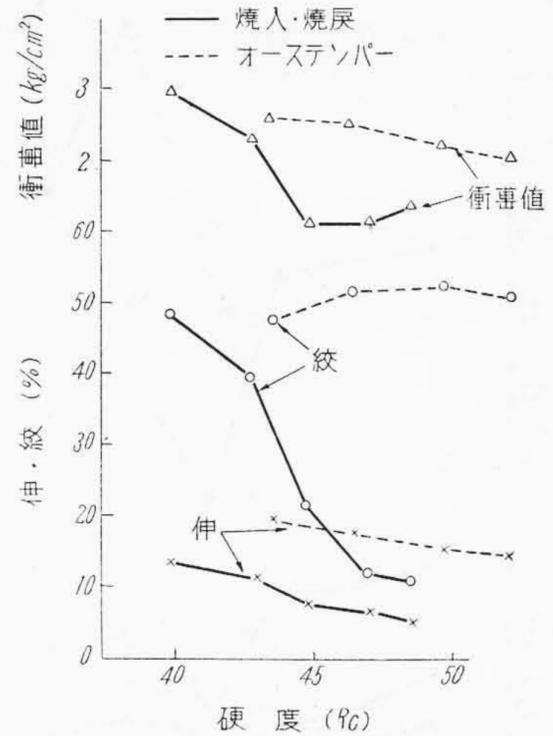
第13図 等硬度対伸・絞及び衝撃値曲線 (SUP 6)  
Fig. 13. Elongation, Reduction of Area and Impact Value against Equal Hardness (SUP 6)

むが、硬度がそれ以下の場合、耐久性は焼入焼戻処理を施した方が大になる。

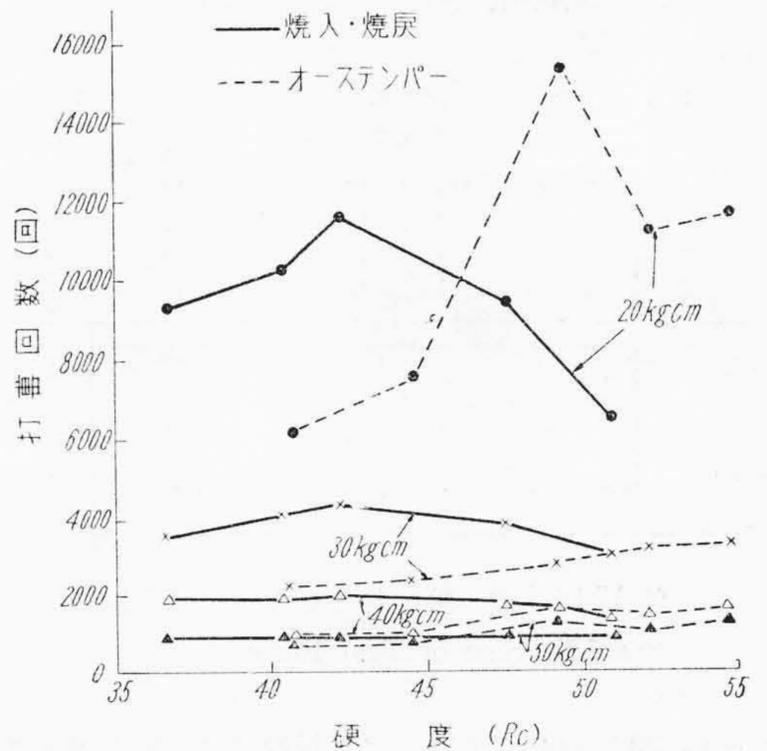
〔IV〕 結果に対する検討

(1) 松村式繰返打撃試験に於て、打撃の瞬間に試験片の切欠表面の彎曲に基く張力を求めると次式の如くなる。尚第17図に示す如く試験片は2点で打撃を受ける。

$$\sigma_{max} = k\sigma_s \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{k\delta_s}} \right)$$



第14図 等硬度対絞、伸及び衝撃値曲線 (SMnC 90)  
Fig. 14. Elongation, Reduction of Area and Impact Value against Equal Hardness (SMnC 90)



第15図 等硬度対打撃回数曲線 (SUP 6)  
Fig. 15. Impact Times against Equal Hardness (SUP 6)

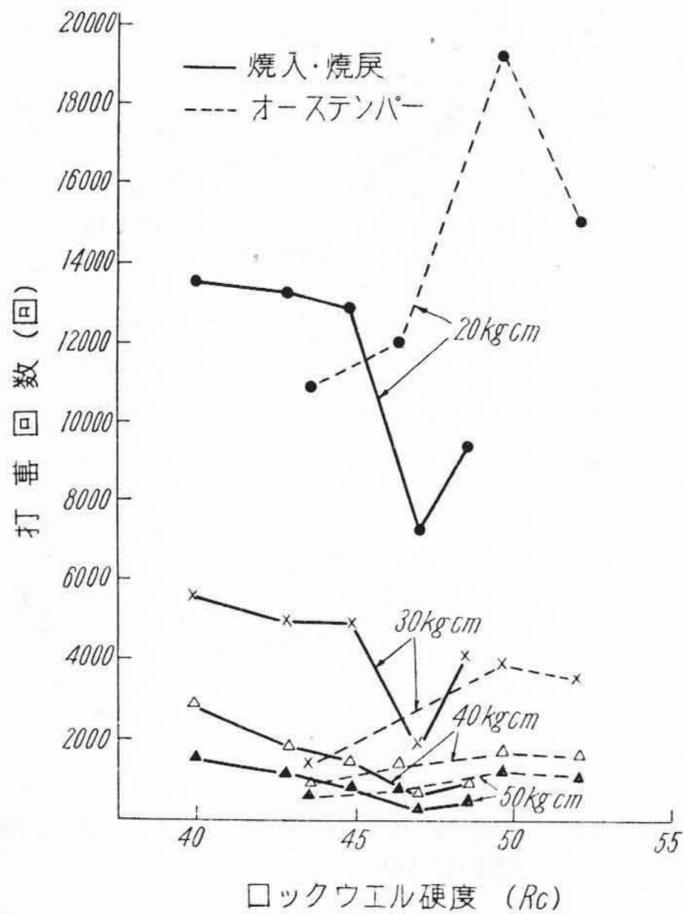
ここに

$$k = \frac{318.1}{400} \quad a = 50 \text{ mm}$$

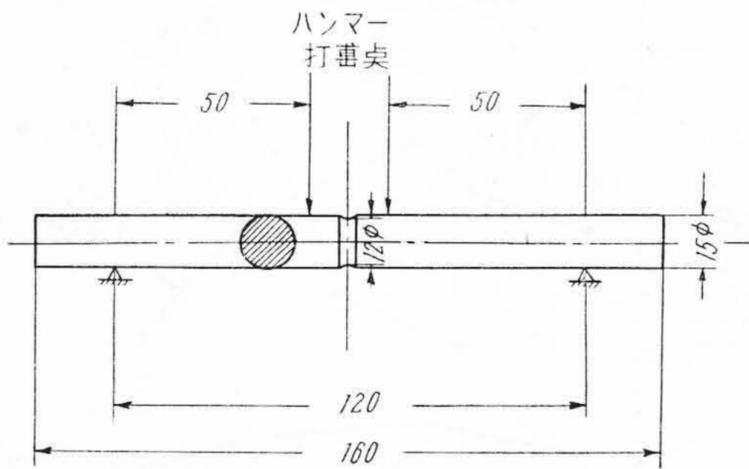
$$\sigma_s = \frac{16aw}{\pi d^3} \quad \omega = 8.09 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{32\omega a^3}{3E\pi d^4} \quad d = 12 \text{ mm}$$

この式を利用して打撃エネルギーが 20~50 kgcm に於ける最大張力を求めると第2表の如くである。鋼種及び熱処理条件の相違にも拘らず張力の値に差は認められない。即ち実験に供した試料の状態に於て、打撃エネルギー



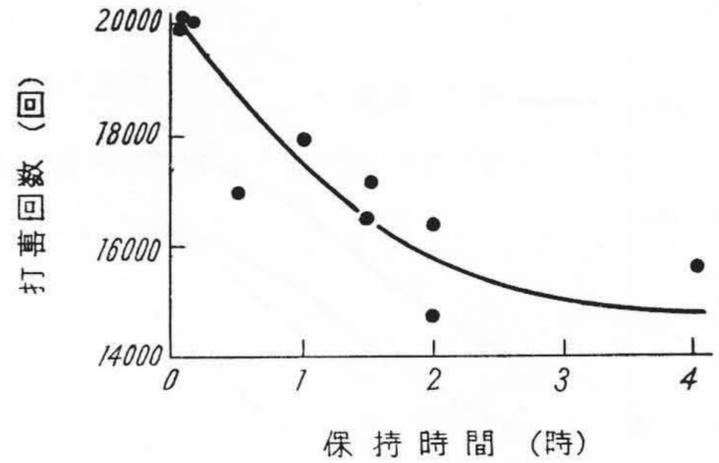
第 16 図 等硬度対打撃回数曲線 (SMnC 90)  
Fig. 16. Impact Times against Equal Hardness (SMnC 90)



第 17 図 試験片形状寸法  
Fig. 17. Size of Test Piece

ギーが 25 kgcm 以下ならば試料の受ける最大張力は降伏点以下にあることが判る。換言すれば打撃エネルギーが 25 kgcm 以下ならば本試験は疲労試験的な性格を帯びているといえる。

(2) 供試材の恒温変態処理に際し二次浴保持時間を何れも 1 時間に限定したが、強靱鋼に就いて保持時間が耐久性に及ぼす影響を調べた。880°C から 325°C の二次浴に焼入、その保持時間を 5 分～4 時間とした場合の硬度は Rc 47.4～50.1 の範囲にあり、変態進行状態にあ



第 18 図 2 次浴に於ける保持時間が打撃回数に及ぼす影響

Fig. 18. Effect of Austempering Time on Impact Times

第 2 表 打撃エネルギーに対する最大張力  
Table 2. Max Tension against Impact Energy

Impact Energy (kg cm)	Max. Tension (kg/mm <sup>2</sup> )
20	93
25	104
30	114
35	123
40	132
45	140
50	148

ることが判る。打撃エネルギー 20 kgcm の下に於ける打撃回数と二次浴保持時間との関係を示すと第 18 図の如くにして、保持時間が短い時は打撃回数が多く、保持時間が長くなるに従って急激に回数が減少する。これは興味ある現象であるが、機会を得て究明する予定である。

〔V〕 結 言

これを要するに恒温変態処理を施した方が硬度にも依るが、純粋な疲労試験的打撃エネルギーの下に於ては普通の焼入焼戻処理を施したものに比して優秀である。

尚恒温変態処理した場合、その二次浴温度或はその保持時間が耐久性に及ぼす影響に就いて究明する予定である。

終に臨み本研究に対し御助言を戴いた日立製作所小柴冶金研究所長に謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 新持：日立評論 33 1075 (1951)