

バネ材料に関する研究 (II)

(昭和24年12月本會講演大會講演にて講演)

堀 田 秀 次*

STUDY ON THE SPRING MATERIALS. (II)

Hideji Hotta

Synopsis :

Following the 1st reports, the author studied on the experiments with four varieties of spring materials i.e. Si-Mn steel, 13% Cr steel, 10% W-Cr steel and W-Cr-V steel, for valves at high temperature and pressure.

The experiments of the spring materials were carried out the measurement of forginability, hardness, tensile test, microstructure, compression test at room and high temperature at about 500°C. The results of experiments were concluded that the best spring material was 10% W-Cr steel, and next was W-Cr-V steel. (18-4-1 type.)

I. 緒 言

高温高圧用バネ材料に関する研究に就て著者は既に第1報¹⁾で述べたのであるが、本報文では之に引續き Si-Mn 鋼, 13% Cr 鋼, W-Cr 鋼の外に, W-Cr-V 鋼に關して荷重實用試験, 材質試験等の諸試験を施行し, 之が性能の比較検討を行つた経過の概要に就て記述する次第である。

II. 供 試 材 料

一般にバネ材料の研究としては、従來研究せられたものは可成りあるが²⁾⁻⁵⁾本研究の如く高温高圧用バルブに用ふるバネ材料の研究は極めて稀である。本研究に使用したバネ鋼材料は次の主成分範圍の Si-Mn 鋼, 13% Cr 鋼, W-Cr 鋼の外 W-Cr-V 鋼である。

- (i) Si-Mn 鋼 (C 0.55~0.65 Si 1.0~1.3 Mn 0.7~1.0%)
- (ii) 13% Cr 鋼 (C 0.3~0.4 Cr 12~13%)
- (iii) 1) 10% W-Cr 鋼 (C 0.4~0.6 W 9~12 Cr 2~4%)
 2) 2% W-Cr 鋼 (C 1.0~1.1 W 1.5~2.0 Cr 1.5~2.0%)
- (iv) W-Cr-V 鋼 (18-4-1 型)
 (C 0.65~0.85 W 15~17 Cr 3.5~4.5 V 0.5~1.0%)

III. 試験の経過並に成績

(1) 鍛造作業

13%Cr 鋼及び 10% W-Cr 鋼は何れも C 0.4% 附近のものにして鍛造によりバネ製品の成形容易である。C 1.09 W 1.87 Cr 1.63% の分析成分を有する鋼材所謂 2% W-Cr 鋼は徑 25mm の丸材を鍛鍊加熱温度約 1,000°C で加熱後 1/2t 空氣鍛で角形板狀に鍛造し得たが、之を莖卷狀に加工の際龜裂を生じ、所要の螺旋狀のバネ製品の形になし得なかつたが、之は C が 1% の高きに達したために因るものと考へられる。此の種 W-Cr 鋼系のもものでは C 量の多寡が鍛造作業の難易に相當影響がありなるべく低目の 0.4% 程度のものが適當であると考へられる。

次に 18-4-1 型の W-Cr-V 鋼系は徑 16mm, 22mm, 30mm 等各種の異なる徑のものを 1/16t. 又は 1/2t. 空氣鍛を以て鍛鍊開始温度約 1,200°C を以て鍛鍊し、所要の寸法 (例へば 6mm×11mm×1,400mm) に鍛延した。この場合、鍛鍊終了温度を約 800°C とした。

鍛鍊開始温度が約 1,300°C のときは温度高過ぎる爲め結晶粒粗大化する缺陷あり。又 1,050°C のときは温度低過ぎる爲適切ならず、約 1,200°C が適當と考へられる。18-4-1 型の鍛鍊温度等の詳細な研究に關しては著者は既に昭和 16 年 6 月の「鐵と鋼」に報告發表⁶⁾した。又鍛鍊終了温度が約 800°C 以下となると、微小な龜裂が発生する虞れがあり、之が其後の螺旋狀加工作業

* 岡野バルブ製造株式會社, 門司工場
 熊本大學工學部, 工學博士

及び繰返圧縮荷重試験等に於て更に擴大し、遂に折損破斷するに到ることあるを以て、特に注意が肝要と考へられる。Si-Mn 鋼に於ては此の虞れが比較的尠い。

(2) 成形加工作業

上記の角形鍛材をコークス爐内で約 1,200°C に加熱し試作の螺旋捲付金具に取付け所定の螺旋状バネに捲いた。この場合にも鍛錬の場合と同様、バネ材の温度が約 800°C 以下となると龜裂を生じ易いから之れ以下とならぬ様に注意することが特に肝要である。一旦螺旋状に成形したものは、所定の寸法、形状に規正した。

(3) 熱処理作業

18-4-1 型の高速度鋼第二種は W 等を多量に含有する爲其の熱傳導率極めて不良の爲、約 850°C で豫熱したのち、約 1,150°C に加熱後主として約 40°C の油中焼入を行ひ其の後約 500°~550°C に加熱後主として大氣放冷した。直接高温の焼入温度の爐中に加熱すると、熱歪で割れることが可成りある。又焼戻後の冷却途中に於て割を生ずることが往々にしてある。之の理由として考へられることは、高速度鋼の表面がもし焼入の際脱炭したとすると、焼戻冷却の際表面層が低炭素となつて居るため、焼戻温度で收縮し、その後冷却途中で膨脹する

ことなく室温に達する。然るに脱炭が内部に迄及ばないから内部は高炭素であり、冷却の途中約 300°C 以下で Ar¹¹ 變態を生じ、膨脹するから收縮と内部膨脹により大なる歪力を生じ之が高速度鋼の強度以上となると龜裂を生ずるに到るものと考へられる。従てバネ材料の表面が脱炭しないやうに特に注意することが肝要である。焼入用の油は可及的に油温を一定に保持することに努めた。

(4) バネ製品としての常温及び高温の荷重實用試験

バネ製品の常温の荷重試験として常温で全圧縮に到る迄 5 回繰返圧縮荷重試験を行ひ、指定荷重迄の壓縮量 (mm) を 30 t. アムスラー式萬能試験機に取付けたる自記々録装置による荷重—伸曲線より實測し、又指定負荷後の壓縮量 (mm) を實測した。又 500°C 附近の高温に於ける使用状態の短期試験としてバルブ内の所定の張込長さにバネ製品をボルトで締付けて壓縮し 450°~500°C で 5hr 保持し高温壓縮を行ひ、冷却後バネの自由長の減少を實測し、所謂ヘタリの程度を調査し良否を判定した。13%Cr 鋼, 10%W-Cr 鋼及び 18-4-1 標準型高速度鋼製各バネ製品の荷重試験成績例は第 1 表及び第 1 圖の通で之が成績一括表は第 2 表の通である。

第 1 表 (其 1) 13%Cr 鋼製バネ製品の荷重試験成績例
(常温荷重) (500°C×5hr 高温加熱後)

試験回数	常温荷重			試験回数	(500°C×5hr 高温加熱後)		
	種別	自由長 (mm)	指定負荷(200kg)迄の壓縮量 (mm)		種別	自由長 (mm)	指定負荷(150kg)迄の壓縮量 (mm)
第 1 回		112.7	43	第 1 回	92.0	33	(全壓縮にて 150kg)
第 2 回		112.0	43	第 2 回	91.8	33	
第 3 回		〃	42	第 3 回	〃	33	
第 4 回		〃	44	第 4 回	〃	33	
第 5 回		〃	44	第 5 回	〃	33	
平均		112.0	43	平均	91.8	33	

(ばね：一内徑……148mm 断面寸法……25.5mm×11.3mm 全捲數……5 有効捲數……3.5)

第 1 表 (其 2) 18-4-1 型製バネ製品の荷重試験成績例
常温荷重 (500°C×5hr 高温加熱後)

試験回数	常温荷重			試験回数	(500°C×5hr 高温加熱後)		
	種別	自由長 (mm)	指定負荷(45kg)迄の壓縮量 (mm)		種別	自由長 (mm)	指定負荷(45kg)迄の壓縮量 (mm)
第 1 回		61.3	13	第 1 回	58.3	12	6
第 2 回		61.2	〃	第 2 回	〃	11	7
第 3 回		〃	〃	第 3 回	〃	12	6
第 4 回		〃	〃	第 4 回	〃	12	6
第 5 回		〃	〃	第 5 回	〃	11	7
平均		61.2	13	平均	58.3	12	6
指定		60.0	13	指定	60.0	13	4

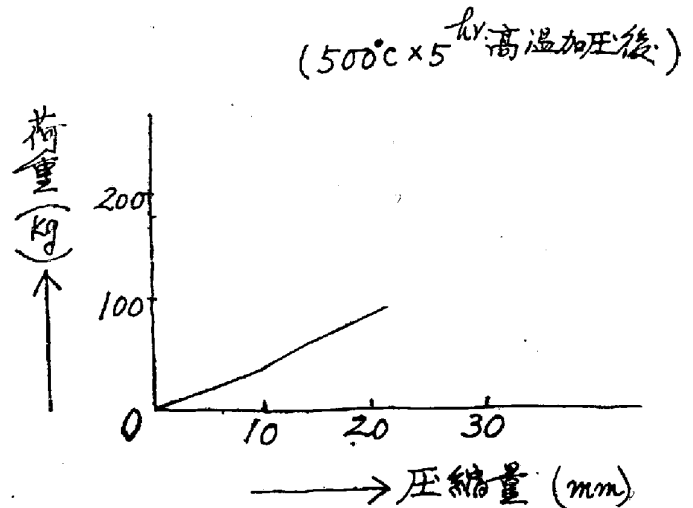
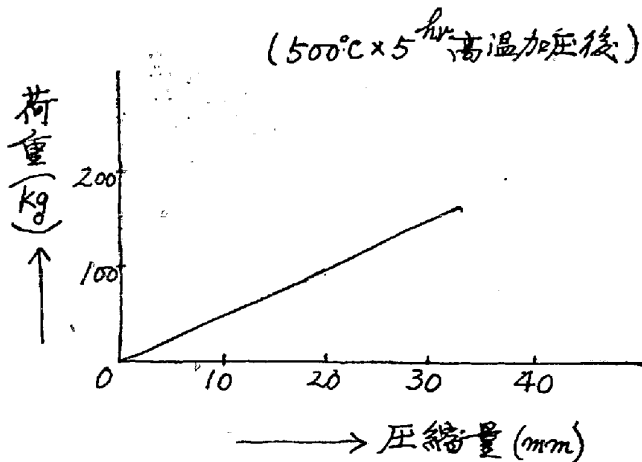
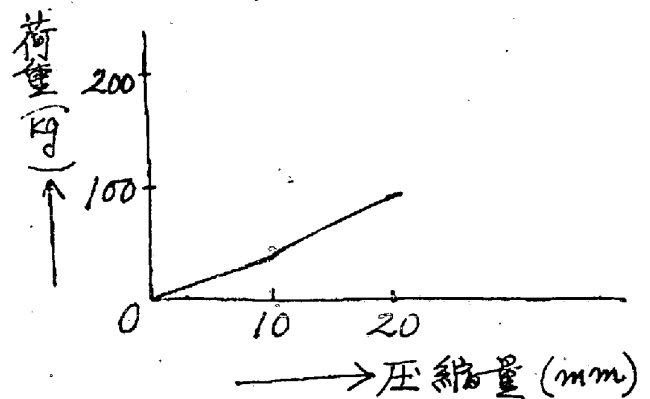
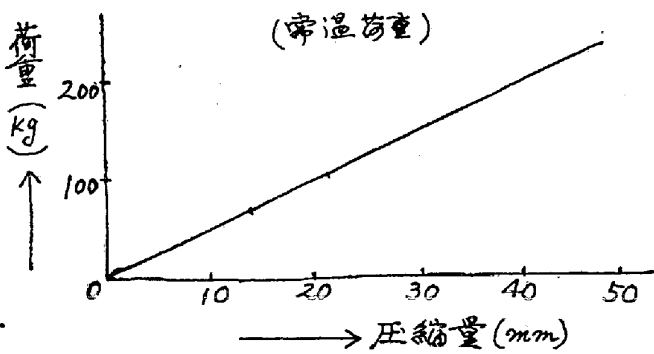
ばね：一内徑……40.5mm 断面寸法……10.8×5.3mm 全捲數……8 有効捲數……5.5

第2表 各バネ製品の高温壓縮荷重試験成績一括表

材 質	熱 處 理	熱間試験前の自由長(mm)	500°C 高温壓縮		減少自由長(mm)
			加熱要領	壓縮後の自由長(mm)	
13%Cr 鋼	1,000°C 空気焼入	112.0	負荷 200kg 又は 150kg の状態で加熱	91.8	20.2
10%W-Cr 鋼	950°C 油焼入 650°C 油焼戻	62.2		61.4	0.8
18-4-1 型	1,000°C 油焼入 550°C 空気焼戻	61.2	負荷 45kg の状態で加熱	58.3	2.9

第1圖(其1) 13%Cr 鋼製バネ製品の荷重—壓縮量曲線

第1圖(其2) 18-4-1 型製バネ製品の荷重—壓縮量曲線



第2表より示さるゝ如く、500°C 附近の高温熱間試験前後に於ける自由長の減少量所謂ヘタリは 13%Cr 鋼最も多く 20.2mm にして、10%W-Cr 鋼は最も少く 0.8mm にして良成績を示し、18-4-1 型高速度鋼は 2.9mm にして 10%W-Cr 鋼に次ぎ良成績を示した。18-4-1 型は鍛錬、成形加工等により微小なる Haircrack 等が発生するときは荷重試験の際之が拡大し遂に折損に到ることがあるから前述の如く、鍛錬成形加工には特別の注意が極めて肝要である。

(5) 素材の熱処理による抗張力試験

Si-Mn 鋼、13%Cr 鋼及び 10%W-Cr 鋼製等の抗張力試験片素材丸棒を夫々第2圖に示す熱処理曲線で熱處

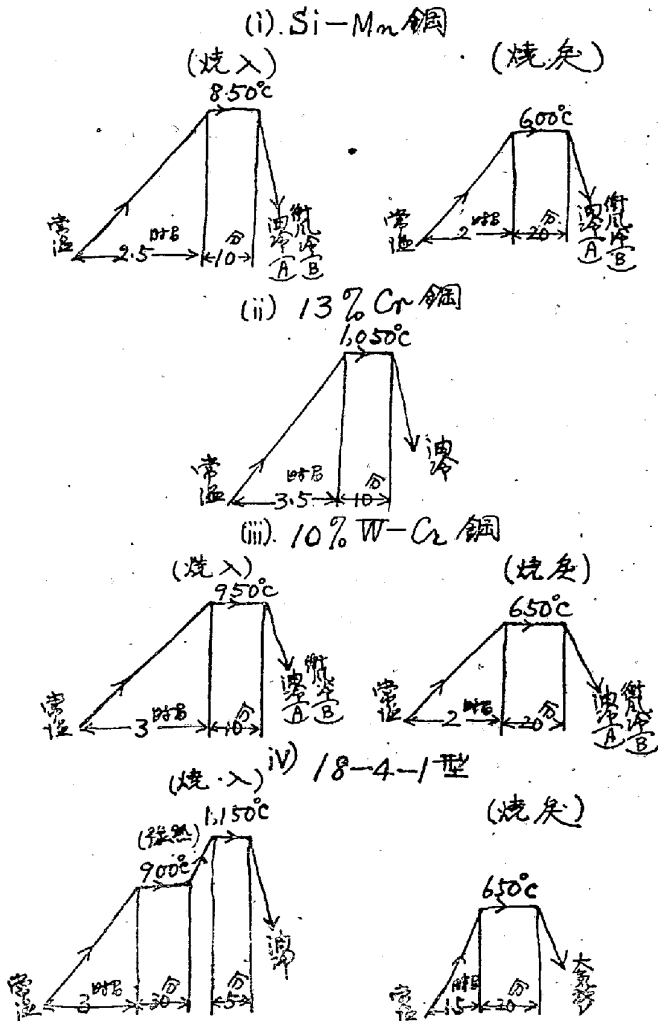
理を行つた。

本熱処理を施したものを JES の形状寸法の抗張試験片に機削の上 30t. アムスラー式万能試験機によつて抗張試験を行つた。之が成績は第3表の通りである。

第3表により JES バネ規格第5種 (SUP5) に相當する Si-Mn 鋼を 850°C 油焼入、600°C 油焼戻のもの降伏點は 96kg/mm²、抗張力は 105.7kg/mm² にして同温度より衝風冷却したものより大であつて、13%Cr 鋼と抗張力略等いが、10%W-Cr 鋼を 950°C 油焼入、650°C 油焼戻のもの降伏點、抗張力は之より極め

第3表 各バネ材の熱処理による抗張試験成績例

鋼種	No.	焼入	焼戻	降伏点 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)
Si-Mn 鋼	2A	850°C 油冷	600°C 油冷	96.0	105.7	22.0
	2B	850°C 衝風冷	600°C 衝風冷	80.7	92.9	23.0
13%Cr 鋼	3A ₁	1,050°C 油冷	—	65.2	103.3	14.0
	3A ₂	—	—	61.0	103.1	14.0
10%W-Cr 鋼	1A	950°C 油冷	650°C 油冷	128.6	134.5	10.6
	1B	950°C 衝風冷	650°C 衝風冷	111.5	126.9	4.5



第2図 各バネ鋼の熱処理曲線

て高く、夫々 128.6kg/mm² 及び 134.5kg/mm² である
 又 10%W-Cr 鋼を 950°C 衝風冷、650°C 衝風冷した
 もの、降伏点、抗張力は夫々 111.5kg/mm²、126.9kg/
 mm² にして、同鋼を衝風冷したものよりも稍々小で
 あるが、Si-Mn 鋼及び 13%Cr 鋼よりも何れも極めて大
 である。

一般にバネ鋼材料の具備すべき主要な条件の一つとし
 て、バネは弾性変形を利用してエネルギーを蓄積し、又
 は衝撃の緩和を目的とするものであるから、弾性的に吸
 収し得る仕事量の大きい程良い譯で、それには弾性限及

び降伏点を高め、又強度の大なること等が必要である。
 この見地より 10%W-Cr 鋼材はバネ材として、特に高
 温用のものとして適切のものといひ得る。

(6) 硬度試験

バネ材料としての Si-Mn 鋼、13%Cr 鋼、10%W-
 Cr 鋼及び W-Cr-V 鋼の上記の熱処理を施したもの、
 ショア硬度試験成績は第4表に示す。

第4表より観るに、一般に Si-Mn 鋼のショア硬度
 は30~33にて最も低く、13%Cr 鋼之に次ぎ平均42にて
 10%W-Cr 鋼は油冷の場合は平均 45 で可成り大で、衝
 風冷の場合は平均 40 である。18-4-1 型の W-Cr-V
 鋼は平均 51 を示し、最高の硬度を示す。一般に同一鋼
 材に於て、油冷の方が衝風冷よりも硬度が稍大である。

(7) 顕微鏡試験

13% Cr 鋼の顕微鏡組織はソルバイト地にクロム炭化
 物が少量存在し、10%W-Cr 鋼のそれは概ねソルバイト
 地に Cr 及び W の炭化物等が少量存在して居る。18-
 4-1 型の夫れはトルースタイト地に W、Cr の炭化物及
 び複炭化物等が存在して居る。

IV: 總 括

上述の研究結果を要約すると次の通である。

(1) 高温高圧用バルブ (パラレル、スライド、ゲー
 ト、バルブ類) のバネ材料として、Si-Mn 鋼、13%Cr
 鋼、W-Cr 鋼の外、18-4-1 型のものに就て、鍛錬、成形
 加工、熱処理と材力の関係を調査し、常温及び 500°C
 高温壓縮荷重試験其の他の材質的調査等を行つた。

(2) バネ材料として、18-4-1 型 W-Cr-V 鋼を鍛造
 する場合には鍛錬温度特に之が終了温度に注意し、その
 後の螺旋状成形加工の加熱等にも注意し、微少な龜裂の
 発生すらなきものを製作することが肝要である。

(3) バネ製品として、500°C 附近の高温壓縮試験の
 結果、13%Cr 鋼は高温壓縮後のバネの自由長の減少量
 最も多く 10%W-Cr 鋼及び 18-4-1 型は極めて少い。
 特に 10%W-Cr 鋼は高温に於ける所謂ヘタリ殆どなき
 程度の良い成績を示した。

第4表 各バネ材の熱処理による硬度測定成績例

鋼種	No.	焼入	焼戻	シロア硬度値	
				5ヶ所の値	平均
Si-Mn 鋼	2A	85°C 油冷	600°C 油冷	33; 33 32; 34	33
	2B	850°C 衝風冷	600°C 衝風冷	29; 30 29; 30	30
13%Cr 鋼	3A ₁	1,050°C 油冷	—	42; 42 41; 42	42
	3A ₂	"	—	41; 42 42; 42	
10%W-Cr 鋼	1A	950°C 油冷	650°C 油冷	45; 46 44; 45	45
	1B	950°C 衝風冷	650°C 衝風冷	40; 40 41; 41	40
W-Cr-V 鋼 (18-4-1 型)	4	1,150°C 油冷	550°C 空冷	50; 52 51; 51	51

(4) 熱処理後抗張試験の結果、Si-Mn 鋼の降伏点、抗張力は夫々 96kg/mm^2 及び 105.7kg/mm^2 、13%Cr 鋼の夫れは夫々平均 63kg/mm^2 及び 103kg/mm^2 にして、10%W-Cr 鋼の夫れは夫々 128kg/mm^2 及び 134.5kg/mm^2 で、バネの必要条件の一主因たる高降伏点は、10%W-Cr 鋼が最高の値を示し良好である。

終りに、本研究は岡野バルブ製造株式会社岡野社長の御懇切な御指導によるものにして深謝すると共に、御懇篤な御鞭撻を賜った九大工學部教授谷村熙博士に感謝し、併せて實驗に助力された社員江淵悟君の勞を多とする次第である。(昭和 24 年 12 月寄稿)

文 献

- 1) 堀田秀次：昭和 24 年 4 月日本鐵鋼協會講演大會講演，講演大要録 p. 19.
- 2) 大和久：マシナリー，12 No. 4 (昭 24.4) 204
- 3) 村川：Tech. 1 No. 5 (昭 23. 8) 9.
- 4) 小西：科學測器，7 No. 4~6 (昭 22.7) 8
- 5) Metal Progress; July, 1947
- 6) 堀田秀次：鐵と鋼，27 No. 6 (昭 16.6) 374