

の DSE が最もよく、Co 10% の DSE がこれにつき、SKD5 はこれら 2 鋼種よりはるかに劣る。

IV. 総括

12Cr-7W-0.5V-5Co (DSE) および 12Cr-7W-0.5V-10Co (DSF) 系の熱間ダイス鋼についての基礎的な特性を調べた結果を要約するとつぎのようになる。

(1) 変態点、比重、比熱、熱膨脹係数などを測定したが、その中で熱膨脹係数の小さいことが特に注目される。たとえば DSF は 20~100°C で $8.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 、20~700°C で $11.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ の値を示す。

(2) 焼戻 2 次硬化は 500~550°C において生じ、焼入温度の高いほど焼戻抵抗は大となる。また Co 量の多い DSF の方が焼入焼戻硬度が高く、焼戻抵抗も大きい。焼入温度は 1050~1100°C の範囲が適正であるのですべての実験において試料のオーステナイト化は 1050°C の温度で行なつた。

(3) 恒温変態曲線の鼻は、DSE では 750°C、15 min、DSF では 750°C、25 min のところにあり、 M_s 点は DSE では 205°C、DSF では 175°C にある。

(4) 600°C の試験温度においては、硬度は DSE Hv 225、DSF Hv 270、引張強さは DSE 93 kg/mm²、DSF 107 kg/mm²、衝撃値は DSE 8 kg m/cm²、DSF 5 kg m/cm² の値を示す。

(5) 丸棒の焼入焼戻変形は、600°C において、直径方向で DSE +0.045%、DSF +0.040%、長さ方向で

DSE 0%、DSF -0.010% である。

(6) 常温衝撃値および磨耗抵抗は、600°C 焼戻において最もよい特性を示す。

(7) 600、650、700°C の各温度において 1000hr までの焼戻時効を行なうと、時間とともに硬度は直線的に減少し、衝撃値もわずかに低下する。またこの温度範囲の時効過程では、 $M_6C + M_7C_3 \rightarrow M_6C + M_7C_3 + M_{23}C_6 \rightarrow M_6C + M_{23}C_6 \rightarrow M_6C + M_{23}C_6 + Fe_2W \rightarrow M_{23}C_6 + Fe_2W$ の炭化物変化が生じている。

(8) ヒートチェックに対する抵抗は SKD5 より良好である。

(9) 高温における酸化抵抗は SKD5 よりはるかにすぐれている。

終りにのぞみ本研究の発表を許可された北社長、いろいろと御教示をたまわつた村上先生、佐藤常務、沢技術研究部長、井田技研部長付にあつくお礼申し上げるとともに、実験に熱心に従事された新山君に深く感謝する。

文 献

- 1) E. A. LORIA: Trans. Amer. Soc. Metals, 54 (1961), p. 31
- 2) Greninger and Troiano: Trans. Amer. Soc. Metals, 28 (1940), p. 537
- 3) J. KOUTSKY and J. JEZEK: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 200 (1962), p. 393.
- 4) R. HOFAGE, W. VOLKEL and R. v. TINTI: Arch. Eisenhüttw., 17 (1943), p. 57

Refractaloy 26 型合金のばね特性について*

上正原和典**・金井良昭**・関不二雄**・内山道良***

On the Spring Properties of Refractaloy 26 Type Alloy.

Kazunori KAMISHOHARA, Yoshiaki KANAI,

Fujio SEKI and Michira UCHIYAMA

Synopsis:

Authors investigated, as part of a study on super alloys for springs, the spring properties at the room temperature or elevated temperature of Refractaloy 26 type alloy, which was treated with various combinations of solution temperature, aging temperature, aging time and cold reduction before or after aging.

Characteristics at the room temperature were determined by tensile, hardness, grain size or bending tests to confirm the spring properties. Characteristics at the elevated temperature were investigated using coil springs treated with an optimum heat treatment and cold working (to develop the superior room temperature properties). For this object, compression coil springs were manufactured and heated from room temperature, with the temperature and deflection registered. To confirm the stability of deflection under load and heating, coil springs

* 昭和38年3月、10月本会講演大会にて発表 昭和39年1月6日受付

** 三菱製鋼株式会社 *** 三菱製鋼株式会社、工博

were heated and cooled cyclically. Also the micro-structure and the process of precipitation were observed in representative treatments with the help of electron-microscope.

Results obtained were as follows:

- 1) Without cold working, a combination of 982°C (solution treatment) and 732°C (aging treatment) develops more favorable mechanical properties in the alloy than other combinations.
- 2) The cold working (up to 50% reduction) before aging improves the low temperature characteristics, but somehow deteriorates the quality of spring at the elevated temperatures. The higher the cold reduction, and the higher the aging temperature, the shorter is the optimum aging time.
- 3) The rigidity is influenced by the aging temperature, while the aging time or cold reduction does not affect it noticeably.
- 4) The proportional limit of twisting is influenced by the temperature and time of aging and also by the cold reduction.
- 5) Several or more cycles are required to estimate the deflectional stability under repeated heating condition, which is mainly affected by the load, temperature of heat cycle or treatments given to the spring.
- 6) Permissible temperature for this alloy is up to about 600°C for one strengthened only by heat treatment, and up to about 500°C for one strengthened by heat treatment and cold working.

(Received 6 Jan. 1964)

I. 緒 言

各種の超合金に関する研究は最近ますます盛んになってきたが、超合金の利用分野の一つにばねがあり、この内高温用のものについては特にその急速な開発が望まれている。このため筆者らもいろいろの超合金のばね的な性能に関する一連の実験を行なっているが、高温用の超合金をばねとして利用する場合には、常温から高温までの特性がばね的に勝てていなければならないことが多いので、実験も常にこの点を考慮して行なっている。

本報告は種々の熱処理(溶体化処理・時効処理)・冷間加工(時効処理前・後の冷間引抜)を施した Refractaloy 26 型合金^{1)~3)} 製各種試料(引張試片・曲げ試片・圧縮コイルばね)についての常温、ならびに高温における各

種機械的性質(引張強さ・降伏点・伸び・絞り・硬さ・曲げ比例限度・振り比例限度・横弾性係数),および常温から高温までの繰返加熱によるばねのセットについての実験結果^{4)~7)}の総括である。

II. 試 料

本実験に用いた試料は 100 kg 高周波誘導式真空溶解炉で溶製した合金を 165mm φ (底部); 205mm φ (頂部)×415mm (高さ)の寸法に真空中で造塊後 20mm φ に熱間鍛造,小径の丸または角に熱間圧延,溶体化処理,冷間引抜,コイルング,時効処理の組合せで行なつたが, Table 1 に化学成分, Table 2 に試片の処理工程と試験の種類, Table 3 に溶体化・時効処理条件と記号, Table 4 に高温実験(横弾性係数・振り比例限度・繰返

Table 1. Chemical composition of specimen. (%)

C	Si	Mn	P	S	Fe	Ni	Cr	Co	Mo	Ti	Al
0.020	0.72	0.57	0.014	0.009	18.23	37.40	17.87	19.12	2.94	2.62	0.08

Table 2. Treatments of specimens and kinds of tests.

Treatments of specimens	Tests
Solution treatment	Tensile properties, hardness, grain size
Solution treatment→Aging	Tensile properties, hardness, grain size, Proportional limit in bending
Solution treatment→Cold drawing→Aging	Tensile properties, hardness, grain size
Solution treatment→Aging→Cold drawing	Tensile properties, hardness, grain size
Solution treatment→Coiling→Aging	Rigidity & proportional limit of twisting at high temperature, reversed cyclic heating
Solution treatment→Cold drawing→Coiling→Aging	Rigidity & proportional limit of twisting at high temperature, reversed cyclic heating

Table 3. Heat treatment and codes of specimens.

Solution treatment ¹⁾		Aging treatment ²⁾					
Temperature (°C) ³⁾	Time (hr)	Temperature (°C) ⁴⁾	Time (hr)				
			0.5	2	9	44	200
982 (1800° F)	2	649 (1200° F)	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
/"	/"	732 (1350° F)	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
/"	/"	816 (1500° F)	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
/"	/"	899 (1650° F)	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5
1149 (2100° F)	2	649 (1200° F)	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5
/"	/"	732 (1350° F)	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5
/"	/"	816 (1500° F)	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
/"	/"	899 (1650° F)	H 1	H 2	H 3	H 4	H 5

Rem. 1) Specimens were quenched in oil after solution treatment.

2) Specimens were cooled in air down to room temperature after aging treatment.

3) Temperatures were controlled within $\pm 13^\circ\text{C}$.

4) Temperatures were controlled within $\pm 8^\circ\text{C}$.

Table 4. Dimensions of coil spring.

Wire dia. (mm)	4.0	Total number of coils	7.5
Coil dia., outer (mm)	30.0	Effective number of coils	5.5
Coil dia., mean (mm)	26.0	Direction of coil	Righthand
Free length (mm)	101	Type of ends	Squared & ground

し加熱特性) 用コイルばねの諸元を示す。

III. 実験方法

1. 引張試験 (常温)

長さ約 300mm の丸断面試片をそのまま容量 10 t (最大 50 t) のアムスラー型材料試験機にかけ、常温における引張強さ・降伏点・伸び・絞り (標点距離は JIS Z 2201, 2号により決定) の測定を行なった。

2. 硬さ試験 (常温)

引張試片の場合はその一端より引張試験施行前に硬さ測定用試片を採取しその横断面について、曲げ試片の場合は塑性変形を生じていない部分についてヴィッカーズ硬度計により荷重 30 kg の下で常温における硬さを測定した。

3. 結晶粒度試験 (常温)

硬さ測定用試片について JIS G 0551 にしたがってオーステナイト結晶粒度の測定を行なった。

4. 曲げ試験 (常温)

長さ約 100mm の 4mm ϕ 試片に、容量 300 kg のアムスラー型材料試験機により、支持点間距離 30mm, 加荷点間距離 70mm の条件で試片中央部 30mm の間に均一な曲げモーメントが生ずるようにして荷重を加えると同時に、1/100mm 目盛のダイヤルゲージにより撓みを測定して、荷重-撓み曲線を描いた。

5. ばね撓み試験 (高温)

容量 150 kg (最大 1.5 t を改造) のクリープラプチャー試験機を用い、環状電気炉内ではばねに圧縮荷重が加わるよう取付け、荷重を加えたまま昇温し (約 $21^\circ\text{C}/\text{min}$)、プルロッドを通じて 1/100mm 目盛、50mm ストロークのダイヤルゲージで撓みを、またばね両端のばね座に固定した Pt-PtRd 熱電対により温度を側定し、温度-撓み曲線を求めた。

6. ばね繰返加熱実験 (常温-高温)

容量 150 kg (最大 1.5 t を改造) のクリープラプチャー試験機の保持装置 (試料に圧縮荷重がかかるよう設計) に試料 (圧縮コイルばね) を取付け、これに荷重を加えた状態で直接交流を通電 (溶接用トランスを使用; 容量 12kVA, 1次 200V, 2次 11~6V) し、ある温度まで加熱する。ただし測温はテンピルスティック (Tempil Corp. 製) を用い、試料の中央のコイル表面について行なった。予定の温度に達した瞬間に止電し、試料の温度が 50°C に低下するまで放冷する。ただしこの場合の測温は試料の中央のコイル表面に接して置かれた Pt-PtRd 熱電対によつて行なった。試料の温度が 50°C になると同時に再び通電し、上記の操作を繰返し (~30 回)、この間における試料の撓みの変化を 1/100mm 目盛のダイヤルゲージで読取つた。

7. 組織 (常温)

代表的処理を施こした試片の組織を電子顕微鏡により観察した。

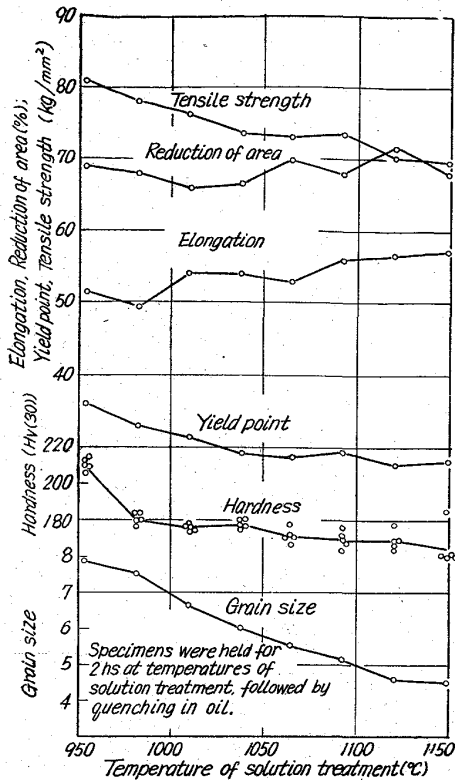


Fig. 1. Effect of the temperature of solution treatment on the tensile properties, hardness and grain size.

IV. 実験結果

1. 引張試験・硬さ試験・結晶粒度試験

A. 溶体化処理試片による実験結果

6.25mm φ 熱間圧延材を冷間引抜により 6.0mm φ に寸法を揃え、長さ約 300mm に切断して 954~1149 °C × 2hr (8段階) 加熱の溶体化処理を行なつて引張試験・硬さ試験・結晶粒度試験を行なつた。Fig. 1 にこの結果を示すが、溶体化温度が上昇すると引張強さ・降伏点は低下し、結晶粒度は粗大化する。硬さは 950~980 °C で急減するがそれより高い温度では変化は少ない。一方、伸びはやや増加の傾向がみられるが、絞りほとんど変わらない。以後の溶体化処理温度は 982°C, 1149 °C の2段階だけとした。

B. 溶体化一時効処理試片による実験結果

6.25mm φ 圧延材に Table 3 に示す溶体化処理温度2段階、時効処理温度4段階、時効処理時間5段階、計40種類の熱処理を施し、引張試験・硬さ試験・結晶粒度試験に供した。Fig. 2 にこれを示す。

引張強さをみると時効温度の低いAあるいはEは数百hrの長時間の時効処理によつて初めてその最高値がえられるが、B、Fは数時間~数十時間で最高値が得られる。C、Gのように時効温度がやや高くなると数時間で最高

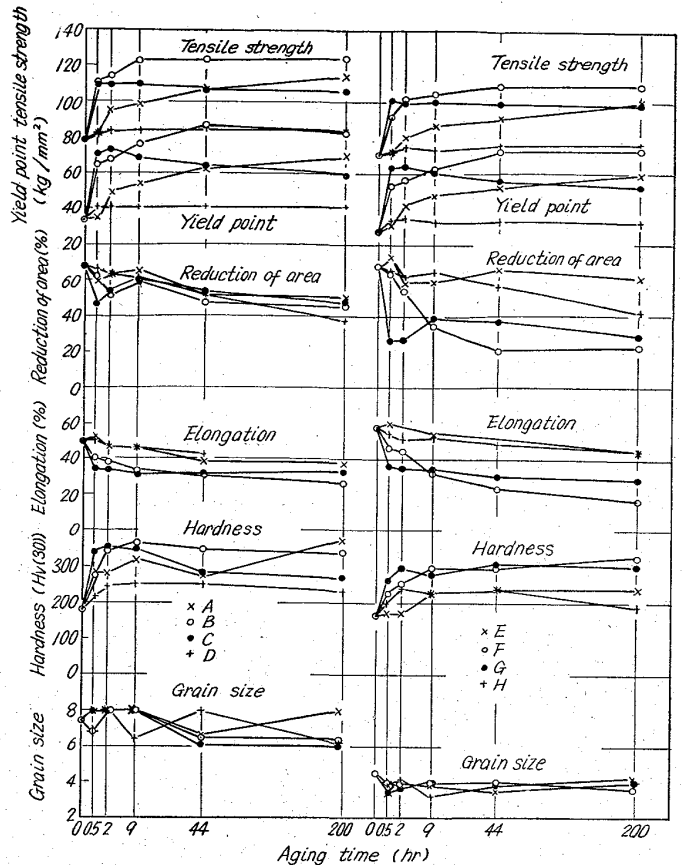


Fig. 2. Effect of the heat treatment on the tensile properties, hardness and grain size of A~H treated wire.

値を示し、数十時間にもなると低下の傾向が現われる。D、Hになると 0.5 hr 以降ではほとんど変化がみられない。また溶体化処理温度の影響をみると A~D の方が E~H より 10~15 kg/mm² 高くなつている。

降伏点・硬さの傾向は引張強さの場合と同様なことがいえる。絞り・伸びは数値的には引張強さと逆の傾向になつてはいるようだが、圧延ままの断面であるためはつきりとはつかまえない。結晶粒度は時効処理温度・時間とは無関係で、A~D は No. 6~8, E~H は No. 3~5 となつている。

C. 溶体化—冷間引抜—時効処理試片による実験結果 (1) 軽度の引抜率による実験

ばねなどの成形工程においてはなんらかの塑性変形を伴うが、これが時効処理後の機械的性質・結晶粒度にどのような影響を及ぼすかを調べるため、6.25mm φ 圧延材を 982°C × 2hr 油冷の条件で溶体化処理後 6.0mm φ に冷間で引抜き (引抜率 9.3%)、時効温度4段階、時効時間5段階の組合せ (A1~5, B1~5, C1~5, D1~5) で時効処理を施し、引張試験・硬さ試験・結晶粒度試験を行なつた。Fig. 3 にその結果を示す。これによると傾向としては冷間引抜きを施さない場合と類似している

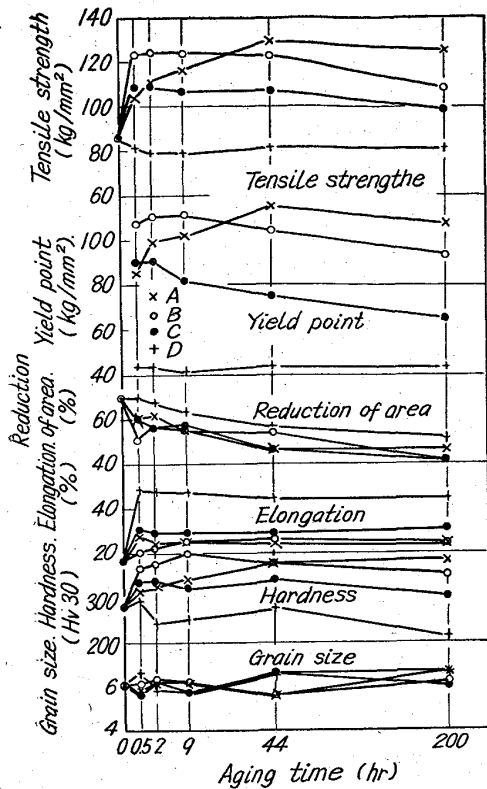


Fig. 3. Effect of heat treatment on the tensile properties, hardness and grain size of slightly cold drawn (9.3% reduction, before aging) wire.

が、絶対値においては多少の変化をみせている。すなわち時効温度の低いものは冷間加工により引張強さ・降伏点は高く、伸びは少なくなっている。また結晶粒度は全般的に粗大化している。

(2) 高度の引抜率による実験

冷間加工を積極的に施して時効処理後の諸性質の向上をはかる目的で 6.25mm φ 圧延材を 982°C × 2hr 油冷の条件で溶体化処理後 20~80% 間の種々引抜率で冷間引拔を行ない、時効温度 3 段階、時効時間 5 段階の組合せ (A1~5, B1~5, C1~5; Dは除外) で時効処理を施し、引張試験・硬さ試験・結晶粒度試験 (ただし A1~5, C1~5 は硬さ試験だけ施行) を行なった。Fig. 4~5 にこれを示す。

Fig. 4 をみると加工率の高い場合ピークは短時間側に移行し、時効温度の高いときはこの傾向は顕著であつて、816°C の時効処理を行なった加工率 60% 以上の試片は硬さのピークが現われず、かえつて減少している。

また Fig. 5 に示した引張強さをみると Fig. 2 あるいは Fig. 3 に比べて格段の上昇をみせ、また加工率の高いものほど最初の硬さは高いが 50% を超えると時効時間の増加とともに激減する。降伏点は測定できたポイントは約半数であるが、これも Fig. 2, あるいは Fig.

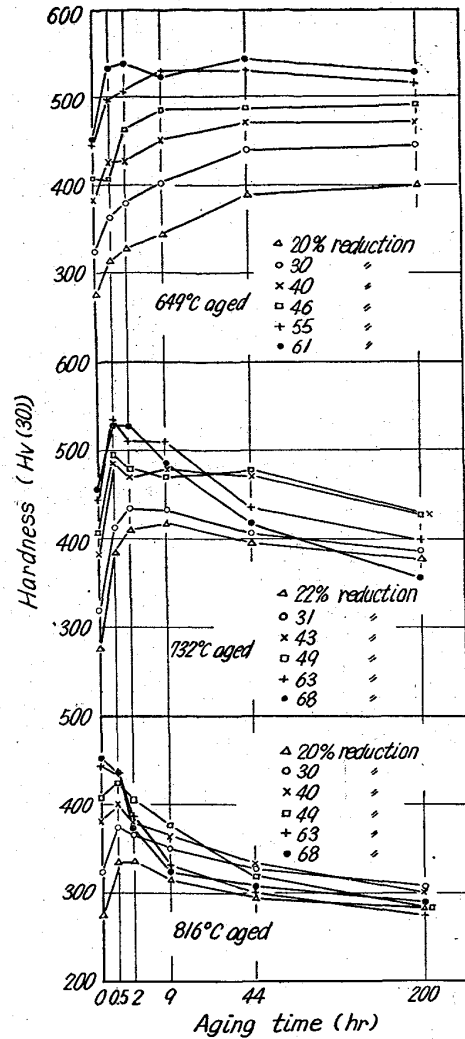


Fig. 4. Effect of cold drawing on hardness of A, B and C treated wire.

3 に比べ非常に高い値を示し、50%以下ならば加工率の高いものほど有利であることがわかる。絞り・伸びは Fig. 2~3 に比べてきわめて低く、また加工率の高いものほど低い。硬さについては引張強さの場合とほぼ同様なことがいえる。結晶粒度は軽度の引抜率によつて一旦粗大化したものが加工率の上昇につれ元の値に復帰する傾向をみせている。

D. 溶体化一時効処理—冷間引拔試片による実験結果 6.25mm φ 圧延材に A5, B3, C1 処理を施した後、40%までの種々の引抜率で冷間引拔を行ない引張試験・硬さ試験に供した。Fig. 6 にその結果を示す。これによると 25% の引抜率で伸びが 5% 程度にまで減少し、それ以上の高率の加工は困難である。また硬さの増加はわずかであるが、引張強さは加工率とともに増し、冷間加工後時効処理したものとほとんど同じ強さのものがえられる。

2. 曲げ試験

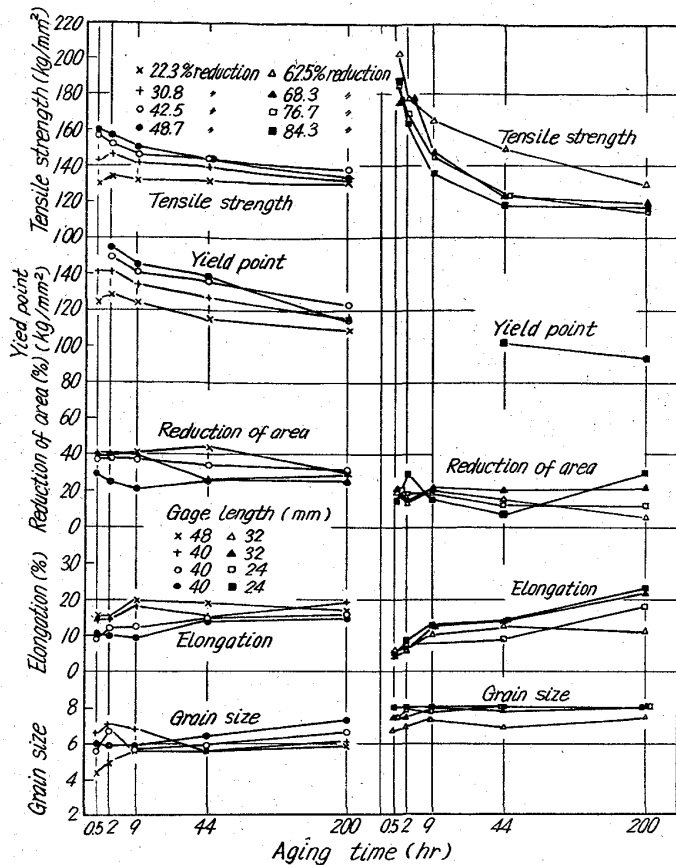


Fig. 5. Effect of cold drawing on tensile properties, hardness and grain size for B treated wire.

4mm #引抜材 (4.00±0.02mm×100mm) に Table 3 の熱処理 (A1~5, B1~5, C1~5, D1~5, E1~5, F1~5, G1~5, H1~5) を施し、曲げ試験装置により曲げ比例限度を測定した。Fig. 7 にこれを示す。ここに示された傾向は Fig. 2 の引張強さ・降伏点などと同じである。

3. ばね撓み試験

ばねにある荷重をかけておき、約 21°C/min の速度で加熱した際の温度-撓み曲線群を応力-撓み曲線にプロットし直し、横弾性係数・振り比例限度を求めた。ただし応力は Wahl の応力修正係数 K^* を 1.23 とし算出した。

A. 溶体化処理-コイルばねによる実験結果

982°C および 1149°C ×2hr 油冷の溶体化処理を施した材料をコイルばねにし、ばね撓み試験を行なつてえられた横弾性係数および振り比例限度と試験温度との関係を Fig. 8~9 に示す。これによると横弾性係数では 982°C で溶体化したものより 1149°C で溶体化したものが

* Wahl の応力修正係数

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

C = コイル径/線径

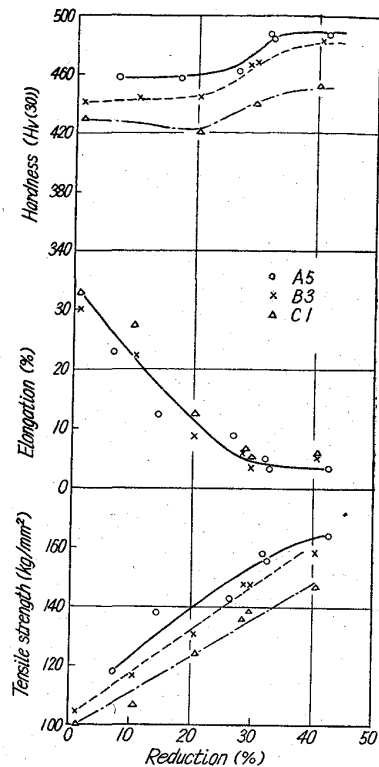


Fig. 6. Effect of cold drawing after aging on tensile properties and hardness of A5, B3, and C1 treated wire.

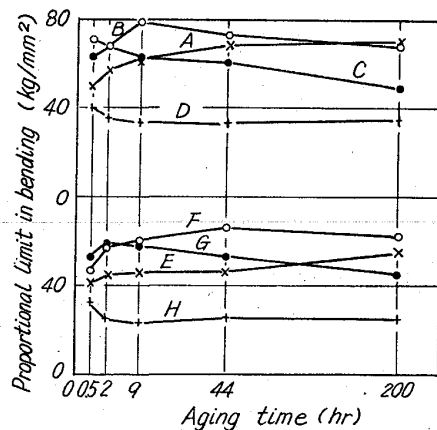


Fig. 7. Effect of heat treatment on the proportional limit in bending of A~H treated square wire.

約 500 kg/mm² 小さい値を示すが、ほとんどばらつきの範囲と考えられ、また加熱温度の上昇とともに直線的に減少することがわかる。また振り比例限度は 500~600°C くらいまではほとんど変化していないが、溶体化温度の低い方が比例限度は高くでている。

B. 溶体化-コイルばね一時効処理による実験結果

Table 3 にしたがつて溶体化-一時効処理を行なつたコイルばねの撓み試験を行ない、横弾性係数および振り比

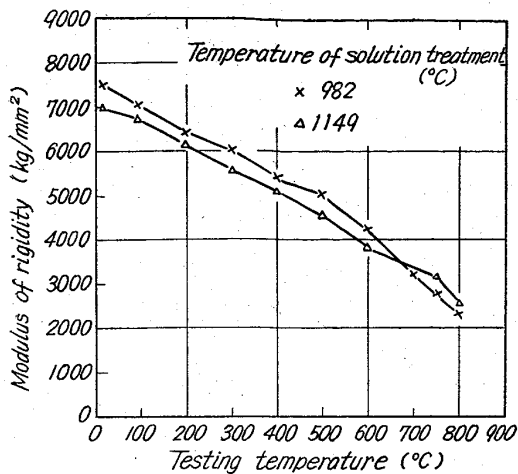


Fig. 8. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity of solution treated coil spring.

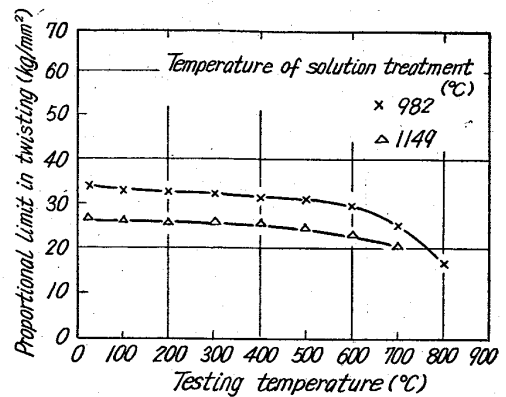


Fig. 9. Effect of the testing temperature on the proportional limit of twisting of solution treated coil spring.

例限度と試験温度との関係を求めると Fig. 10~11がえられる。これによると横弾性係数は一般に温度の上昇とともに低下し、時効温度の高いものにあつては特に顕著である。溶体化温度・時効時間の影響は明白ではない。

振り比例限度は 500~600°C まではあまり変化しないで 600~700°C から急激に減少するが、時効温度の高いものには 700°C くらいまでそれほど変わらないものもある。時効温度が高くなると比例限度は一般に低下するが、時効温度 649°C の場合は時効時間 9 hr までは急激に比例限度が上昇し、以後ゆるやかに 200 hr にいたつても上昇を続ける。732°C の場合は初めは比較的高く、9 hr で最高であるが 44 hr までに底をつき、それ以上の変化は少ない。816°C, 899°C は 0.5~2 hr まで急激に上昇し、それ以降は変動が少ない。溶体化温度が高い場合は低い場合より比例限度はやや下がっている傾向がある。

C. 溶体化—冷間引抜—コイルング—時効処理ばねによる実験結果

冷間加工後の時効処理時間は常温の性質で述べたように溶体化処理後時効処理した場合より短くなる。そこで撓み試験に供するばねは 649°C × 44hr, 732°C × 2hr, 816°C × 0.5hr の処理を行なつた。10~80%の冷間加工を行なつた後にこれらの時効処理をした試片の加熱温度と横弾性係数との関係を Fig. 12 に、振り比例限度との関係を Fig. 13 に示す。これらによると横弾性係数は冷間加工率によりほとんど影響されず、冷間引抜を行なわない Fig. 10 の

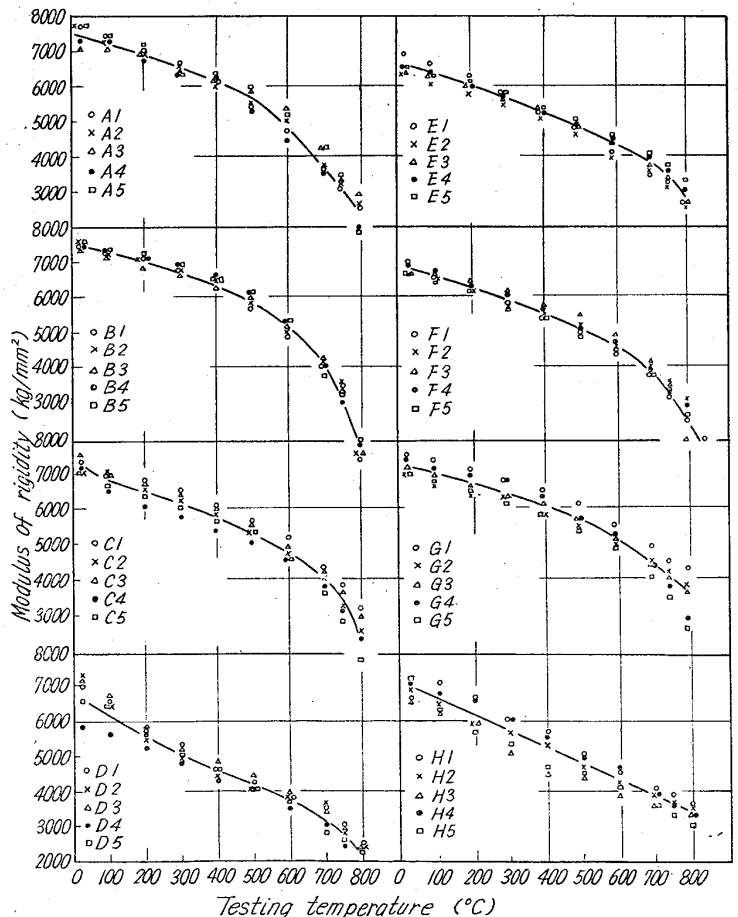


Fig. 10. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity of solution treated and aged coil spring.

A, B, C の横弾性係数と同じである。振り比例限度については試片 A, B は冷間加工率が増加するにしたがつて高くなるが、冷間加工率 65% で最高となりそれ以上加工率が増加すると減少する。試片 C も加工率とともに

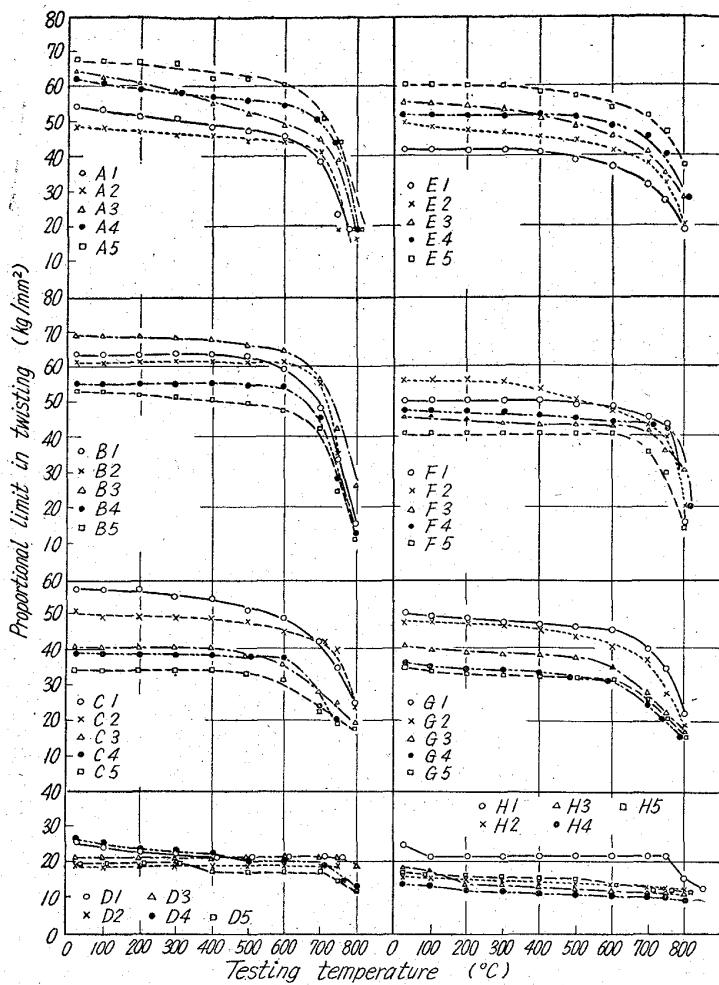


Fig. 11. Effect of the testing temperature on the proportional limit of twisting of solution treated and aged coil spring.

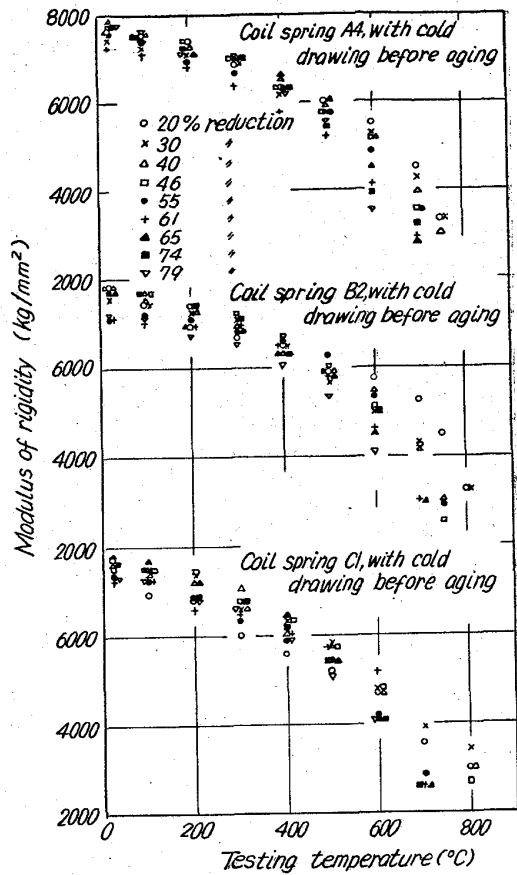


Fig. 12. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity of coil spring, cold drawn before aging.

振り比例限度は増加するが、加工率74%で最高となる。また冷間加工率が約 50% 以上になると加熱温度500°C 以上での振り比例限度の減少率は大きく、冷間加工率の低いものよりもかえって低下する。したがって冷間加工後時効処理を行なったときは振り比例限度は増加するが最高使用温度は 500°C である。

D. 溶体化—時効処理—冷間引抜—コイルングばねによる実験結果

溶体化処理後の時効処理時間は 649°C では 200 hr, 732°C では 9 hr, 816°C では 0.5 hr が適当であることは Fig. 6 で明らかであるが、これらの時効処理を行なった後、40%までの冷間加工を行なった試片の加熱温度と横弾性係数の関係を Fig. 14 に、振り比例限度を Fig. 15 に示す。これらによると時効処理を行なった後に冷間加工を行なうと横弾性係数が著るしく減少することがわかる。したがって成形のための曲げ加工は時効処理前に行なうのが適当である。一方振り比例限度については、A処理ばねは 45~55 kg/mm²まで減少する。ま

たB、C処理ばねは冷間加工率の増加とともに高くなるが、加工率 30% 以上では 500°C 以上で激減する。

4. ばね繰返し加熱実験

耐熱合金の高温強度の目安としては従来熱間引張り・クリープ・ラプチャー・衝撃・硬さ試験などが行なわれているが、試験時における熱的履歴はほとんど1回限りである。ところでばねのような部品にあつては何回となく熱的履歴(以下熱サイクルと呼ぶ)が繰返される場合があり、ばねにおいてよく知られているセットの現象に類似した効果が予想される。そしてこれは最終熱処理としての時効処理、および熱サイクルの過程における温度・時間に応じた析出によつて大きく左右されることは想像にかたくない。また一方において耐熱合金をきわめて短時間に加熱(数十~数百°C/sec)した際の強度についての研究が進められており⁸⁾、部品としてのばねについてもある程度の急速な加熱による実験が望まれる。

筆者らは時効処理後のばね性能の使用中の熱サイクルに対する安定度の規準を決定する一助としてこれらのう

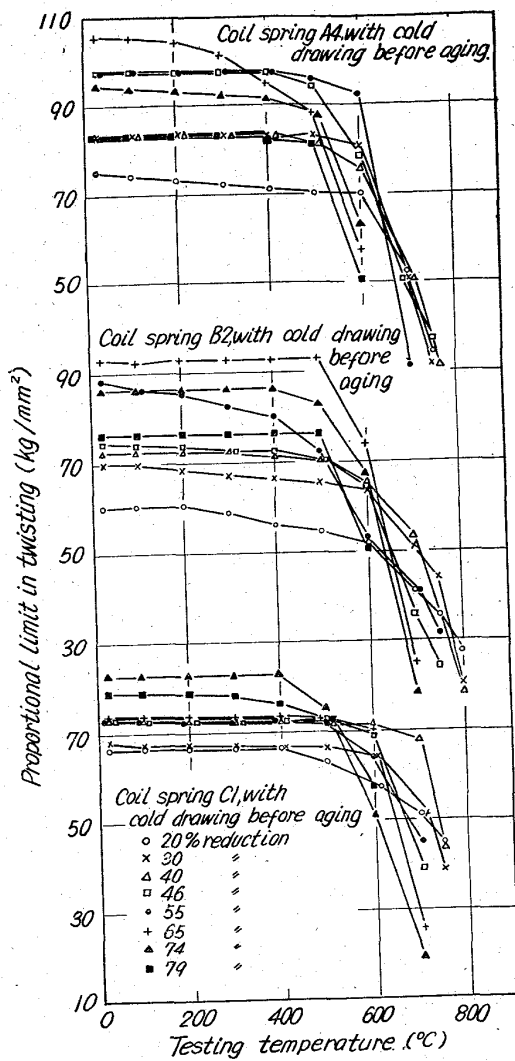


Fig. 13. Effect of the testing temperature on the proportional limit of twisting of coil spring, cold drawn before aging.

最も代表的な熱処理・冷間加工を施した圧縮コイルばね (B 3 処理ばね, および時効処理前に65.2%の冷間引抜加工が施されているB 2 処理ばね) を用い, 一定荷重 (応力) の下でばねに直接交流を通すことにより急激に加熱 (数十°C/sec) する方式で熱サイクルを加えた際の撓みの変化について実験を試みた。

A. 溶体化—コイルリング—時効処理ばねによる実験結果

(1) セット量に及ぼす上限温度・応力の影響

繰返し加熱30回後のセット量 (0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10%) をパラメーターとして加熱上限温度と応力との関係を実験結果から求めると Fig. 16 がえられる。これをみると約 400°C 位までは許容応力はほとんど変わらないが 400~500°C くらいから急に減少する。

(2) セット率におよぼす上限温度・応力の影響

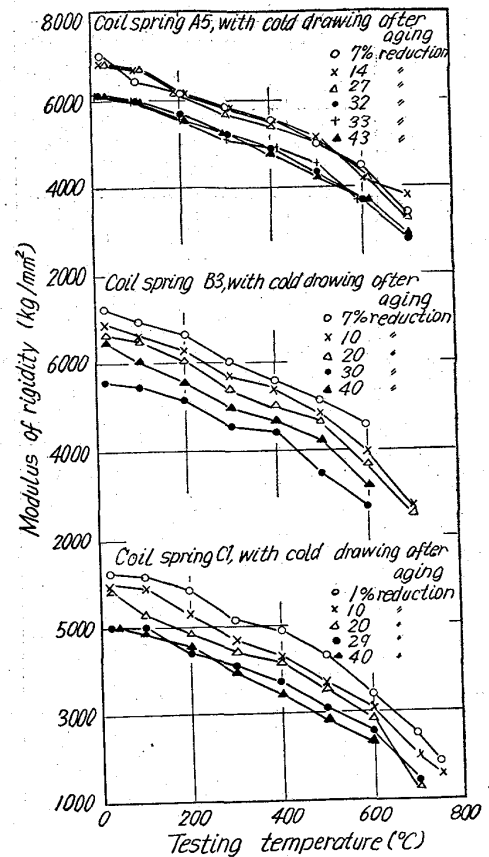


Fig. 14. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity of coil spring, cold drawn after aging.

繰返し加熱によるセットは繰返しの初期において著しく, これをあらかじめ設計の中に折込むならば各サイクルごとのセット量 (以下セット率と呼ぶ) だけが問題となる。そこで繰返し加熱 30 回でのセット率 (0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1%) をパラメーターとして上限温度と応力との関係を実験結果から求めると Fig. 17 がえられる。セット率だけを問題とした場合にはもちろんセット量だけを問題にした場合に比べて一層高い応力段階での設計が可能となるが, 温度についての制限は両者ともさほど変わらない。

B. 溶体化—冷間引抜—コイルリング—時効処理ばねによる実験結果

(1) セット量におよぼす上限温度・応力の影響

Fig. 18 に示すように, 冷間加工工程が加わった場合は低温域での許容応力は非常に高くなっているが, 温度範囲はむしろ狭くなっている。

(2) セット率におよぼす上限温度・応力の影響

Fig. 19 に示すようにこの場合も温度範囲にほとんど変化はなく, 応力範囲は急増している。

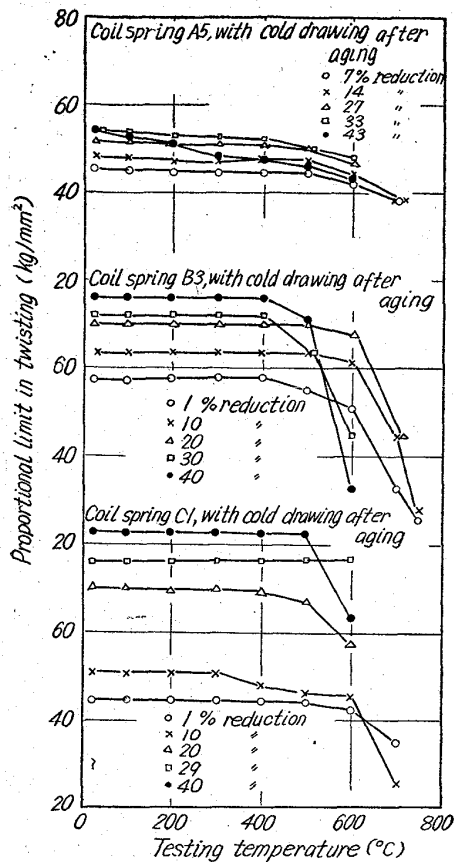


Fig. 15. Effect of the testing temperature on the proportional limit in twisting of coil spring, cold drawn after aging.

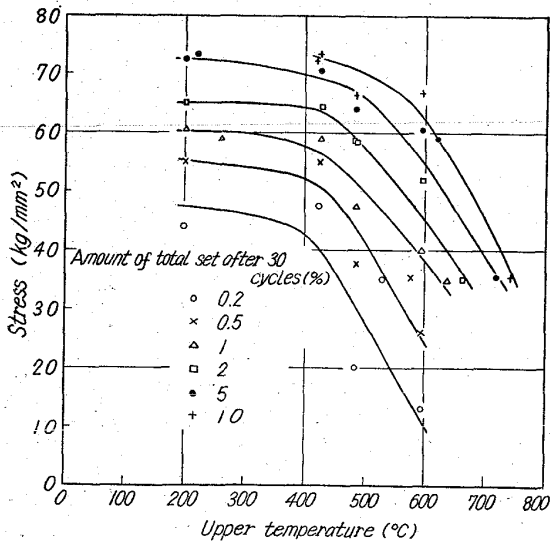


Fig. 16. Stress-temperature curves of B3 treated coil spring for various amounts of set.

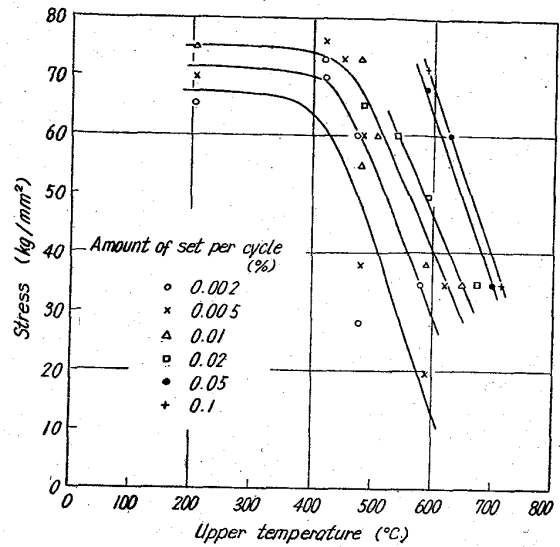


Fig. 17. Stress-temperature curves of B3 treated coil spring for various rates of set (after 30 cycles)

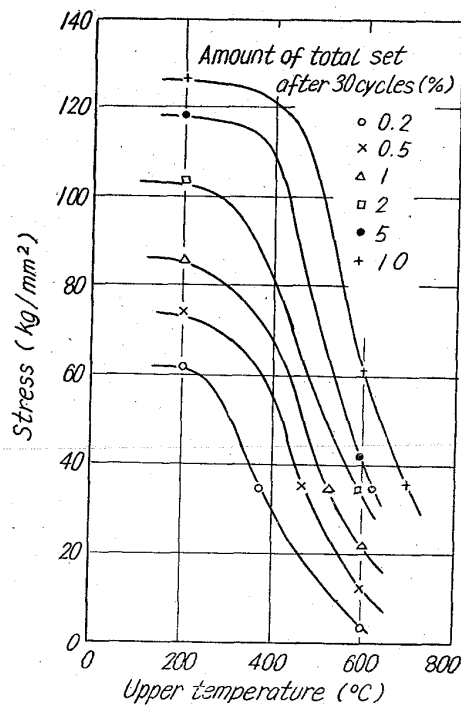


Fig. 18. Stress-temperature curves of B2 treated coil spring (with reduction of 65.2% before aging) for various amounts of set.

5. 組織

溶体化処理後冷間引拔まま(加工率11.6%)の試片, 982°C×2hr 油冷の溶体化処理だけを行なった試片, 982°C×2hr 油冷の溶体化処理後 649°C, 732°C, 816

°C, 899°C×9hr の時効処理を行なった試片(A3, B3, C3, D3)の電子顕微鏡組織を Photo. 1 に示す。これらによるとどれも双晶が出ているが, 引抜試片・溶体化試片では析出物はなく, 試片A3の析出状態は不明りょうであるが, B3は粒界で微細な析出をしている。またC3, D3と時効温度が高くなると析出物は大きくなり, C3で0.1~1μの析出物があり, D3で

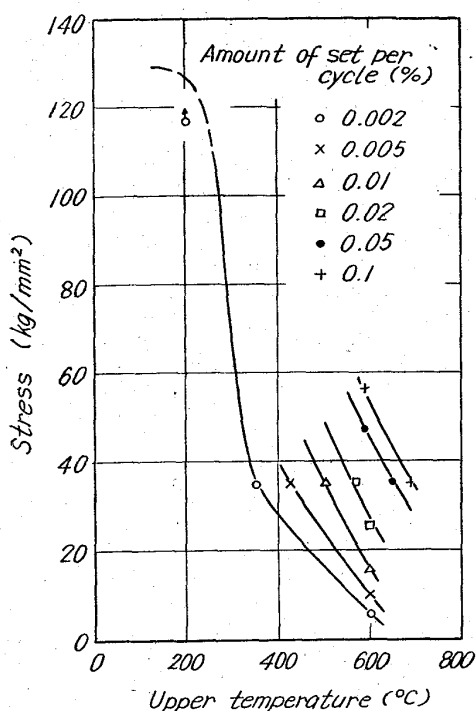


Fig. 19. Stress-temperature curves of B2 treated coil spring (with reduction of 65.2% before aging) for various rates of set (after 30 cycles)

は粒界に凝集し析出物の大きさは 1~3 μ まで成長した上、双晶の周辺にまで凝集している。

V. 結 言

以上 Refractaloy 26 型合金を溶体化温度・冷間加工・時効温度・時効時間の種々の組合せで処理した試験片につき、常温並びに高温における機械的性質・結晶粒度などを調査した結果次のことが判明した。

- 1) 溶体化温度は 982°C の方が 1149°C より機械的性質・結晶粒度の点で優れ、本実験による時効処理では 732°C が最良で温度が高すぎると析出物が粒界に凝集し、常温から高温までのばね特性を劣化させる。
- 2) 溶体化後冷間加工を施して時効処理したものは常温特性が著るしく改善され (加工率 50% くらいまで) だが、高温特性はかえって低下する。
- 3) 最適時効時間は時効温度・溶体化処理後の冷間加工率によって異なるが、一般に加工率、ならびに時効温度の高いほど短時間側に移行する。
- 4) 横弾性係数は時効処理温度に影響され、その保持時間の長短によってはほとんど変化を受けない。また時効処理前に冷間加工を施してもその影響はあまりない。
- 5) 振り比例限度は時効処理の温度と時間の両方に大きく影響される。時効処理前に冷間加工を施したものは

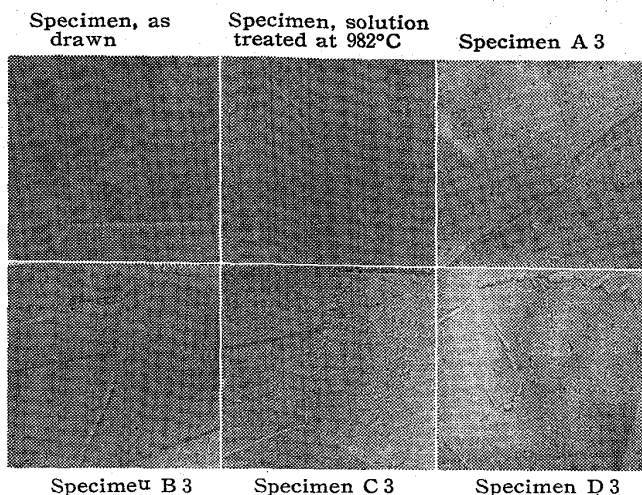


Photo. 1. Electron microstructures of Refractaloy 26 type alloy etched with royal water $\times 3000$ (1/2)

その加工率によつて大きく左右される。

6) 熱サイクルを繰返すとばねにはセットが生じ、セットの程度はばねに施された処理、ばねにかかる応力、熱サイクルの温度限界などによつて左右され、数回~数十回の熱サイクルの繰返しを行なわないと把握できない。

以上の諸結果を総合すると、Refractaloy 26 型合金の使用限界は常温から高温までの振り比例限度がさほど低下しない範囲にとつて、熱処理 のみの場合は 600°C (振り比例限度 65 kg/mm²)。また冷間加工を加えた場合は 500°C (振り比例限度 90 kg/mm²) となるが、横弾性係数 (常温で 7500 kg/mm²) はこの間それぞれ 30%、20% の低下を示す。

文 献

- 1) ASM: Metals Handbook, 1 (1961), p. 635
- 2) J. M. THORNTON: Materials in Design Engineering, 52 (1960) 2, p. 111
- 3) V. A. STANTON: Steel, 148 (1961) 5, p. 96
- 4) 上正原和典, 金井良昭, 内山道良: 鉄と鋼, 49, (1963) 3, p. 367
- 5) 金井良昭, 上正原和典, 関不二雄, 内山道良: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 369
- 6) 金井良昭, 上正原和典, 関不二雄, 内山道良: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 343
- 7) 上正原和典, 関不二雄, 金井良昭, 内山道良: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 344
- 8) ASM: Short-time high-temperature testing, (1958) p. 5
- 9) P. R. TOOLIN, F. C. HULL: Proc. ASTM, 52 (1952), p. 791