

技術報告

誘導加熱熱処理した冷間成形コイルばね用
高強度鋼線の特 性川 崎 一 博*・瀬 戸 芳 樹*・山 崎 隆 雄*²

Properties of Induction Heat-treated High Strength Spring Wire

Kazuhiro KAWASAKI, Yoshiki SETO and Takao YAMAZAKI

Synopsis :

Induction heat-treatment technique has been applied to develop a new high strength Si-Cr steel (SAE 9254) spring wire. The features of this technique are : (1) uniform heating (by rapid heating and holding) and (2) short heating time.

The induction-heating, quenched and tempered wires (ITW) with diameter of 12 mm show fine micro structure, fine austenite grains and less decarburization. The ITW have very high tensile strength from 1 770 to 2 060 MPa, and also show high ductility and toughness. These properties are attributed to their fine microstructure and non-equilibrium tempering effect with short induction heating time for tempering, and provide excellent cold formability.

Coil springs cold-coiled from the ITW possess sufficient sag resistance and fatigue life. As no decrease in fatigue life is observed even at such high strengths, advantage can be taken of the fact that sag resistance rises with the increase in tensile strength. Since maximum stress of coil spring can be raised by using the ITW, considerable weight saving becomes possible.

1. 結 言

自動車の懸架ばねには、さまざまな形のばねが使用されているが、最近の乗用車のほとんどはコイルばねを使用している。そして、時代の要求に応じてこのコイルばねを軽量化するには、より厳しい条件のもとでも「へたり」と呼ばれる永久ひずみが生じにくく、かつ、現行品の耐疲れ性を維持できるコイルばねやばね用鋼材の開発が必要である。

これに対して、固溶強化作用のある Si の添加¹⁾²⁾、または増量³⁾や、二次硬化よりは結晶粒微細化を期待した Nb, V の添加⁴⁾⁵⁾が検討されている。また、素材品質の向上のために製鋼や圧延方法の見直し⁶⁾が行われ、コイルばねの製造方法の改善⁷⁾も検討されている。しかし、ばね用鋼材の熱処理方法に関する研究例は比較的少ない。

一方、著者らは、高周波誘導加熱 (IH と略す) 焼入れ焼もどしにより、線径が 7~32 mm で、引張り強さが $\sigma_B = 930 \sim 1\,570$ MPa (1 470 MPa 級が主) の PC 鋼材を永年製造してきた。この熱処理方法と材質の主な特徴は次の点にある。

(i) 全体加熱：急速加熱後、熱伝導により全断面均熱化するのに必要な保持時間を与える。

(ii) 短時間加熱：急速加熱と保持に要する時間を合わせても、加熱時間は数秒~数十秒と短い。

(iii) オーステナイト結晶粒が微細で、優れた強靱性をもつ鋼材が得られる。

そこで、種々のばね用鋼材を、IH 焼入れ焼もどしした冷間成形コイルばね用鋼線 (ITW と略す) を製造し、その性質と、ITW を使ったコイルばねの性質を研究した⁸⁾。

本報告では、これらの研究結果の中から、代表的ばね鋼である Si-Cr 鋼 (SAE9254) の ITW とコイルばねの性質を述べ、高応力化、軽量化の可能性を検討する。

2. 実 験 方 法

2.1 供試鋼

懸架用コイルばねの高応力化対策鋼として、Si-Mn 鋼 (SUP 7) と SAE 9254 が多く用いられてきている。そこで、まず予備実験を行い、いずれの鋼種が ITW の製造に適しているかを検討した。

2.1.1 TTA 線図の作成

適切な短時間加熱オーステナイト化条件を求めめるために、両鋼種の試験片を、種々のオーステナイト化温度と

注. SAE 9254 は JIS G 4801 (「ばね鋼材」, 1984.2.1 改訂) の SUP 12 に相当。

昭和 57 年 9 月本会講演大会にて発表 昭和 59 年 4 月 4 日受付 (Received Apr. 4, 1984)

* 高周波熱錬(株)開発技術部 (現:システムエンジニアリング部) (Research & Division, Now System Engineering Department, Neturen Co., Ltd., 5893-2 Tamura Hiratsuka 254)

*² 高周波熱錬(株)特線部 (Spring Wire Department, Neturen Co., Ltd.)

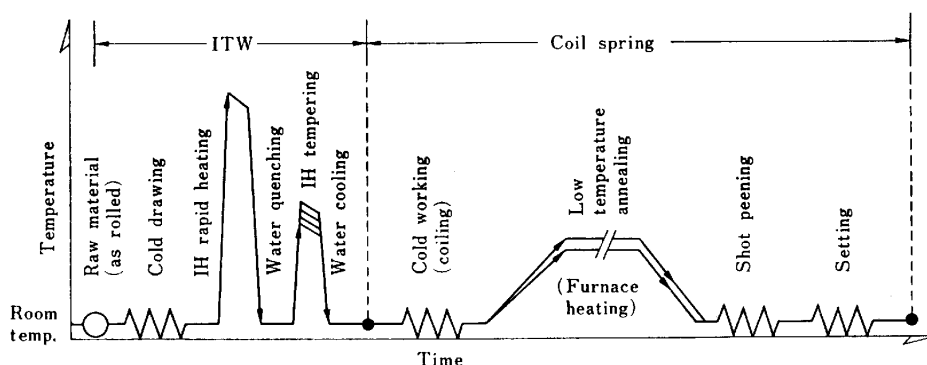


Fig. 1. Schematic figure of heating cycle and working process.

Table 1. Chemical composition.

Material	wt%					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
SAE9254	0.55	1.34	0.72	0.014	0.009	0.60

加熱時間を組み合わせて IH 焼入れし、得られた組織、硬さ、結晶粒度をもとに TTA (時間, 温度, オーステナイト化) 線図⁹⁾を作成した。温度と時間の組み合わせの下限条件の判定は、光学顕微鏡による組織観察 (400 倍) で、未溶解フェライトや炭化物が見られないことで行い、上限条件の判定は、結晶粒度 No. 8 より粗粒化しないことで行った。その結果、上限条件は同程度だが、下限条件は、SAE 9254 の方が、少し低温、短時間寄りであった。ゆえに、量産時の作業性を考えると、SAE 9254 の方が ITW の製造に適していることがわかった。

2.1.2 ITW の試作

次に、両鋼種の ITW を試作し、ITW とコイルばねの主な性質を比較した。その結果、同程度の引張強さであれば耐へたり性に差はないが、SUP 7 は素材での脱炭が生じやすく、安定した耐疲れ性を得にくいことがわかった。

2.1.3 化学成分

以上の予備実験の結果、供試鋼として SAE 9254 を選んだ。Table 1 に供試鋼の化学成分を示す。

2.2 供試材の製造工程

Fig. 1 に ITW とコイルばねの製造工程を模式的に示す。

2.2.1 ITW の製造

素材は線径 13 mm の熱間圧延線材で、酸洗により脱スケールし、線径 12 mm に冷間引き抜きした。そして、引抜線材を連続熱処理設備を用いて IH 焼入れし、IH 焼もどしした後、水冷して ITW とした。引張強さは IH 焼もどし温度を変えて、 $\sigma_B = 1770, 1860, 1960, 2060$

MPa 級に調整した。なお、引き抜き前にシェービング工程 (約 0.15 mm) を加えた供試材も製造し、その特性を調べた結果、SAE 9254 の素材には脱炭がほとんどないため、シェービングの有無による性能差はみられなかった。

2.2.2 コイルばねの製造

各引張強さの ITW をコイルばね形状に冷間成形加工し、低温焼なまし、ショットピーニング、セッチングを順次施して供試コイルばねとした。ばね形状は排気量 1800 cc 級の乗用車用のコイルばねを想定し、中心径 $D = 110$ mm, 総巻き数 $Nt = 6.25$ ターン, 高さ $H = 350$ mm, ばね定数 $K = 35.3$ N/mm とした。低温焼なましは冷間成形加工時のひずみを除去するため、炉加熱により行なった。加熱条件は後述する。ショットピーニングは表面に圧縮残留応力を付与し、耐疲れ性を向上させる目的で行なった。ショットは平均直径 0.6 mm のスチールボールで、アルメンストリップゲージのアーチ高が 0.3 mm 以上、カバレッジが 95% 以上を処理条件とした。この条件は高い引張強さの ITW を使ったコイルばねでも、十分なショット効果が得られることを目標に選んだ。セッチングはあらかじめコイルばねを永久変形させ、使用中のへたりを減少させる目的で行なった。一般に最大設計応力の 10% 増の応力を負荷するが、今回は引張強さを基準にして、ITW の各引張強さの 62% の数値のねじり応力を 1 回負荷した。

2.3 ITW の試験

2.3.1 金属組織観察とオーステナイト結晶粒度測定
組織は 5% ナイタールで腐食し、光学顕微鏡により観察した。また、結晶粒現出にはピクリン酸と界面活性剤、塩化第 2 鉄、ごく微量の塩酸の混合液を使用し、面分析法により結晶粒度を測定した。

2.3.2 硬さ測定

鋼線の軸に直角方向の断面硬さ分布を、マイクロピッカース硬さ計 (荷重 300 g) を用いて測定した。

2.3.3 機械的性質の測定

引張試験は万能試験機を用いて行い、荷重-伸び線図を作成した。そして、図より引張強さ (σ_B)、0.2% 耐力 ($\sigma_{0.2}$)、0.01% 耐力 ($\sigma_{0.01}$) を求め、破断した試験片の絞り (φ) と破断伸び (δ_{ad} : 標点距離=8×線径) を測定した。試験片は ITW のまま (2号試験片) で、ねじり試験の場合も同様である。

ねじり試験はねじり試験機を用いて行い、トルク-ねじれ角線図を作成した。そして、図よりねじり強さ (τ_B)、0.3% 耐力 ($\tau_{0.3}$)、0.03% 耐力 ($\tau_{0.03}$) を求めた。

シャルピー衝撃試験は、ITW からミニサイズ試験片 (7.5 mm 角, 1.5 mm 深さ V ノッチ) を切削加工し、293K で行つた。衝撃値 (E') は得られた吸収エネルギーを原断面積で除して表示した。

2.3.4 残留応力と残留オーステナイトの測定

残留応力は X 線応力測定装置 (理学電機製 MSF-2M) を用いて測定し、引張残留応力を正の値で、圧縮残留応力を負の値で示した。また、残留オーステナイトも同装置に専用付属装置を取り付け測定した。

2.4 コイルばねの試験

コイルばねの試験として、クリープ試験と疲れ試験を行い、耐へたり性と耐疲れ性を調べた。

2.4.1 へたり測定法

本報告では、荷重ロス (ΔP) をへたりとした。すなわち、コイルばね圧縮試験機を用いて、コイルばねを定めた高さに押し縮めるのに要する荷重 (P) を、試験前と試験後に測定し、 P_1 、 P_2 とする。そして、その差 $\Delta P = P_1 - P_2$ をへたりとした。また (1) 式を用いて残留せん断ひずみ $\Delta \gamma$ も算出した。なお、剛性率は $G = 78\,450$ MPa とした。

$$\Delta \gamma = 8 \cdot D \cdot \Delta P / \pi \cdot d^3 \cdot G \quad \dots \dots \dots (1)$$

d : 線径 mm

D : コイル平均径 mm

2.4.2 クリープ試験

クリープ試験は、定荷重クリープ試験機を用いて、293 K 前後の室内で行い、96 h 後のへたりに測定した。試験機は重錘の重さがこで増幅され、所定荷重が負荷される構造である。

2.4.3 疲れ試験

疲れ試験は、くり返し速度が 5 Hz の定ひずみくり返し試験機を用いて行つた。試験は 3×10^5 回を越えるまで行い、越えて折損しない場合は任意の回数で試験を中止した。 3×10^5 回を区切りとしたのは、一般に懸架用ばねの耐疲れ性の目安が $2 \sim 3 \times 10^5$ 回とされている¹⁰⁾ ためである。

また、疲れ試験を 2×10^5 回行つた後に試験を中断

し、動的負荷時のへたりに測定した。

2.4.4 試験応力の表示

本報告では、次の方法により、試験応力(ねじり応力)を表示する。

(i) 試験応力は、形状効果により最も大きな応力の働くコイル内径側応力で表示する。

(ii) 計算応力 (τ_0) から内径側応力 (τ) への換算には、最も一般的な WAHL の修正係数を用いる。

(iii) 試験応力は、ばね鋼線の弾性域内として取り扱う。

(iv) 定ひずみ試験の場合も、試験応力は初期設定値を用いて定応力表示する。

3. 実験結果および考察

3.1 ITW の性質

3.1.1 金属組織と硬さ分布

Photo. 1 (a) は IH 焼入組織を示し、比較のため (b) に炉加熱 (1 173K, 20 min) 焼入組織を示す。焼入前の組織は両者とも同じで、引抜加工されたフェライトとパーライトの混合組織である。(c) は IH 焼もどし材の例として、 $\sigma_B = 1\,960$ MPa 級の ITW の組織を示し、(d) は同じ ITW の表面付近の組織を示す。

IH 焼入材は、炉加熱焼入材に比べて微細なラスマルテンサイトを示し、ブロックやパケットに相当するラスの集団も小さい。IH 焼もどし材では表面付近と中心の差はみられず、全断面にわたって単一の焼もどしが進んだことがわかる。また、表面付近の組織には脱炭はみられない。このことはシェービング材でも確認できた。したがって、ITW を使つたコイルばねでは、脱炭が耐疲れ性に悪影響を与えることはないと考えられる。

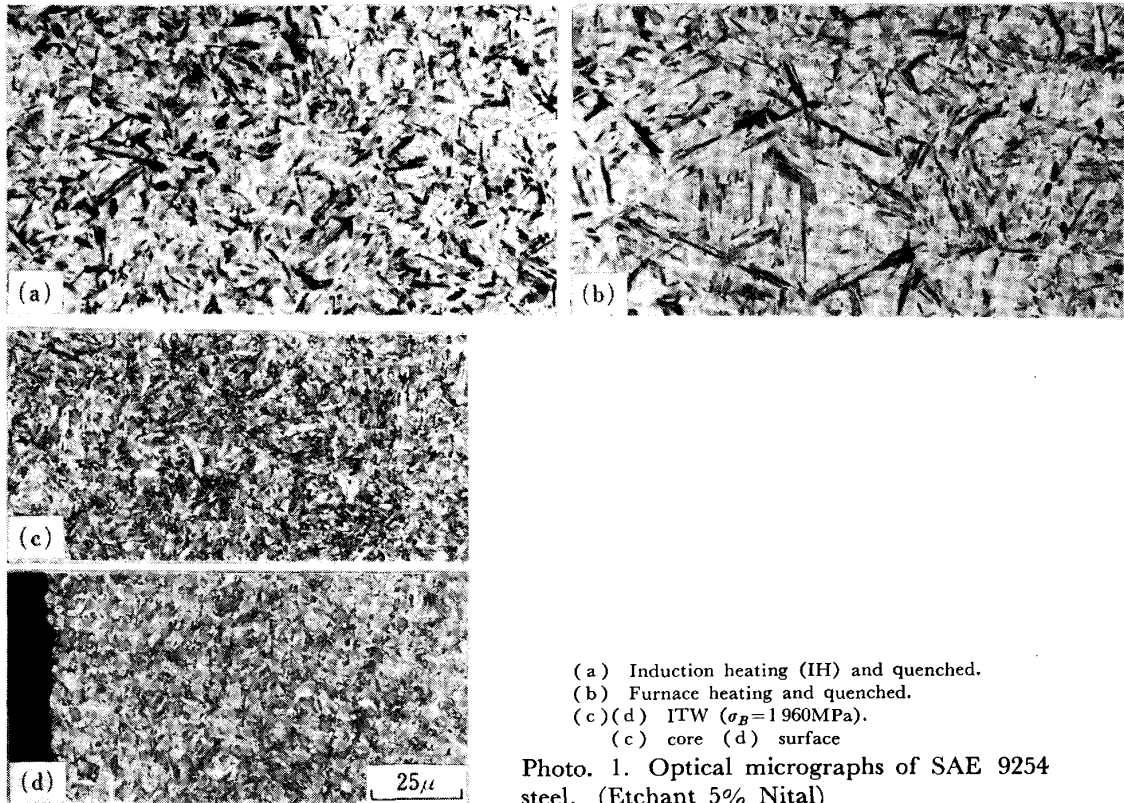
結晶粒度は No. 10 で、炉加熱比較材の結晶粒度 No. 8 や、一般的な SUP 7 の熱間成形コイルばねの結晶粒度 No. 7~8³⁾ に比べてきわめて微細である。

Fig. 2 は $\sigma_B = 1\,770$, $1\,960$ MPa 級の ITW の断面硬さ分布を示す。いずれの場合も表面から中心にかけてほぼ均一な分布を示し、IH 焼もどし材の組織観察結果と一致する。

3.1.2 ITW の機械的性質

Fig. 3 に IH 焼もどし温度と引張性質、ねじり性質、および衝撃値との関係を示し、比較のために炉加熱焼入れ焼もどし材の性質を示す。

IH 焼もどし温度は、同じ引張強さを得るための炉加熱焼もどし温度より高い。たとえば、 $\sigma_B = 1\,770$ MPa 級で比べると、加熱時間 60 min の炉加熱焼もどし温度よりも 115~125K 高い。また、IH 焼もどし温度を、



(a) Induction heating (IH) and quenched.
 (b) Furnace heating and quenched.
 (c)(d) ITW ($\sigma_B=1960\text{MPa}$).
 (c) core (d) surface
 Photo. 1. Optical micrographs of SAE 9254 steel. (Etchant 5% Nital)

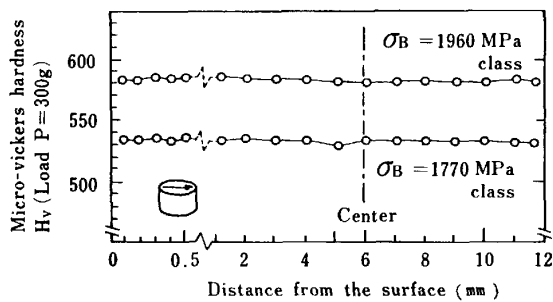


Fig. 2. Hardness distribution of SAE 9254 ITW.

引張強さを焼もどしパラメータとして、加熱時間 60 min での加熱温度に換算した値 (定数 $C=15$, 秒単位) は、実際の炉加熱焼もどし温度より若干高いがほぼ一致する。

一般に、延性、靱性を低下させずに鉄鋼材料を高強度化するのには容易ではない。しかし、引張試験や衝撃試験で、ITW は $\sigma_B=1770\sim 2060\text{MPa}$ 級と極めて高強度の場合にも、優れた延性、靱性を示す。まず、全般にわたって 45% 以上の絞りりと 7% 以上の伸びを示し、炉加熱熱処理材に比べて延性が高い。また、衝撃値は引張強さが高くなるにつれて徐々に低下するが、 $\sigma_B=2060\text{MPa}$ 級でも $E'=20\text{J/cm}^2$ 以上の値を示し、やはり炉加熱熱処理材に比べ、高い靱性を示す。

このように、ITW が優れた強靱性を有する理由は後で考察するが、このことは加工性に良い結果をもたら

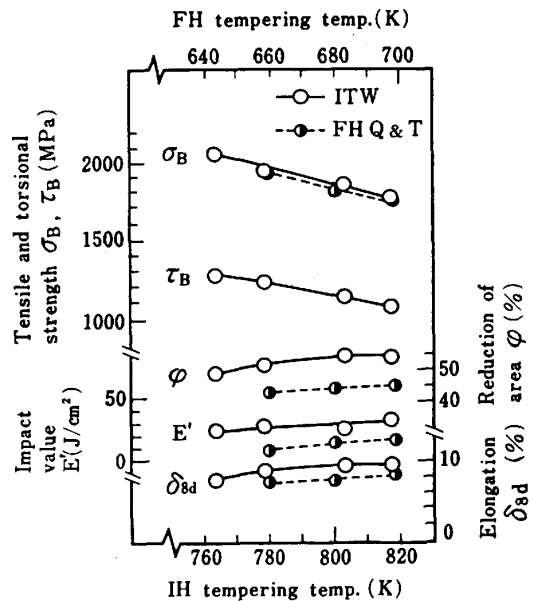


Fig. 3. Mechanical properties of SAE 9254 ITW and furnace heating (FH) quenched and tempered wire.

す。Photo. 2 は線径 12 mm で $\sigma_B=1960\text{MPa}$ 級の ITW を、自径巻きを最小に、中心径の小さなコイル状に冷間成形加工した例を示したもので、折損したり、きずが発生することはなかった。自径巻きは同じ線径 12 mm の心金に巻き付けたもので、通常のコイルばねの冷間成形加工に比べて、非常に厳しい加工である。

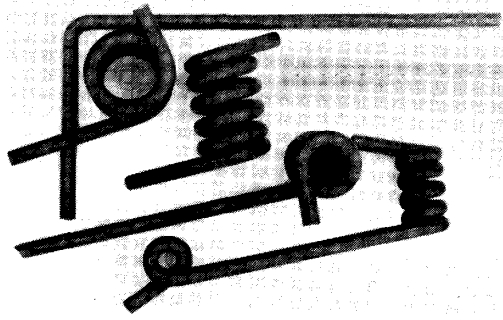
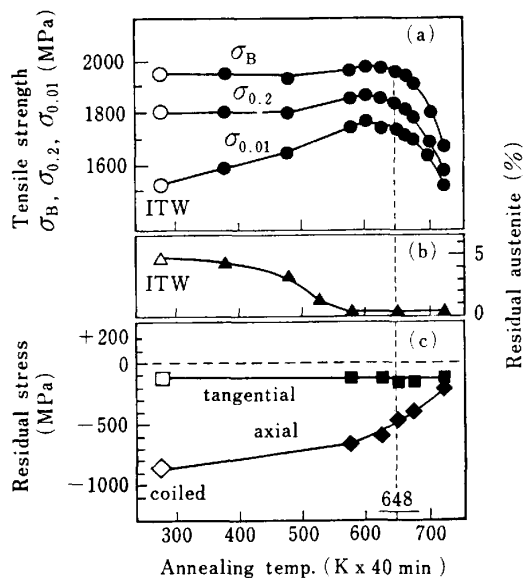


Photo. 2. Formability test result of SAE 9254 ITW ($d=12\text{ mm}\phi$, $\sigma_B=1960\text{ MPa}$).



(a) Tensile properties (ITW)
(b) Retained austenite (ITW)
(c) Residual stress (outside of coil spring)

Fig. 4. Relation between mechanical properties and annealing temperature. ($\sigma_B=1960\text{ MPa}$ class)

ねじり強さは $\tau_B=1110\sim 1300\text{ MPa}$ で、 τ_B と σ_B の比は $0.62\sim 0.64$ とほぼ一定である。

3.1.3 低温焼なまし条件の選択

コイルばね形状に冷間成形加工後、炉加熱により行われる低温焼なましの目的はひずみ取りである。したがって、その点では高い温度で加熱するのが好ましいが、温度を上げすぎて強度が低下すると高強度が生かせなくなる。そこで、ITW を使ったコイルばねに適する低温焼なまし条件の選択を行った。Fig. 4 に $\sigma_B=1960\text{ MPa}$ 級の ITW についての試験結果を示す。なお、低温焼なましの加熱時間は 40 min である。また、引張試験と残留オーステナイト量測定のための供試材には、冷間成形に相当する加工は施しておらず、その理由は後述する。

(i) 引張性質

ITW を $373\sim 723\text{ K}$ の温度で焼なましし、室温で引

張試験を行った。その結果、 σ_B 、 $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_{0.01}$ とも焼なまし温度が上昇すると増加し、 $573\sim 623\text{ K}$ でピークに達する。そして、 σ_B は 673 K 付近で元の ITW と同程度になり、これ以上の焼なまし温度では急に低下する。 $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_{0.01}$ も同様の経過をたどるが、 σ_B に比べてピークに至る増加率は大きい。

(ii) 残留オーステナイト量

$\sigma_B=1960\text{ MPa}$ 級の ITW では 4% 程度の残留オーステナイトが存在する。そこで、残留オーステナイト量と焼なまし温度の関係を調べた。その結果、残留オーステナイトは 573 K 以上の焼なまし温度では分解消滅している。なお同じ $\sigma_B=1960\text{ MPa}$ 級の炉加熱焼入れ焼もどし材では残留オーステナイトは存在しなかった。

(iii) 表面残留応力

ITW を供試コイルばね形状に冷間成形加工し、コイル外径側の表面残留応力と焼なまし温度の関係を調べた。まず、鋼線軸方向では冷間成形時の曲げ加工の影響を直接受けるため、成形直後で -800 MPa ほどの大きな値を示す。これが焼なまし温度の上昇とともに減少し、 723 K で -200 MPa まで低下する。一方、接線方向では成形直後でも -100 MPa ほどで、ITW の表面残留応力が $-100\sim -200\text{ MPa}$ ゆえ、冷間成形時の加工の影響を受けていないと考えられる。また、焼なまし温度が上昇してもあまり値は変化しない。

以上の結果から、低温焼なましの最適温度として、 $\sigma_B=1960\text{ MPa}$ 級の ITW の場合は 648 K を選んだ。また、他の引張強さの ITW の場合も同様の試験検討を行い、 $\sigma_B=1860$ 、 2060 MPa 級では 648 K を選び、 $\sigma_B=1770\text{ MPa}$ 級では 673 K を選んだ。

供試材に冷間成形に相当する加工を施さなかったのは、一方向曲げ加工を加え、曲げた状態では一般的な引張試験が行えないためである。そこで、 $\sigma_B=1770\text{ MPa}$ 級の ITW に単純引張り塑性ひずみを加えた後、 673 K で低温焼なましを行い、引張性質に与えるひずみ時効の影響を調べた。その結果、 σ_B 、 $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_{0.01}$ が増加し、特に $\sigma_{0.01}$ の増加が著しく、ITW から 25% ほど増加した。この試験内容は実際の状況とは必ずしも一致しないが、耐力の上昇の点でひずみ時効の効果が期待できる。

3.1.4 機械的性質に与える低温焼なましの影響

Fig. 5 に各引張強さの ITW に、それぞれ前述の最適条件で低温焼なましを加えた場合の、引張強さとねじり性質、および残留オーステナイト量の変化を示す。このデータは ITW に冷間成形に相当する加工を加えていないため、実際の状況とは異なる。しかし、IH 焼入れ焼もどしの特徴を知るには有用なデータである。

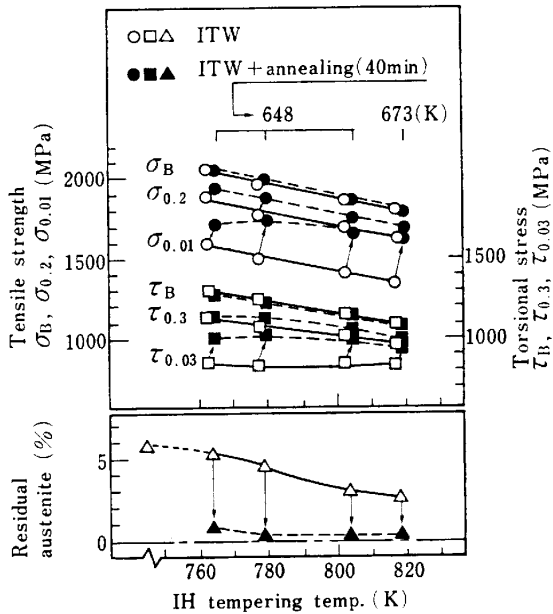


Fig. 5. Influence of low temperature annealing on tensile properties and retained austenite of SAE 9254 ITW.

すなわち、低温焼なましを加えることにより、 σ_B や τ_B はあまり変化しないが、 $\sigma_{0.2}$ や $\sigma_{0.01}$ 、 $\tau_{0.3}$ や $\tau_{0.03}$ がかなり上昇する。また、残留オーステナイトは、一般に焼もどし第2段階終了時にはほとんど分解しているとされている。ところが、各引張強さの ITW では残留オーステナイトが存在し、低温焼なましを加えると消滅している。

このように、IH 焼もどし後にさらに低温焼なましを加えることにより、耐力や残留オーステナイト量に変化することは、短時間の IH 焼もどしだけでは、金属学的に平衡な焼もどし状態に至っていないことを示唆していると考えられる。そして、このことと、結晶粒や組織が微細なことにより、ITW は引張強さが高い場合でも、優れた延性や靱性を示すと考える。これらの特性は、冷間成形という強加工を受けるコイルばね用鋼線には好ましい。すなわち、冷間成形を行う場合は、優れた延性や靱性により加工性が良い。そして、加工後低温焼なましを行うと、微細組織に非平衡状態からの焼もどしの進行やひずみ時効の効果が加わり耐力が上昇し、コイルばねの耐へたり性が向上する。

3.2 コイルばねの性質

3.2.1 耐へたり性

Fig. 6 に ITW の引張強さとクリープ試験および疲れ試験でのへたりとの関係を示す。クリープ試験応力は $\tau=1128$ MPa で、疲れ試験応力は $\tau=637 \pm 490$ MPa である。いずれの試験でも、引張強さが高くなるとへたり

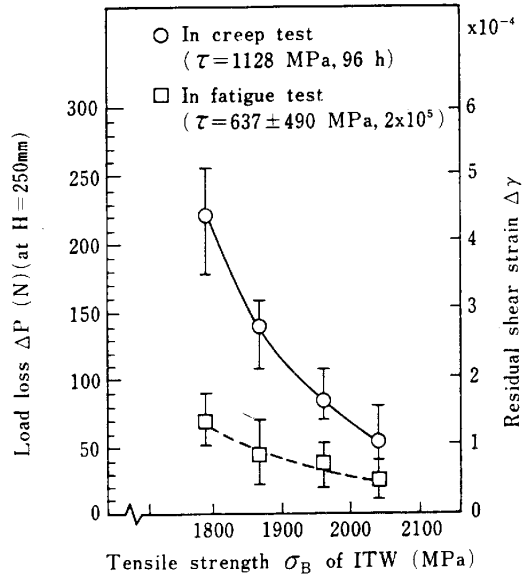


Fig. 6. Influence of tensile strength of SAE 9254 ITW on load loss of coil spring in creep test (○) and fatigue test (□).

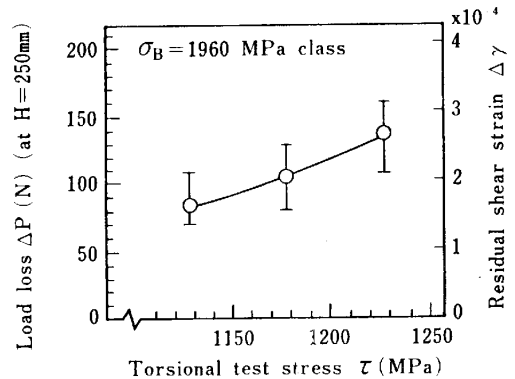


Fig. 7. Relation between torsional test stress and load loss of coil spring made from SAE 9254 ITW in creep test. ($\sigma_B=1960$ MPa class)

は大きく減少し、耐へたり性を上げるには引張強さを高くすることが有効である。このデータをすでに報告されているデータと比較する場合、耐へたり性に影響する材質、硬さ、セッチング条件などの違いを考慮する必要がある。そこで最も一般性があると思われるデータ¹⁰⁾と比較した。その結果、 $\sigma_B=1770$ MPa 級のコイルばねでも、同程度の硬さをもつ SUP 7 の熱間成形コイルばねと同等か、あるいは、より優れた耐へたり性を示すことがわかった。

次に、 $\sigma_B=1960$ MPa 級のコイルばねで、クリープ試験での試験応力とへたりの関係を調べた。Fig. 7 にその結果を示す。ここで試験応力が増加するとへたりも増加するが、 $\tau=1226$ MPa までの範囲では、へたりが急に増加することはない。

3.2.2 耐疲れ性

コイルばねの疲れ試験を行つた結果、 $\sigma_B=1770\sim 2060$ MPa 級の場合、 $\tau=637\pm 490$ MPa では余裕をもつて 3×10^5 回を越える耐疲れ性を示す。また、 $\sigma_B=1860\sim 2060$ MPa 級の場合、 $\tau=686\pm 490$ MPa でもやはり十分に 3×10^5 回を越える耐疲れ性を示す。さらに、 $\sigma_B=1960$ MPa 級については、 $\tau=637\pm 539$ MPa で試験したところ、 3×10^5 回を越える耐疲れ性は示すが、他の条件での試験結果に比べて耐疲れ性は低い。これは、 $\tau=637\pm 490$ MPa に対しては、応力振幅の ± 49 MPa と最大応力の 49 MPa の増加が影響したと考えられる。また、同じ最大応力の $\tau=686\pm 490$ MPa に対しては、平均応力に比べて応力振幅の増加がより大きく影響したと考えられる。

ただ、いずれの試験応力でも 3×10^5 回を越える耐疲れ性を示すことから、 $\sigma_B=1770$ MPa 級では $\tau_{max}=1079\sim 1128$ MPa、 $\sigma_B=1960$ MPa 級では $\tau_{max}=1128\sim 1177$ MPa のコイルばねの設計が可能と考える。

3.2.3 軽量化計算例

これらの結果をもとに簡単な軽量化計算を試みた。ここでは、中心径 D 、ばね高さ H 、ばね定数 K を定数とし、線径 d 、有効巻き数 N_a を変数とした。最大計算応力を τ_0 から τ_0s に増加した場合の軽量化率 ΔW の計算式を (2)~(4) 式に示す¹¹⁾。

$$\begin{aligned} \Delta W &= (W - W_s) \cdot 100 / W \quad (\%) \\ &= ((Na + b) - N^2(Na \cdot N^4 + b)) \cdot 100 / (Na + b) \\ &\dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$N = e^{1/3 \ln \tau_0 / \tau_0s} \quad (N: \text{軽量化指数}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$b = Nt - Na \quad (Nt: \text{総巻数}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

この式を用いて、従来の設計最大応力を $\tau_{max}=930$ MPa (計算応力 $\tau_0=790$ MPa) とし、軽量化率を計算した。その結果、 $\sigma_B=1770$ MPa 級で $\tau_{max}=1079$ MPa が可能とすると約 20%、 $\sigma_B=1960$ MPa 級で $\tau_{max}=1177$ MPa が可能とすると約 30% の軽量化が可能である。

4. 結 言

Si-Cr 鋼 (SAE 9254) 線材を高周波誘導加熱焼入れ焼もどしすることにより、優れた強靱性をもつ冷間成形コイルばね用高強度鋼線を開発した。この鋼線 (ITW) とこれを使つたコイルばねは次の特徴を示す。

(i) 短時間加熱焼入れ焼もどしのため、組織や結晶粒が微細で、表面脱炭も生じない。また、急速加熱後、適当な時間保持して全体を均熱化するため、全断面にわ

たり均一な組織や硬さが得られる。

(ii) 線径 12 mm で、引張強さが $\sigma_B=1770\sim 2060$ MPa 級の ITW は高い引張強さの場合でも、延性や靱性が優れ、ばね用鋼線に重要な加工性が良い。これは、微細結晶粒と短時間加熱 IH 焼もどしの金属学的に非平衡ともいえる焼もどし効果のためと考える。

(iii) これらの特徴を示す ITW を用いれば、高い引張強さ(硬さ)をもつコイルばねが製造できる。そして、引張強さが高いほど優れた耐へたり性が得られる。

(iv) また、高い引張強さに適した方法でコイルばねを製造すれば、自動車懸架用コイルばねとして十分な耐疲れ性が得られる。

(v) 以上の結果、高い引張強さをもつ ITW を用いることにより、コイルばねの設計最大応力を高くすることができ、軽量化にも寄与することができる。

ITW は実用化されてすでに 4 年を経過した。その間、2 輪自動車の後輪懸架用コイルばねや、大型車両の緊急ブレーキ用コイルばねに利用され、軽量化や品質向上に役立つてきた。今後は、4 輪自動車懸架用コイルばねや、より多くのコイルばねの高性能化にも寄与できるよう努力を重ねたい。

おわりに、本研究遂行に際し、貴重なご助言をいただいた京都大学教授、田村今男先生に感謝いたします。また、実験にご協力いただいた高岡憲久、元木信二郎、古賀久喜、鴨志田辰男の各氏にお礼申し上げます。

文 献

- 1) H. J. TATA, E. R. DRISCOLL and J. J. KARY: SAE Technical paper series 800480 (1980)
- 2) 千島和夫, 内堀勝之, 大原三男: ばね論文集, 26 (1981), p. 1
- 3) 新倉芳治, 小川 登, 高橋栄治: ばね論文集, 24 (1978), p. 2
- 4) 吉川文岳, 栗本 衛, 小曾根敏夫: 熱処理, 21 (1981) 5, p. 235
- 5) 川上平次郎, 山田凱朗, 芦田真三, 大城毅彦, 塩飽 潔: 神戸製鋼技報, 32 (1982) 3, p. 71
- 6) 大谷三郎, 子安善郎, 泉 総一, 伴野俊夫, 高橋日出夫: 鉄と鋼, 66 (1980), S 1279
- 7) 山内正昭, 牟田幸則: ばね技術研究会秋季講演会前刷集 (1977), p. 35
- 8) 瀬戸芳樹, 曾我栄市, 内野勝芳, 川嶋一博: ばね論文集, 27 (1981), p. 28
- 9) 川嶋一博, 高岡憲久, 山崎隆雄, 尾崎良二: 熱処理, 20 (1980) 6, p. 281
- 10) 自動車規格: 「自動車用懸架コイルばね」(JASO C 605), p. 7
- 11) K. KAWASAKI, Y. SETO, T. YAMAZAKI and T. HIJIKATA: SAE Technical paper series 830656 (1983)