

ばね鋼の均一なスラック焼入組織と機械的性質との関係*

内山 道良**・関 不二雄***・上正原和典***

Relation between Slack-Quenched Homogeneous Structure
and Mechanical Properties of Spring Steel.

Michira UCHIYAMA, Fujio SEKI and Kazunori KAMISHOHARA

Synopsis:

Effects of microstructure on mechanical properties of C (SUP 3), Si-Mn (SUP 6) and Mn-Cr (SUP 9) spring steels were investigated.

Specimens prepared from each spring steel were first heat-treated to produce various as-quenched structures: namely, martensite, fine pearlite or bainite.

These specimens were then tempered to the spring hardness H_B 300~500 before testing.

Specimens heat-treated as above were subject to twisting, bending, fatigue or repeated impact tests.

Results obtained were summarized as follows.

1. The proportional limit of twisting or bending for sorbite specimens was the same without regard to the kind of steel.
2. The ratio of proportional limit of sorbitic structure to that of fine pearlitic or bainitic structure for the alloy spring steels was slightly higher than that for the carbon spring steel.
3. The results indicated also that the endurance limit or repeated impact value of each steel were nearly the same for sorbitic, fine pearlitic and bainitic structures.
4. Spring properties of steel with sorbitic structure were not always superior to that of a steel having fine pearlitic or bainitic structure.

I. 緒 言

熱処理ばね鋼に現われる細粒パーライトの状況については、温度勾配焼入¹⁾²⁾およびS曲線・焼入性曲線・U曲線など³⁾の面から述べたことがあり、これによつて細粒パーライト組織を機械試験用試片の上に純粋な状態で取出し得る条件が明らかとなつたので、今回はばね鋼の代表的鋼種であるC鋼・Si-Mn鋼・Mn-Cr鋼の3鋼種を対象として、細粒パーライトおよびソルバイト組織の示す機械的性質について述べることにした。

ばね鋼は耐荷重性の上から弾性限の高いことが要求されるので、機械的な性質に関する諸規準はすべてこの点を拘束し^{4)~11)}抗張力・降伏点・ときには弾性限を規定しているが、引張試験におけるこれらの数値がそのままばねの性能につながることはないので、本実験の対象としては静的な意味における振りおよび曲げ、動的な意味における回転曲げ疲労および繰返し衝撃の4試験を取上げた。

II. 振 り 性 能

1. 試料および実験法

試料には Table 1 に示す化学成分のばね鋼 No. 1~3を 850°C で焼準したものから前報^{1)~3)}の結論に基づいて、純粋な細粒パーライトおよびマルテンサイト焼入可能寸法である対辺距離 12mm 長さ 280mm の角鋼を削り出し、この中央部分 80mm を径 10mm に旋削したのち、Table 2~3 の条件で熱処理して均一な細粒パーライトおよびソルバイト組織の試片を得、有効部分の寸法許容差を 0.02mm 以下に 0000 エメリー紙で仕上げたのち、秤量 4000 kg·cm の槓桿式振り試験機により、振り性能を調べた。

2. 実験結果および考察

Table 4~5 は細粒パーライト焼入およびマルテンサイト焼入試片の焼入および焼戻硬さで各試片が目的通りの熱処理を受けたことを示したものであるが、今各試片について画いた、“振りモーメント—振り角度曲線”の中から二、三の例を示せば Fig. 1 のとおりであり、全試片について求めた 0.3% 降伏点¹²⁾の値を整理すると Fig. 2 のようになる。

* 昭和 36 年 4 月本会講演大会にて講演

** 三菱鋼材株式会社 工博

*** 三菱鋼材株式会社

Table 1. Chemical composition of samples.

Sample No.	Chemical composition (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	0.86	0.30	0.47	0.023	0.015	—
2	0.61	1.70	0.84	0.021	0.011	—
3	0.55	0.28	0.77	0.024	0.017	0.79
13	0.53	0.28	0.80	0.018	0.019	0.79

Table 2. Heat treatment of fine pearlitic test pieces.

Sample No.	Quenching medium	Heating conditions
1	Quenching oil	780°C × 10mn
2	Coal-tar	800°C × 10mn
3	Coal-tar	800°C × 10mn

* Tempering : cf. Table 3.

Table 3. Heat treatment of sorbitic test pieces.

Sample No.	Quenching medium	Heating conditions	Tempering conditions
1	Water (40°C)	760°C × 10mn	375~600°C × 40mn Air cool
2 & 3	Quenching oil	850°C × 10mn	

Table 4. Hardness of test pieces as quenched to fine pearlitic structure.

No. of test piece	C steel (C)		Si-Mn steel (S)		Mn-Cr steel (M)	
	Hardness as quenched (Hv)	Hardness after tempering (Hv)	Hardness as quenched (Hv)	Hardness after tempering (Hv)	Hardness as quenched (Hv)	Hardness after tempering (Hv)
1	406	315	389	299	402	312
2	398	325	385	311	411	317
3	398	346	400	317	413	329
4	400	346	377	339	406	337
5	402	349	387	344	406	344
6	393	362	409	370	406	346
7	389	364	409	391	396	355
8	400	366	415	400	385	357
9	398	366	411	400	409	366
10	385	375	406	404	385	366
11	393	375	420	406	411	370
12	400	377	418	409	396	371
13	398	385	425	418	400	371
14	406	385	434	420	402	377
15	406	393	436	432	387	396
16	411	396	—	—	406	400
17	404	404	—	—	420	400
18	411	404	—	—	411	402
19	411	406	—	—	425	409
20	413	406	—	—	425	411
21	409	406	—	—	439	434
22	420	411	—	—	444	436
23	441	436	—	—	444	436
24	439	436	—	—	449	436
25	444	436	—	—	—	—

すなわち振り降伏点の上から見ると、焼入・焼戻ばね鋼という広い意味では各鋼の焼戻硬度に対する振りモーメントの値は同じで、数値のばらつきも少ないが、個々にはC鋼の細粒パーライト焼入試片の値が8%ほど低くなるのに対して Si-Mn 鋼および Mn-Cr 鋼ではその差が認められないのが目につく。

また上記の全試片について画いた“振りモーメント—

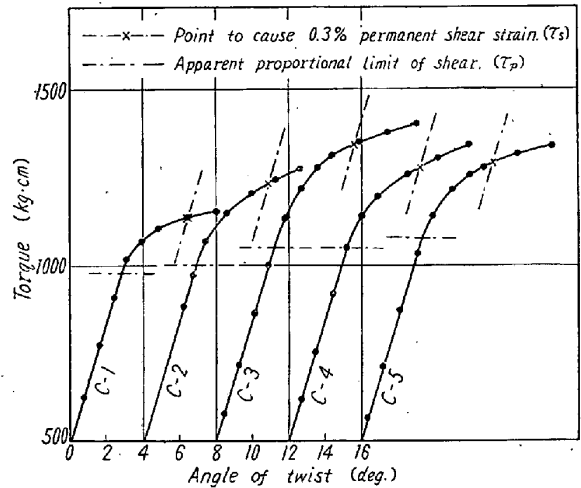


Fig. 1. Examples of twisting test for C spring steel as tempered after quenching to fine pearlitic structure.

Table 5. Hardness of test pieces as quenched to martensitic structure.

No. of test piece	C steel (C)		Si-Mn steel (S)		Mn-Cr steel (M)	
	Hardness as quenched (Hv)	Hardness after tempering (Hv)	Hardness as quenched (Hv)	Hardness after tempering (Hv)	Hardness as quenched (Hv)	Hardness after tempering (Hv)
51	775	318	725	305	725	308
52	741	321	705	326	746	321
53	725	326	752	341	730	326
54	769	339	730	346	715	341
55	715	355	710	353	769	355
56	700	360	710	360	715	355
57	720	366	725	368	700	368
58	730	370	757	373	720	377
59	705	371	720	379	763	383
60	736	373	730	385	700	396
61	705	389	741	398	757	396
62	746	396	715	413	705	398
63	710	402	720	420	757	409
64	715	409	769	422	705	418
65	730	413	710	425	725	429
66	715	413	720	432	700	439
67	741	420	705	439	775	454
68	700	420	730	446	715	(484)
69	695	422	741	446	705	(496)
70	741	441	725	451	690	(508)
71	710	444	720	457	—	—
72	736	449	715	459	—	—
73	715	449	720	467	—	—
74	730	459	730	470	—	—
75	700	473	715	476	—	—
76	700	496	741	481	—	—
77	695	537	705	484	—	—

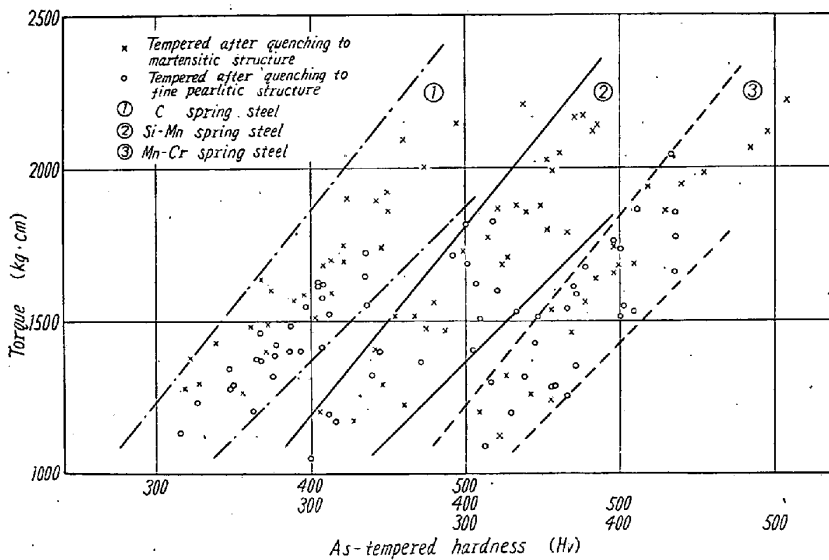


Fig. 2. Relation between hardness and 0.3% yielding torque for spring steels.

振り角度曲線”の屈曲点である見掛比例限度の値を見ると、これは各硬度を通じて 0.3% 振り降伏点の $81 \pm 2\%$ と見做された。

III. 曲げ性能

1. 試料および実験法

試料としては Table 1 に示したばね鋼の中 No. 1~3 を前節同様の方法と条件とで巾 10mm・厚さ 4mm・長さ 120mm に仕上げたものおよび同表中の No. 13 を 850°C で焼準したものから前報³⁾の結論に基づいて Mn-Cr 鋼のベイナイト焼入寸法である径 60mm 長さ 400mm のものを油焼入したものの中央部から削り出した上記と同一寸法の試片に対して Table 2 の焼戻を行なったものを使用し、試験終了後各試片の組織を確かめて数値の取捨を行なった。

また、実験としてはアムスラー式 300 kg 型試験機を用い、支え金具の支点間の距離を 99.6mm ・押金具の先端半径を 5.0mm とした曲げ試験を行なってダイ

ヤルゲージによる試片の撓み量 0.2mm ごとの荷重を讀取った。

2. 実験結果および考察

試片は前節と同様、細粒パーライト・マルテンサイトおよび Table 6 のような目的通りの硬さのベイナイトとなつたが、今これらの各試験片について画いた“撓み

Table 6. Hardness of test pieces as quenched to bainitic structure.

No. of test pieces	Hardness after tempering (Hv)	No. of test pieces	Hardness after tempering (Hv)
B201	337	B211	321
B202	330	B212	341
B203	310	B213	352
B204	323	B214	380
B205	368	B215	295
B206	390	B216	310
B207	403	B217	321
B208	385	B218	398
B209	366	B219	410
B210	360	B220	345

* Oil quenching: cf. Table 3.
* Tempering: cf. Table 3.

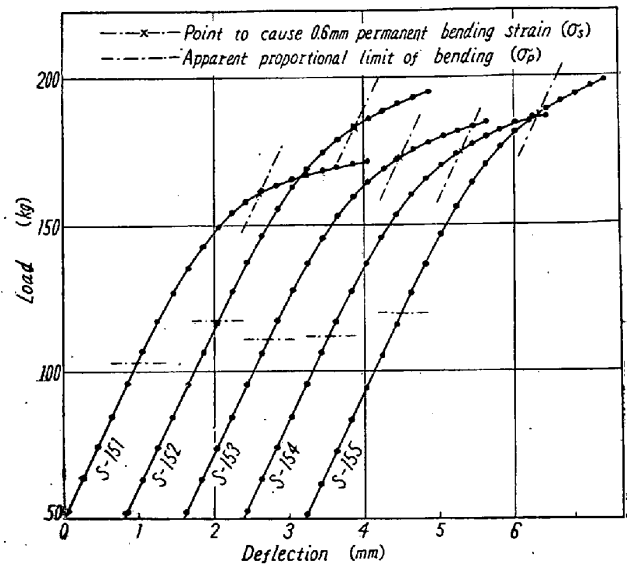


Fig. 3. Example of bending test for Si-Mn spring steel as tempered after quenching to martensitic structure.

一荷重曲線”の中から二、三の例を示せば Fig. 3 のとおりであり、全試験片について求めた見掛比例限度の値を整理すると Fig. 4 の①~③が得られる。そしてこの傾向は前節の振り実験の結果と良く一致しているが、C鋼における細粒パーライト焼入鋼とマルテンサイト焼入鋼の見掛比例限度の差は 12%、Si-Mn 鋼の場合のそれは 7%、Mn-Cr 鋼の場合には差異はないように測定された。

なお測定の正確を期するために行なった、ある程度の永久歪を生ずる任意の点としての 0.6mm 永久歪荷重点によるばね硬度の中心値 Hv 410 の所のチェックでは誤差 ±0.1% の違いしかなかった。ただし数値は 156% である。

つぎにベイナイト試片に対して上記と同様の実験を行なつて求めた“撓み一荷重曲線”からの見掛比例限度の値を、細粒パーライトまたはマルテンサイト焼入した同一鋼の見掛比例限度分布図の上に重ねると Fig. 4 の④が得られ、3者の性能は等しいことがわかった。

また前節(Ⅱ)と本節(Ⅲ)の実験では振り試験と曲げ試験との間に多少の差異が現われたので、振りと曲げの降伏点の関係を確かめる目的で、普通に使われる剪断応力の計算式* および彎曲応力の計算式**を用いて両者の応力関係を調べて見た結果は、曲げに対する振りの割合が硬度においてC鋼 0.62・Si-Mn 鋼 0.59・Mn-Cr 鋼 0.58 となり、鋼種に関係なく一般に使われる 0.577

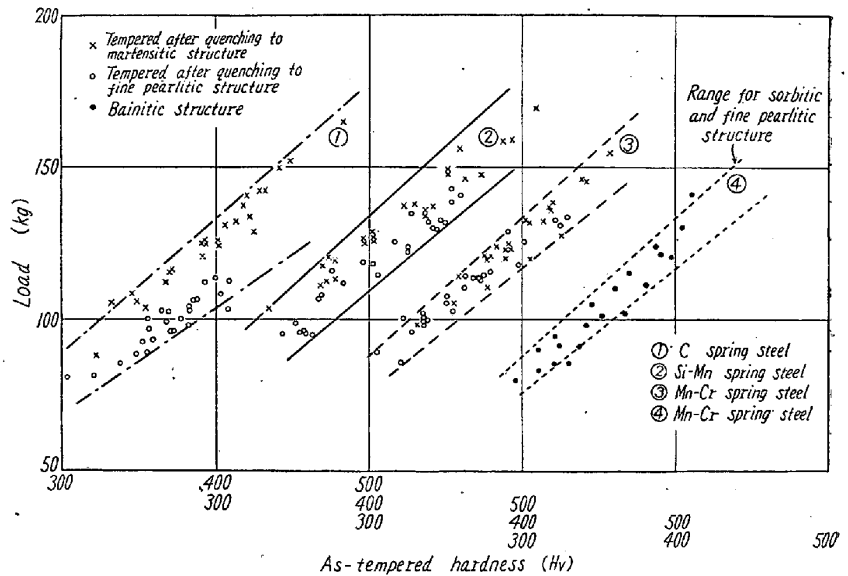


Fig. 4. Relation between hardness and proportional limit of bending for spring steels.

と良く一致した許りでなく実験者による測定のばらつきである 0.5~1¹³⁾のきわめて狭い部分におさまっていた。

- * $\tau = 16T / \pi d^3$
 τ = 剪断応力 (kg/mm²)
 T = 振りモーメント (kg·mm)
 d = 試片の径 (mm)
- ** $\sigma = 1.5WL / bt^2$
 σ = 曲げ応力 (kg/mm²)
 L = 支点間の距離 (mm)
 W = 荷重 (kg)
 b = 試片の巾 (mm)
 t = 試片の厚さ (mm)

IV. 回転曲げ疲労性能

1. 試料および実験法

試料の選定・熱処理区分・仕上げの程度などは前節Ⅰと同様であり、試片は全長 210mm、把み部分 $16\phi \times 80\text{mm}$ 、有効部分 $10\phi \times 35\text{mm}$ の標準寸法の小野式回転曲げ試片である。各試片は試験終了後その組織を確かめ数値を取捨した。

実験には回転曲げ疲労試験機を使用した。この場合試片の有効部に対しては乳化油による冷却を行なつて発熱に具へた。

2. 実験結果および考察

実験の結果は Fig. 5~6 に示すごとくであつて、各鋼種共細粒パーライト組織のものとソルバイト組織のものとの間に明確な違いを見出すことはできないが、これを過去の実験と組合せるときは Fig. 7 が得られることになつて、両組織鋼の関係は一層明瞭になる。

すなわち Fig. 7 において、直線①は疲労限度が抗張力の 1/2 に当ることを現わした例¹⁴⁾、範囲②¹⁴⁾、および③¹⁵⁾はともに回転曲げ疲労における数値分散の巾を示した例、点の集団④¹⁶⁾および⑤¹⁷⁾は焼入条件の違いが焼戻後の疲労限度におよぼす影響を説明したものの例であるが、今これらを総合的に見ると上記の④および⑤によつて熱処理組織の影響を導き出すのは無理のように思われ

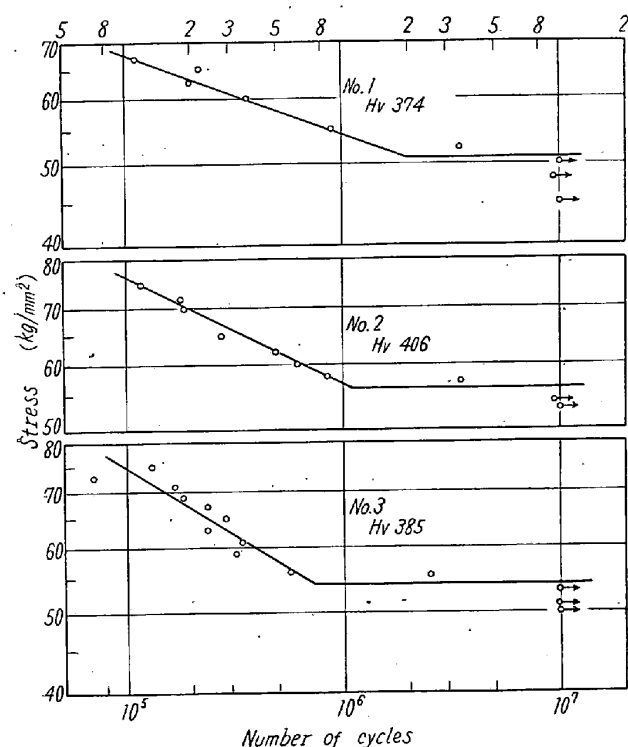


Fig. 5. Logarithmic S-N curves for sorbitic structure of spring steels.

る。ただしこの理由は、これら④および⑤の点の分散は②および③が述べているような、疲労試験という試験法で得られる数値分散域の中で散らばつていてと考えられることのために、直接焼入条件の違いが疲労強度に差を生じさせているとは結論し難いためであり、今回の実験結果である点の集団⑥も亦②および③の範囲内に収まつたのはもちろん、⑥の中における細粒パーライト・ベイナイト・ソルバイトなどの各組織鋼の疲労限度の値も組織的には区別できなかつたからである。

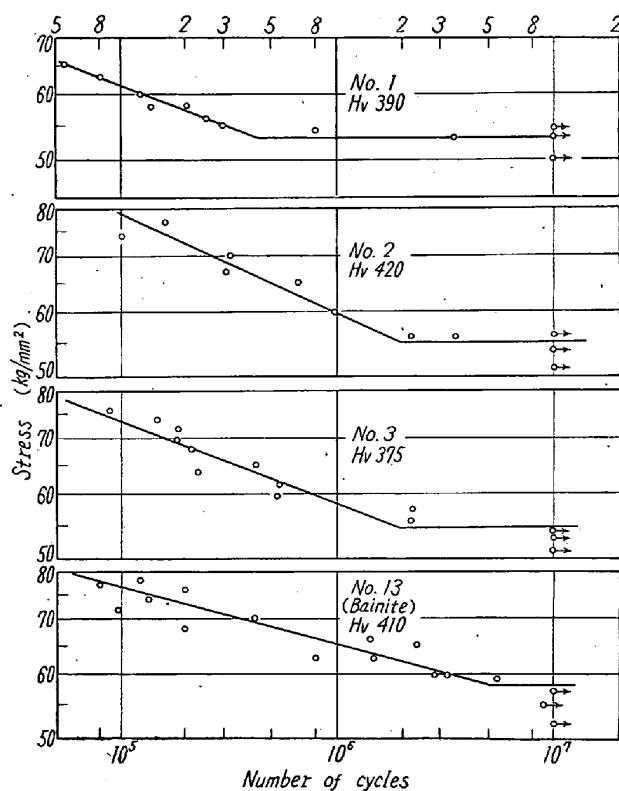


Fig. 6. Logarithmic S-N curves for fine pearlitic structure of spring steels.

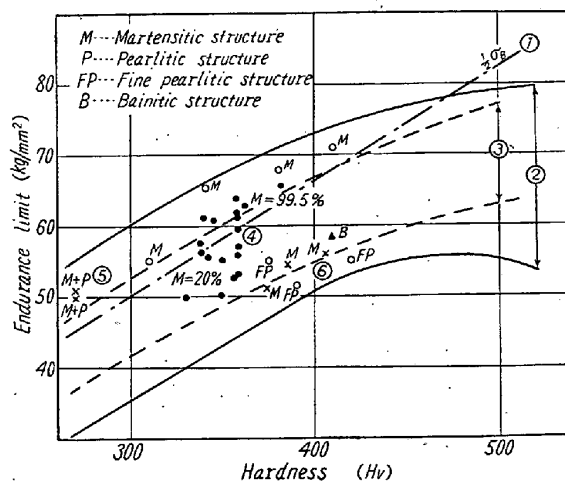


Fig. 7. Relation between microstructure and endurance limit for spring steels.

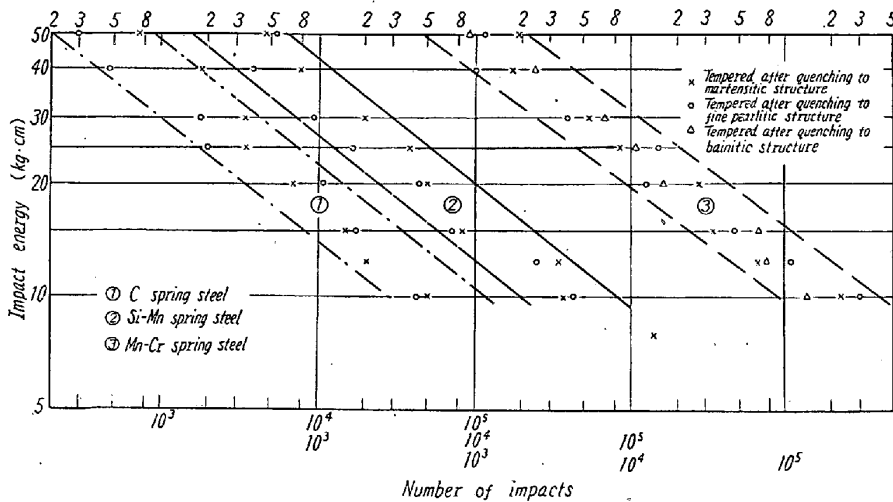


Fig. 8. Logarithmic E-N curves for spring steels.

V. 繰返衝撃性能

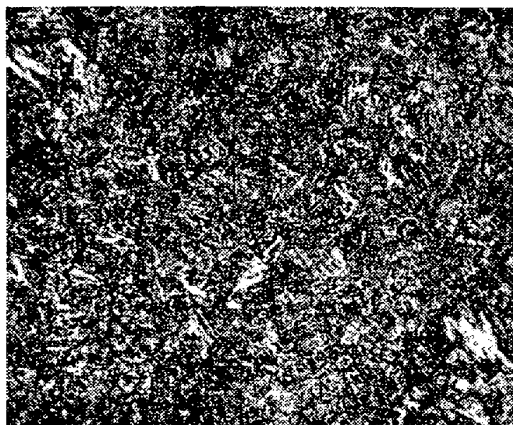
1. 試料および実験法

試料は前節 II の方法にしたがつて選定, 熱処理, 溝部の仕上げなどを行なった全長 160mm, 径 15mm, 有効部分 12φ×2.5mm Rノッチの標準寸法の松村式繰返衝撃試験片にし, 試験終了後その組織を確めて数値の取捨を行なった。

実験には繰返衝撃曲疲試験機を使用し, いろいろの衝撃エネルギーの下での試片の強度を調べた。

2. 実験結果および考察

実験の結果は Fig. 8 に示すとおりであつて, 各ばね鋼共細粒パーライト組織のものとソルバイト組織のものとの間に強度上の差異を見出すことはできないが, これは衝撃エネルギー 10~50 kg·cmの間共通である。またこの間の衝撃強度と繰返衝撃回数との関係が両対数座標の上で直線になることはすでに知られている所^{18)~20)}で



Hv 389 ×400 (4/5)

Fig. 9. Microstructure of a fine pearlite test piece.



Hv 410 ×400 (4/5)

Fig. 10. Microstructure of a bainite test piece.

もあり, 繰返衝撃と疲労との関連²¹⁾から見ても本実験の結果と前節 II の結果とは正常な相互関係にあるものと考えてよからう。

つぎに Fig. 9~10 として本実験が取扱つて来たばね鋼の Slack 焼入による細粒パーライト組織および大型試片の油焼入によつて得られるベイナイト組織 (Mn-Cr 鋼) の例をばね硬度範囲内のものの焼戻組織について示す。

VI. 総 括

本実験は現用ばね鋼の主体である C 鋼・Si-Mn 鋼・Mn-Cr 鋼の純粋なソルバイト・細粒パーライトおよびベイナイト組織を対象にして, 振り曲げ, 疲労, 繰返衝撃などのばね的な性能を調べたものであるが, いまその結果を収約するとつぎのごとくである。

1. 静的な振り比例限は, 各鋼ともばね硬度の範囲内において硬さに比例する。
2. 各鋼のソルバイト組織の振り比例限は同一であるが, これと細粒パーライト組織の振り比例限とを比較すると炭素鋼が 8%ほど低い外, 合金鋼では変りがない。
3. 静的な曲げ比例限は, 各鋼ともばね硬度の範囲内において硬さに比例する。
4. 各鋼のソルバイト組織の曲げ比例限は同一であるが, これと細粒パーライトまたはベイナイト組織の曲げ比例限とを比較すると, C 鋼は 12%・Si-Mn 鋼は 7%ほど低く, Mn-Cr 鋼には変りがないように測定された。

5. 疲労強度は同一硬度のソルバイト組織・細粒パーライト組織およびベイナイト組織鋼の間で差違を生じなかつた許りでなく、この場合の疲労限の値は従来の諸実験結果によく似ていた。

6. 繰返衝撃強度は同一硬度のソルバイト組織・細粒パーライト組織およびベイナイト組織鋼の間で差違を生じなかつた。

以上の結果から見て、スラック焼入とラピッド焼入とを施したばね鋼の間には、焼戻後僅かにばね的な性質上の違いが認められるだけで、合金ばね鋼ことに Mn-Cr 鋼においてはばね性能の面での両者の差別は不必要なことを知り得た²²⁾。(昭和 36 年 4 月寄稿)

文 献

- 1) 内山: 日鉄鋼協会第 36 回大会発表
- 2) 内山, 関: バネ論文集, 3 (1955) 19
- 3) 内山, 関: バネ論文集, 7 (1961) に掲載の予定
- 4) JIS: G4801 (1959)
- 5) DIN: (1952) 17220
- 6) UNI: (1954) 3545
- 7) BSS: (1955) 970
- 8) IUR: (1954) 820~0

- 9) E. HOUDREMONT: Handbuch der Sonderstahlkunde (1956) 456, 518, 675, 769, 1168
- 10) VDEh: Werkstoff Handbuch, Stahl u. Eisen (1953) Q 11
- 11) アグネ: 金属, 別冊, 7 (1958)
- 12) 佐藤, 市原: 日本機械学会論文集, 25 (1940) 1~64
- 13) 日本学術振興会: 金属材料, I, 応力論, (1938) 16
- 14) U. S. Steel Co.: The Making, Shaping and Treating of Steel, (1951) 1407
- 15) 日本バネ協会: ばね論文集, 6 (1959) 41
- 16) F. BORIK, R. D. CHAPMAN, W. E. JOMINY: Trans Amer. Soc. Metals, 50 (1958) 242
- 17) J. H. HOLLOWAY, L. D. JAFFE, D. E. MCCARTHY, M. R. NORTON: Trans Amer. Soc. Metals, 38 (1947) 807
- 18) 内山, 関: 鉄と鋼, 38 (1952) 91
- 19) G. A. HANKINS, H. R. MILLS: J. Iron & Steel Inst., (U.K.) 131 (1935) 165
- 20) 内山, 上正原: バネ論文集, 7 (1961) に掲載の予定
- 21) 上正原: 未発表
- 22) 内山, 関口: バネ論文集, 7 (1961) に掲載の予定

18 Cr-12 Ni 系ステンレス鋼の諸性質に およぼす N および B の影響*

中 川 竜 一**・乙 黒 靖 男**

Effect of N and B on Properties of 18Cr-12Ni Stainless Steel.

Ryuichi NAKAGAWA and Yasuo OTOGURO

Synopsis:

In previous reports (Tetsu-to-Hagane 45, 11, 1276; 46, 5, 566; 46, 14, 1758), the authors reported the effect of Nb, Ti, W and Mo on properties of 18Cr-12Ni austenitic stainless steels.

This report concerned the effect of N and B on aging behavior, microstructure, precipitates, tensile properties at various temperatures and creep-rupture strength of the same steel.

The following results were obtained:

- 1) The specimen with N was scarcely hardened during aging. The specimen with B was hardened when the C content was higher.
- 2) In the specimen with N, precipitates of $Cr_{23}C_6$ and Cr_2N were observed. In the specimen with B, CrB_2 , Fe_2B and B_4C remained after solution treatment for one hour at $1100^\circ C$ and $Cr_{23}C_6$ precipitated during aging.
- 3) Tensile strength was increased linearly with the increase of N content at all testing temperatures, but that of the specimen containing B was raised with the increase of B content below $600^\circ C$.

* 昭和 35 年 10 月本会講演大会にて講演 ** 金属材料技術研究所