

(a.3) 外径減少率 15% を超えると逆に半角小なるダイスで空引きした鋼管の方が残留応力が大となる。

(a.4) 外径減少率 10~15% ではダイス半角の影響が殆んど認められない。

b) 玉引きの場合

(b.1) 残留応力は玉引きにより肉厚減少を行うと減少し肉厚減少率の増加に従って顕著に減少する。

(b.2) 肉厚減少率 10% 程度の場合、一般に外径減少率、ダイス半角の増加に伴い残留応力も増加する。

(b.3) 肉厚減少率 20% 程度の場合、外径減少率、ダイス半角小なる場合は外表面に可成りの負の応力が残るが、これはダイス半角の増加により減少する。外径減少率がこれより大なる場合には、この現象は認められず、ダイス半角に関係なく、比較的小さな正の残留応力が生ずる。

(b.4) 従つて鋼管の冷間加工においては、適度な外径減少と充分な肉厚減少を与えれば残留応力の小さい引抜鋼管が得られる。

以上各種の条件で引抜いた試料につき残留応力を測定し現象的に上の諸点を明らかにしたが、それ等の理由については現在検討中でなお結論的な事は言い得ない。また素管肉厚外径寸法比の異なる場合、逆張力の影響等については今後更に研究をすすめたいと思つている。

本研究は日本特殊鋼管本社工場において須永巳代次社長以下関係各位の御指導、御援助の下に行われ、社外より東京大学生産技術研究所鈴木弘教授に種々有益な御助言御教示を頂いた。ここに深く感謝する。

また本実験に必要な工作は当社研究課清水藤重君により、測定は佐藤次男君により極めて満足な精度で行われたものである事を茲に記し、謝辞に代える。

(昭和 30 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 今井 宏: 鉄と鋼, 42 (1956) No. 1. p. 23~28
- 2) G. Sachs & G. Espey: Metals Technology A.I.M.E. Tech. Publ. No. 1386, Oct. 1941
- 3) 岡本豊彦: 住友金属 6 (1954) 2, p.85~102

## 含ボロンばね鋼 TS50 B60 に関する研究 (I)\*

安 田 洋 一\*\*・鈴木 吉 弥\*\*\*

### STUDIES ON THE BORON-TREATED SPRING STEEL TS50 B60 (I)

*Yoichi Yasuda and Kichiya Suzuki*

Synopsis:

It is reported by American investigators that B-treated Cr steel TS50B60 showed very good results for leaf or coil spring material of trucks, tractors and passenger cars. But in our country there is few data about this steel, and so the authors studied the properties of TS50B60 in comparison with SUP 6 (Si-Mn steel), SAE 5160 (Mn-Cr steel) and SAE 6150 (Cr-V steel) as minutely as possible.

Results of the studies were as follows:

1) Non-metallic inclusions.

There was little difference between different steels and so the influence of B-addition was not found.

2) Transformation points.

High temperature order was as follows:

A<sub>1</sub> point: SAE6150 > SAE5160 = SUP6 > TS50B60

A<sub>3</sub> point: SAE6150 > SAE5160 > TS50B60 = SUP6

3) Hardenability.

D<sub>1</sub>, calculated from the measured Jominy curves, were 115mm for SAE6150, 100mm for SAE 5160, 97mm for TS50B60 and 53mm for SUP 6. The fading phenomena of B were not seen. The results of dilatometric observation at quenching were as same as above.

4) Tendency of quenching cracks.

The residual stress of quenched specimen showed the transformation type for different steels

\* 昭和 30 年 4 月本会講演大会にて講演 \*\* 大同製鋼株式会社平井工場技術課 \*\*\* 同

and had good coincidence with the tendency of quenching cracks that is in next order, SAE6150>SAE5160>TS50B60>SUP6.

5) Grain growth characteristics.

Under 1050°C there was no marked difference and above this temperature grain growth became eminent, but TS50B60 was the most stable.

6) Decarburization, scaling and surface roughness at heating.

Decarburization depth was greatest at SUP 6 and became smaller in the next order, SAE 6150> SAE5160>TS50B60, but the tendency of scaling showed the inverse order to above. Surface roughness was best at SUP 6 and worst at SAE5160.

## I. 緒 言

低 Cr 鋼をボロン処理した TS50B60 は、ばね鋼としてアメリカにおいて製造され良好な成績が得られたといわれている<sup>1)2)</sup>。我国においても2, 3試作されている様であるが<sup>3)4)</sup>その詳細なデータは比較的少ない、この鋼種は製造原価から見ても現在我国で自動車用ばね鋼として最も広く用いられている SUP6 等より特に高くなるとは考えられないので後者より材質的に優れている点があれば、ばね鋼として有望なものと考えられる。

我々は今後のばね用鋼種選定の資料に供すべく SUP6 (Si-Mn 鋼)を始め最近検討されつつある SAE5160(Cr 鋼) および SAE6150 (Cr-V 鋼) の低合金系3鋼種と比較試験の形において特にばね製造並びにばねの性能において問題となる諸性質についてできるだけ詳しく試験を行つた。

## II. 試 料

各鋼とも8t塩基性電弧炉において溶解を行い260kg φ 型鋼塊に鑄造したものである。ボロン鋼 TS50B60 は高級合金鋼溶解作業標準に従い脱酸、脱窒を充分行いボ

ロンの添加は Fe-Ti-B (B 3.1%, Ti 30.5%, Al 22.7%, Si 1.5%) を t 当り 1.40 kg (0.0035% 目標, 歩留 80%) 取鍋添加した。各鋼とも 260 kg φ 型鋼塊より皮削, 酸洗, 疵取を行い 80 中 ビレットに半成圧延後 7×70 mm, 32 φ mm の平鋼および棒鋼にした, Table 1 に各鋼の化学成分および規格を示す。各鋼とも供試材は 1 チャージであり, かつ化学成分値も規格中央にない場合も多く鋼種検討の場合は将来再吟味必要の点も出るかも知れぬが一応の目安とはなり得ると信ずる。なお以下の試験においては簡単にするため Table 1 に示した略号で呼称する。

## III. 試験方法及結果

### 1) 非金属介在物

平鋼より試料を採取して学振法により非金属介在物の測定を行つた。その結果は Table 2 の通りで A 系は清浄度 0.5~0.6 平均厚さ 1~2 μ, B 系は清浄度 1.0~1.3 平均厚さ 3 μ で各種とも差がなく, また B 鋼において懸念されたボロン処理による非金属介在物の増加は認められなかつた。

Table 1. Composition of steels used

Sample name	Steel	Specification charge No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	B	N		
B	AISI TS50B60	Specification 6165	0.55	0.20	0.75	≤0.040	≤0.040	0.40	~	~	≤0.35	~	0.0005 min.	~		
			0.65	0.35	1.00										0.60	
			0.65	0.26	0.82										0.028	0.015
S	JIS SUP6	Specification 5684	0.55	1.50	0.70	≤0.035	≤0.035	0.30	0.20	~	~	≤0.35	~	~	~	
			0.65	1.80	1.00											
			0.60	1.70	0.75											0.019
V	SAE 6150	Specification 7195	0.48	0.20	0.70	≤0.040	≤0.040	0.80	~	~	~	~	≤0.15	~	~	
			0.53	0.35	0.90											1.10
			0.53	0.30	0.70											0.020
M	SAE 5160	Specification 5935	0.55	0.20	0.75	≤0.040	≤0.040	0.70	~	~	~	~	~	~	~	
			0.65	0.35	1.00											0.90
			0.60	0.30	0.76											0.021

Table 2. Non-metallic inclusions.

Steel	A-type		B-type	
	Inclusion	$\mu$	Inclusions	$\mu$
TS50B60	0.5	1	1.3	3
SUP 6	0.5	2	1.3	3
SAE6150	0.5	1	1.1	3
SAE5160	0.6	1	1.0	3

2) 変態点

本多一佐藤式膨脹計にて変態点を測定した結果は、Table 3 の通りで TS50B60 は他鋼に比較し低目である。即ち  $A_1$  点は V鋼>M鋼=S鋼>B鋼、また  $A_3$  点については、V鋼>M鋼>B鋼=S鋼順である。

Table 3. Transformation point.

Steel	$A_{c1}$	$A_{c3}$	$A_{r3}$	$A_{r1}$
TS50B60	739	769	687	658
SUP 6	745	776	686	668
SAE6150	755	787	700	669
SAE5160	749	775	695	670

3) ジョミニイ焼入性試験

B鋼はボロンの効果および Fading を調査するために試験片を炉中(無ボロン)、鑄込始、中、終期より採取して試験を行つた。その結果は Fig. 1 に示す如くボロンの効果は明瞭であり、また Fading は認められなかつた(註: その後の実験によればボロンの Fading は母合金の添加法に注意すれば殆んど起らぬ様である) また他鋼のジョミニイ試験は鑄込中期の試料で行つたが、その結果は Fig. 1 の通りである。AISI による B鋼と M鋼の H-Band では下限は同一であり上限は B鋼の方が高く平均して B鋼の方が焼入性がよいのであるが我々の測定値では大差のない結果になつている。これは Cr% が規格の下限である事と窒素の含有量(0.0072%) から見てボロンが100%は効かなかつたのではないかと考えられる。図の曲線より計算した焼入理想直径  $D_1$ (mm) は V鋼 115, M鋼 100, B鋼 97, S鋼 54 であり B鋼はボロンの作用によつて合金元素が比較的少いに拘らず M鋼と大差なく現用の S鋼より相当高い硬化能を有する。また Jominy curve から Hoyt の Matal Data の方法により板ばねとして油焼入する場合板の中心迄硬化し得る寸法を求めると V鋼 42mm, M鋼 35mm, B鋼 33mm, S鋼 16mm となる。斯くの如く B鋼はブルトナー用の厚い板ばねや車輛用の大きいコイルばねの材料として SUP 6 よりも適している事が判るが、通常寸法のものにおいても焼入操作のバラッキからくる焼入、焼戻、硬度のムラも減少し均一な製品が得られる訳であ

り我々の工場の量産成績においてこれが実証されている。

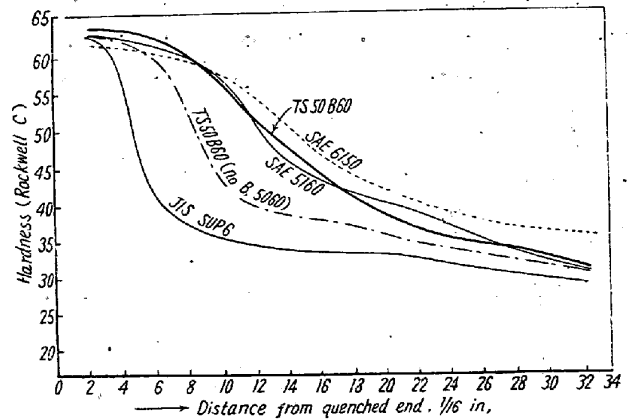


Fig. 1. Results of hardenability tests.

4) 焼入熱膨脹曲線

佐藤式焼入試験機にて油焼入および空冷した場合の焼入曲線を求め夫々の場合の  $A_{r1}$  変態点を測定した。試験片は  $890^{\circ}\text{C} \times 30'$  焼準の後  $5\phi \times 70l\text{mm}$  に機械仕上げしたものを用い、油冷は  $30^{\circ}\text{C}$  の菜種油中にて攪拌、空冷は室温  $23^{\circ}\text{C}$  の気中へ放冷の試験結果である。

M鋼は空冷においても  $430^{\circ}\text{C}$  にて  $A_{r1}$   $260^{\circ}\text{C}$  に  $A_{r2}$  を生じて、所謂自硬性を示しその他の鋼における  $A_{r1}$  点は V鋼>B鋼>S鋼の順に高く  $A_{r2}$  点はあられもない。先の Jominy curve と併せると V鋼と M鋼の関係は逆になるが B鋼が S鋼より相当焼入性のよいことは一致している。また  $A_{r2}$  は S鋼>B鋼>V鋼>M鋼の順に高かつた。

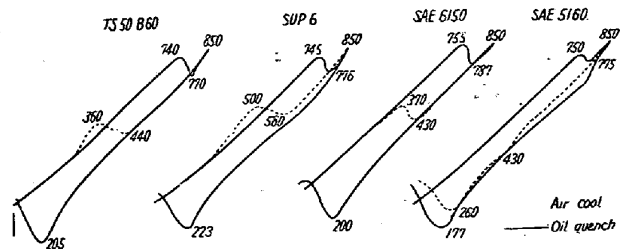


Fig. 2. Dilatometric curves of quenched specimens.

5) 焼入残留応力の測定<sup>9)10)11)</sup>

焼割感受性の参考資料とするため焼入残留応力を Héyn の方法で測定した。試験片は  $890^{\circ}\text{C} \times 30'$  焼準の後  $5\phi \times 70l\text{mm}$  に機械仕上げし  $850^{\circ}\text{C}$  で油焼入したものを使用し、試験片は両端を蠟で防蝕し硝酸溶液で溶解、その際の溶解断面積に対する長さの変化を  $10^{-3}\text{mm}$  迄正確に測定し残留応力を次式によつて計算した。

$$\sigma_n = E/l \times [f_n(l_n - l) - f_{n-1}(l_{n-1} - l)] / f_n$$

$E$ : ヤング率  $21 \cdot 000 \text{ kg/mm}^2$ ,  $l$ : 最初の長さ,  $l_n$ : 第  $n$  層を除去した時の長さ,  $f_n$ : 第  $n$  層の断面積,  $f_n'$ : 第  $n$  層を除去した残りの断面積

以上の方法は軸方向応力を求めたのであり焼割性検討の場合には切線方向の応力分布の測定も必要であるが諸文献によると切線方向の応力分布は略々軸方向の応力分布と同じ傾向を持つ事が知られているので測定の容易な軸方向の応力を求めた。測定結果は Fig. 3 の如くで各鋼とも変態応力型である。即ち鋼を高温から急冷すると内外の温度差に基く熱応力が発生するがこの場合この熱応力がその鋼の弾性限を越えその一部に塑性変形が起ると常温になつてもその内部に応力が残留する事になる。一般に鋼の焼入による残留応力の生起の過程は変態前の熱収縮によるもの、変態の膨張によるもの、変態後の熱収縮によるものに分けられ残留応力はその合成結果として得られる事になる。今4鋼種の残留応力を比較すると応力の大きさ順はV鋼>M鋼>B鋼>S鋼で何れも中心部は圧縮力、表面部は張力を受けており変態応力型である。残留応力はその鋼の成分による焼入性により左右されるが、焼入時の  $Ar''$ ,  $Ar'$  に大きく影響される。これを Fig. 2 の曲線と比較すれば  $Ar''$  の低いもの程、応力が高くS鋼は4鋼種の中で一番高温で変態が起りまた変態後も熱収縮のため表面附近は応力が少なくなっている。

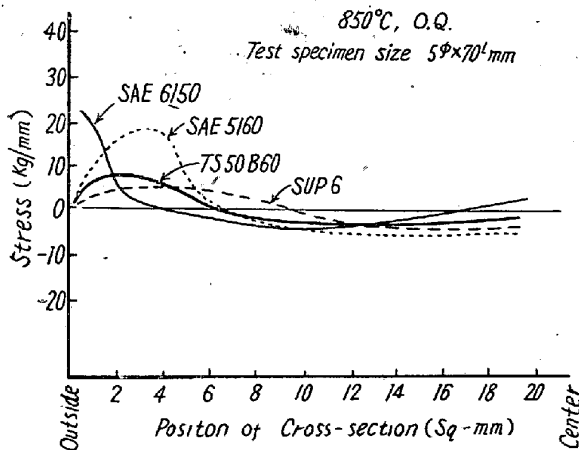


Fig. 3. Results of residual stress tests.

6) 焼割感受性試験<sup>12)</sup>

平ばねについて焼割傾向を調査するため、 $6 \times 7 \times 100 \text{ mm}$ の試験片(表面脱炭層をグラインダーにて研削)で  $750 \sim 950^\circ\text{C}$  間を3種に加熱の後水および油焼入し加熱温度、焼入剤の焼割におよぼす影響を試験した。その結果は油焼入においては何れも焼割は認められず水焼入による焼割の傾向は Photo 1 (V鋼は省略してあるが焼割傾向はM鋼>B鋼>V鋼>S鋼)の通りで  $Ar''$  温度の低い程、割れ易い事を示している。V鋼が焼入残留応

力が高い(試験片の寸法が異なれば一概にはいえぬが)にかかわらず焼割の少いのは高温における機械的性質が優れているためとも思われる。

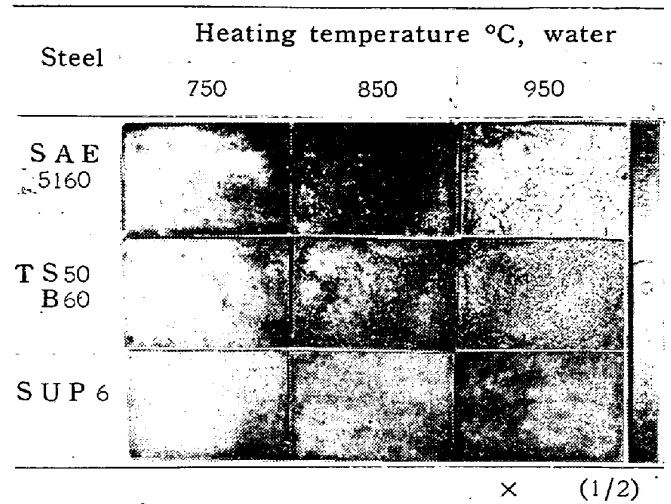


Photo. 1. Relations between quenching-cracks and quenching temperature.

7) 結晶粒成長試験

$850 \sim 1150^\circ\text{C}$  間に30分加熱し結晶粒の成長傾向を試験した結果、各鋼とも  $1050^\circ\text{C}$  以下においては大差なくそれ以上では急に成長するがB鋼は他鋼に比較し安定している。(Fig. 4 参照)これはボロン合金中のTi, Alの影響もあると思われる。なおばね鋼の結晶粒は切欠脆性に大きく影響するといわれている<sup>9)</sup>。

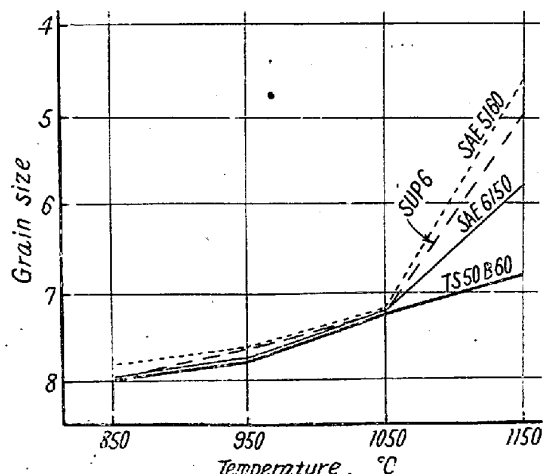


Fig. 4. Grain-growth characteristics.

8) 脱炭性試験

加熱条件と脱炭、表面肌アレの関係を調査する事はばねの熱処理上非常に有意義な事である。殊にばね鋼の疲労強度は表面状況(肌アレ、脱炭)に左右される所大きく合金成分以上の重要性さへ持つものである。試験はバフ研磨迄仕上げられた小試験片 ( $25 \times 20 \times 5 \text{ mm}$ ) を Fig. 5 に示す加熱炉に入れ乾燥した空気を  $0.5 \text{ cc/mm}^2/$

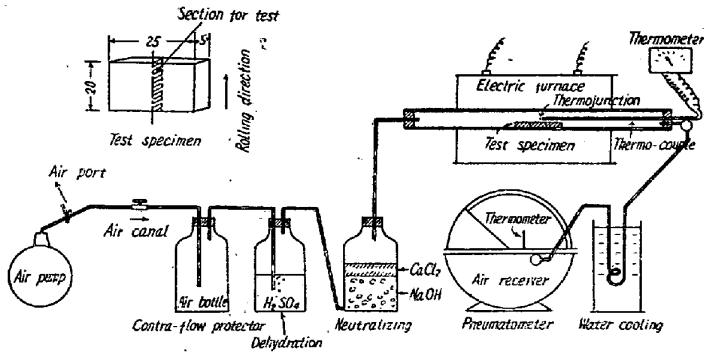


Fig. 5. Furnace for decarburization test.

10mm の速度で送り 850~1150°C 間4種に 30 分間保持の後徐冷し脱炭状況を試験した。

測定結果は Fig. 6 および Photo. 2 に示すが脱炭傾向は次の通りである。Ferrite 100% の深さ、S鋼>(V鋼=B鋼=M鋼: Ferrite 100% の部分なし) Ferrite 50% の深さ、S鋼>V鋼>M鋼>B鋼、組織のvari目迄の深さS鋼>V鋼>M鋼>B鋼、B鋼は最も脱炭が少なくS鋼は最も脱炭し易い。この事は疲労強度に大きな影響があるものと考えられる。

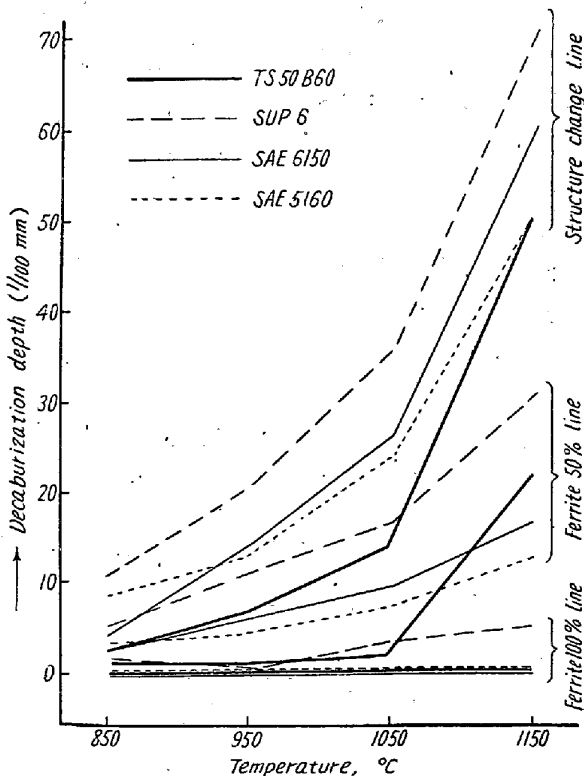


Fig. 6. Tendency of decarburization.

9) スケールの発生傾向

前項の脱炭試験の場合と同一試料を用いスケール層を顕微鏡で精密に測定した。その結果は Fig. 7 に示す通りで脱炭性と逆の傾向にあり、合金元素含有量の少ない

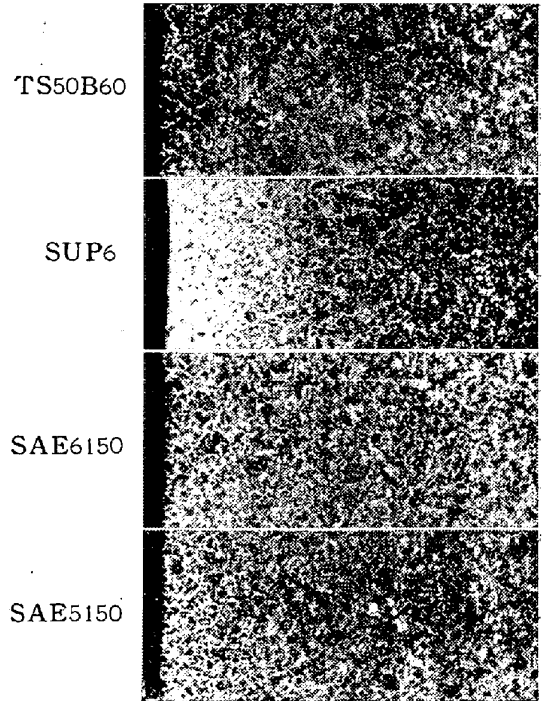


Photo. 2. Tendency of decarburization. Microscopic structure of decarburization, heating at 1050°C for 30mn. ×100(1/2)

B鋼, M鋼はスケールの発生が多くS鋼は最も少ない。脱炭とスケール生成は合金元素の作用によつてOが主としてFeと結合するか或いはCと反応するかによつて定まるため相反的となるものである。

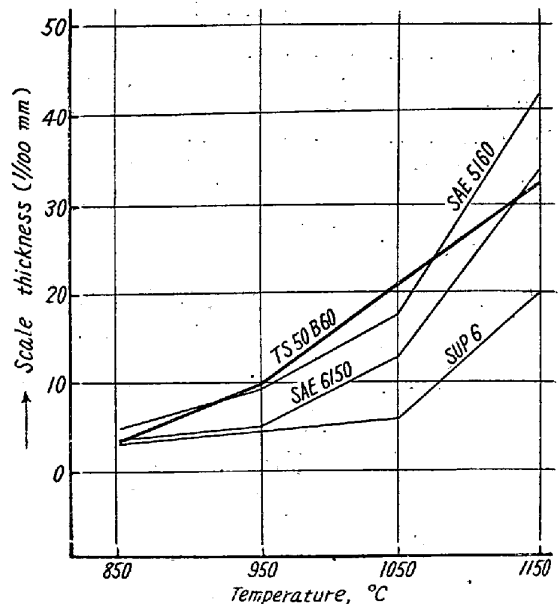
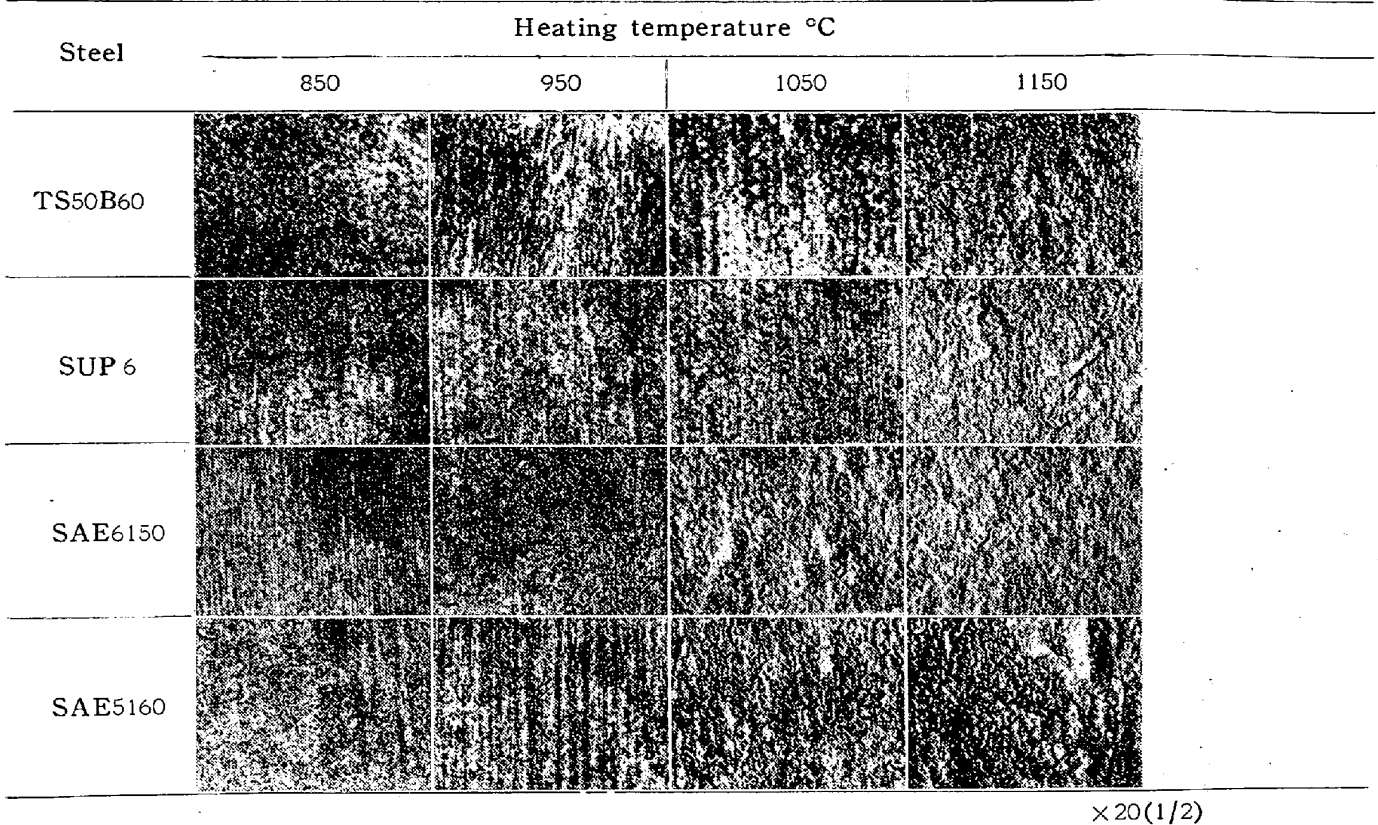


Fig. 7. Tendency of scale formation.

10) 表面肌アレ傾向

ばねの疲労強度に影響する表面肌の状況を脱炭試験の場合と同一試料を用い試験した。測定方法は約350°Cの



×20(1/2)

Photo. 3. Surface state of heat treated specimen, heating at different temperatures for 30mn.

溶融苛性ソーダ(融点 320°C: 溶融苛性ソーダは地鉄をおかさずスケールのみを溶かす)にて脱スケール後30度の投射光線にて写真撮影して表面状況を比較した。Photo. 3はこの加熱温度と表面肌の関係を示したものである。表面肌の状況は総合的に見てS鋼が一番よいが高温になると結晶粒が急に成長するためかスケールの厚いB鋼より劣る。M鋼は総合的に見てCr含有量が多くスケールのはがれが悪いいためか表面肌が一番劣る様である。

#### IV. 結 言

以上第1報には主として基礎的材質の試験を行ったがTS50B60は製鋼上および圧延上においても難点は認められず焼入性もSAE5160と殆んど同様でSUP 6よりは遙かによく焼割も油焼入では心配ない。熱に対してはスケールの発生および高温加熱での肌の状況等は、SUP 6に劣るが脱炭層は非常に少くむしろこの事はばね鋼の生命とする疲労限には有利な一要素である。

(昭和 30 年 7 月 寄稿)

#### 文 献

- 1) Louis J. Rohl: J.I.S.I. 176 (1954) 173
- 2) Knowlton H.B.: J.I.S.I. 176 (1954) 201
- 3) 高橋, 西原, 中野, 牧岡: 鉄と鋼 (48回講演) 40 (1954) 969
- 4) 河井, 井上: 鉄と鋼 (49回講演) 41 (1955) 273
- 5) 内山: 鉄と鋼 37 (1951) 45
- 6) 服部: ばね, 1931
- 7) 浅田, 海法: 電気製鋼, 23 (1952) 150
- 8) 竹内, 本間: 日本金属学会誌(A)14 (1950) No. 8, 21. No.9, 16. No.10,19. No.11,17. No.12, 26.
- 9) 菅野: 日本機械学会誌, 49 (1946) 128
- 10) 菅野, 阪本: 鉄と鋼, 36 (1950) 61, 548
- 11) 藤沢: 日本金属学会講演(春, 秋)43. 68
- 12) Clampman R.P. and Jominy W.E. 電気製鋼 25 (1954) 159