

規格範囲であるが変態点はやゝ異り、前記のごとき組織の相違を来し得る

ことはあり得ると思われる。また No. 4 と 5 とは Cr の影響を検討したものである。

いま No. 1 と 4 とを比較すると、No. 1 は Cr, Ni を規格の上限程度まで含有しているのに対し No. 4 は

これらを特別に添加しなかつたものであるので、この両試料の S 曲線を比較して見れば Fig. 1 のとおりである。

これによれば、Ferrite の析出し始める点もやゝ異なるが、特に炭化物 C (主に  $Fe_3C + Mo_2C$  に V が固溶) の析出する点が No. 4 よりも No. 1 の方が最大 2~3 h 右にずれており、同一温度で同一時間恒温処理したものであっても硬度はかなり異なる。従つて熱処理後の機械的性質もかわつてくるわけで、これらの点について報告する。

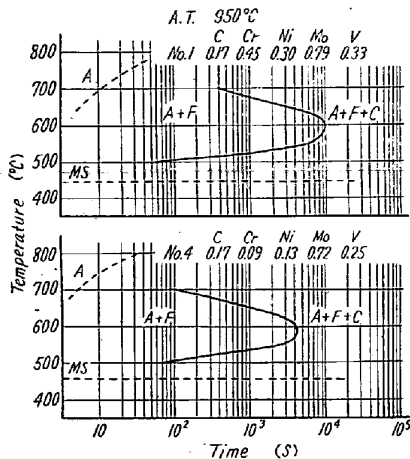


Fig. 1. S curves of Mo-V steel.

文 献

- 1) J. Glen, J. Iron & Steel Inst., 158 (1948), 37
- J. Glen, J. Iron & Steel Inst., 179 (1955), 320
- H. W. Kirby, C. Sykes, A Symposium on High-Temperature Steels and Alloys for Gas Turbines, Special Report No. 43(1952), 81

(126) 原子炉用高ボロン鋼の研究

川崎製鉄, 技術研究所

今井 光雄・中山 竜夫

○木下 繁雄・平田 二郎

Study of High-Boron Alloy Steels for Nuclear Reactors.

Mitsuo Imai, Tatsuo Nakayama, Shigeo Kinoshita, Jiro Hirata.

I. 緒 言

原子炉の制御および遮蔽用として、2~4% B を含む合金鋼が使用される。Fe に B を添加すると、靱性がいちじるしく失われるので、原子炉に使用されるまで工業的用途は無かつた。本研究は上記の目的に使用される Fe-B 合金、およびボロン、ステンレス鋼の鍛造性および機械的性質を調べたものである。

II. 試験材および試験方法

電解鉄, Cr, Ni, フェロボロン (10.6% B, 0.36% C, 2.4% Si, 0.26% P) を用い、75 kVA 高周波炉にて 75 mm 角、本体高さ 200 mm の上広押湯付角型鋼塊 (本体重量 11.5 kg) を熔製した。

熔製鋼種は、Fe-B 系, 18 Cr-10 Ni-B 系, 18Cr-B 系で化学組成の代表例を Table 1 に示す。

なお Fe-B 系では C, Si, Mn を添加した 18Cr-B 系では Si を添加して鍛造性におよぼす影響を調べた。

鋼塊押湯部を切断後、径 22 mm の丸棒に鍛造を行ない鍛造性を判定した。鍛造後の試片は焼鈍後 JIS 4 号試片とし引張試験を行った。

III. 鍛 造 性

(1) Fe-B 合金一

Table 1. Typical analyses of steels tested.

	B	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Al
Fe-B alloy	0.98	0.048	0.24	0.04	0.030	0.007	0.05	—	—	0.035
	2.00	0.087	0.42	0.06	0.048	0.007	0.08	—	—	0.035
	3.03	0.11	0.71	0.10	0.061	0.009	0.09	—	—	0.025
	3.29	0.14	0.73	0.12	0.058	0.003	0.09	—	—	0.041
	4.08	0.17	0.87	0.16	0.080	0.009	0.13	—	—	0.045
18%Cr-10%Ni-B alloy	1.16	0.066	0.72	0.54	0.024	0.019	0.04	18.34	9.78	0.024
	2.00	0.101	0.82	0.64	0.029	0.016	0.06	18.02	9.94	0.032
	2.54	0.117	0.56	0.09	0.036	0.019	0.07	20.80	10.22	0.002
18%Cr-B alloy	1.01	0.058	0.71	0.36	0.016	0.010	0.04	18.58	—	0.043
	2.10	0.095	0.51	0.44	0.020	0.007	0.06	18.70	—	0.057
	2.61	0.08	0.59	0.47	0.032	0.002	0.06	18.45	—	0.055

Wever と Mueller<sup>1)</sup> による Fe-B 系状態図では、Fe に B を加えると Fe<sub>2</sub>B を生じ、1174°C で共晶凝固を起す。最近の文献には 1149°C<sup>2)</sup>、あるいは 1165°C<sup>3)</sup> が示され、鍛造加熱温度は大体 1100°C に制限される。

B 量が増すと変形抵抗が大となり、2.5% B 以上では特にいちじるしい。しかし打錘圧力を大にすると亀裂を生じ易いから1回の打錘による変形量は常に少くせねばならぬ。

鍛造初期には温度低下に注意し、950~900°C になると再加熱を要す。本実験では鍛造可能な最高 B 量は約 3.3% であった。

Wever<sup>1)</sup>によれば共晶点は 3.8% であるが、本研究に使用した鑄造試料では 3.3% B 鋼に初晶の Fe<sub>2</sub>B が検鏡で散見され、大体共晶組成に近いものであった。Photo. 1 は 3.7% B を含む過共晶組



Photo. 1. The as-cast microstructure of 3.7% boron steel. ×300 (2/3).

織で、初晶の Fe<sub>2</sub>B が晶出した鋼塊は鍛造不能となることがわかった。

1, 2, 3% B 鋼に C を 0.1~0.4% 添加し試験した。

0.22% C までは全て鍛造可能であつた。0.31~0.33% C を含むと、1% B 鋼でも割れの傾向があり、3% B 鋼では鍛造困難となる。0.4% C を含む時は、全て鍛造不能となつた。

1, 2, 3% B 鋼に Si を 1~3.5% 添加すると、1~2% B 鋼では Si の増加と共にいちじるしく鍛造性は改善されるが、3% B 鋼では効果がない。

2% B 鋼に Mn を 0.3~1.6% 添加したものは全て鍛造できたが 3% B 鋼に 0.7, 1.0% Mn を添加したものでは Mn 量が多い程鍛造困難となるようであつた。

純 B を使用して、不純物の少ない鋼塊 (B 1~4%, C 0.04%, Si 0.15%) を試作して検討したが鍛造性は変らなかつた。

(2) 18 Cr-10 Ni-B 系

オーステナイト系ステンレス鋼に B を添加した場合も融点が下り、熱分析によると、boride と γ 鉄が共晶凝固をしているようで、共晶温度は 1220~1250°C の間である。このため鍛造の最高加熱温度は 1150~1170°C とした。

鍛造可能な最高ボロン量は 2% であった。2.5% B では初晶の boride が現われて鍛造不能になる。

(3) 18 Cr-B 系

オーステナイト系を同様に boride の共晶凝固が起り共晶温度も同様 1220~1250°C 鍛造性も同様に 2% B 鋼は鍛造できるが、2.5% B 鋼は鍛造不能で、共晶点は 2

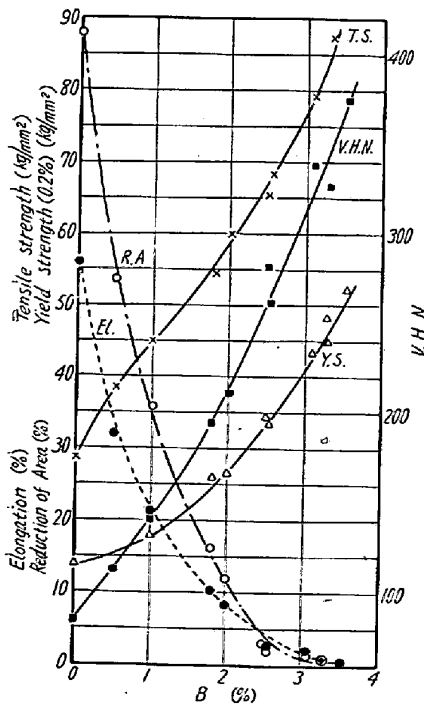


Fig. 1. Mechanical properties of Fe-B alloy steels

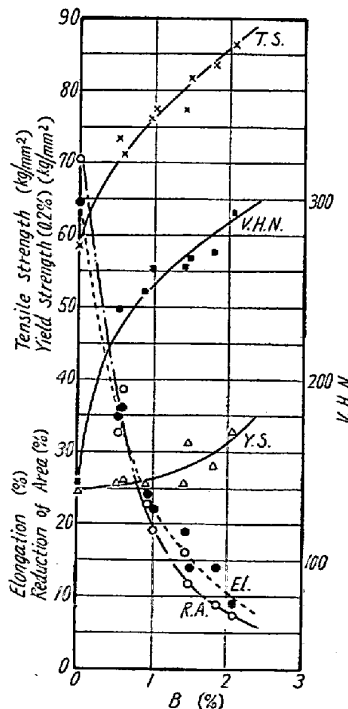


Fig. 2. Mechanical properties of 18Cr-10Ni-B alloy steels.

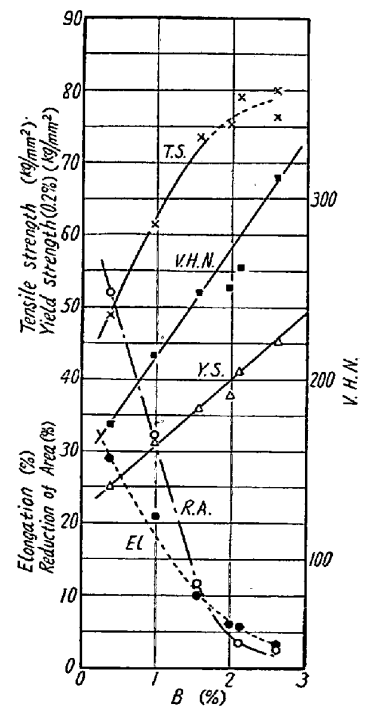


Fig. 3. Mechanical properties of 18Cr-B alloy steels.

%, 2.5% B の間にある。18Cr-2%B 鋼に Si を 1~3% 添加すると, Si 量が多いほど, 鍛造性はいちじるしく改善された。

### III. 機械的性質

Fe-B, 18 Cr-10 Ni-B, 18 Cr B 系の機械的性質を Fig. 1, 2, 3 に示した。鍛造後 Fe-B 系は 950°~970°C 2H 炉冷, ステンレス系は 1050°C 2H 炉冷した結果である。これらの合金はすべて B 量と共に, 硬度, 抗張力, 耐力は高くなり, 伸び, 絞りは急激な低下を示している。

### IV. 結 言

原子炉に使用される, ボロン合金鋼の鍛造および機械的性質を調べた。

#### 1) FeB 系

(イ) 約 3.3% B まで鍛造可能である。(ロ) C は 0.22% まで含まれても鍛造可能である。(ハ) 1~2% B 鋼に Si を 1~3.5% 添加すると Si が多いほど鍛造性がいちじるしく改善される。しかし 3% B 鋼では効果がない。

#### 2) 18 Cr-10 Ni-B 系, 18 Cr 系

(イ) いずれも共晶凝固を起し, 2% B までは鍛造できる。(ロ) 18 Cr-2%B に Si を 3% まで添加すると鍛造性はいちじるしく改善される。

3) 3 合金ともいずれも共晶凝固を行い鍛造可能なのは共晶点までの組成で, 初晶の boride が現われると鍛造困難となる。

4) B 添加量と機械的性質の変化の関係を明らかにした。

本研究は科学技術庁の原子力平和利用研究費補助金によるものである。

### 文 献

- 1) F. Wever & A. Mueller: Z. für anorganische Chemie, 192 (1930) p. 317
- 2) C. C. McBride, et al. Trans. A. S. M., 46 (1954) p. 499~520
- 3) M. E. Nicholson, Journal of Metal, 6 (1954) 2 p. 185~190

## (127) 高温顕微鏡による珪素鋼のクリープ観察

東京大学工学部

工〇藤田 利夫・工 石田 洋一

### Microscopic Observations on Creep Deformation of Silicon Steel at High Temperatures.

Toshio Fujita, Yoichi Ishida.

#### I. 緒 言

クリープによる金属の組織上の変化については, Wood, Grant, Rachinger, Dorn, Mclean などの研究があるが, これらは, いずれもクリープを中断して観察したものであり, また, クリープ中を直接観察したものとしては, Rhines らの実験があるが, これは by-crystal における観察であつて, 多結晶についての観察例は, あまり見当たらない。本実験では, 多結晶で, しかも合金のクリープ中の挙動を直接, 高温顕微鏡で観察するため, 珪素鋼を使用した。

#### II. 試料および熱処理

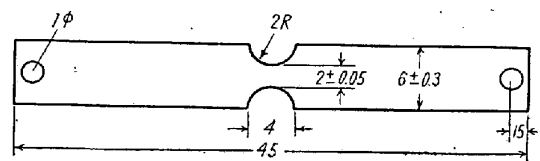


Fig. 1. Specimen size.

試料は Si 2.95% の珪素鋼である。Fig. 1 のごとき寸法の試験片に加工し, 800°C, 2h で焼鈍して, 平均粒度番号-2 にした後, 格子を引き, これをふたたび 650°C, 1h 真空焼鈍を行った。高温引張装置およびその操作法については, すでに詳細な発表がなされているため, ここでは省略する。格子引き装置は, 直線目盛器を使用した。

#### III. 実験結果

##### (1) クリープ試験

Table 1 にクリープ試験の結果 Fig. 2 にクリープ曲線を示す。Photo. 1 は 720°C 6 kg/mm<sup>2</sup> のクリープ試験を行った試験片, (No.5) の一部であり, Fig. 3 は Photo. 1 に示されたように, 試料表面に記した格子の各標点間のクリープ曲線である。Fig. 3 より, 粒内変形は, 粒が異つても, この場合には, ほぼ同一であつたが, これらの粒の挿む粒界の変形は, これを上まわつてることが示される。Fig. 3 から,  $y_2 - (x_2 + z_2)/2$  の曲線を求めると, これは粒界迂りを示すものと考えられる。