

%, 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

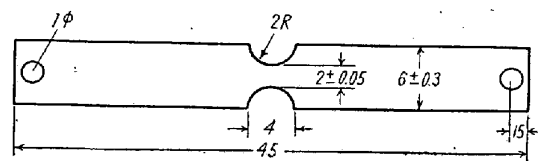


Fig. 1. Specimen size.

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。

Table 1. Creep rupture tests.

Temperature (°C)	Tensile stress kg/mm <sup>2</sup>	Minimum creep rate mm/mn	Rupture life mn	Total elong. mm	Specimen No.
440	21.2	0.0030	128	0.58	1
440	22.2	0.0041	120	0.64	2
590	8.0	0.0077	110	0.93	3
590	9.0	0.0091	35	0.95	4
720	6.0	0.0056	77	1.12	5
730	6.0	0.0127	78	2.04	6
780	= 0	—	—	—	7
820	< 5	0.0103	56	> 1.01	8
820	< 5	0.0143	33	> 1.86	9

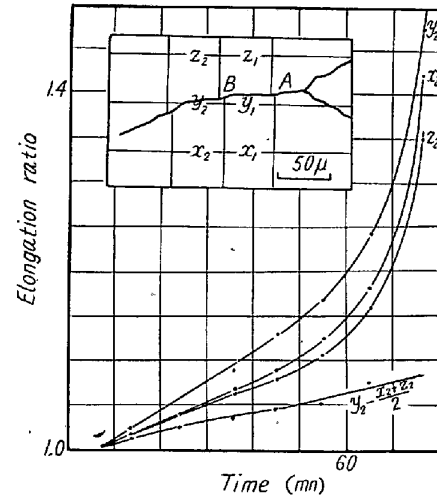


Fig. 3. Local creep curves of No. 5 specimen.

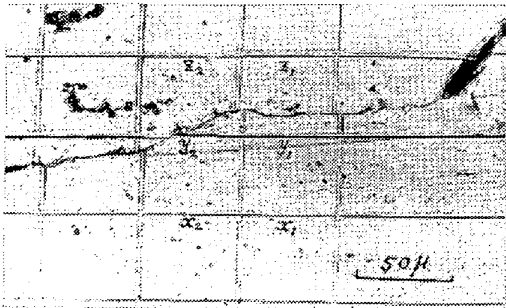


Photo. 1. Microstructure of creep specimen No. 5. (720°C, 6kg/mm<sup>2</sup>) 36mn. after loading.

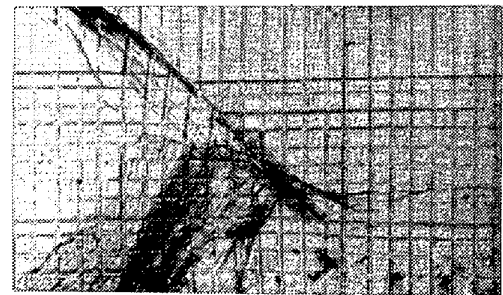


Photo. 2. Microstructure of creep specimen No. 9 (810°C, <5kg/mm<sup>2</sup>), 6mn. after loading.

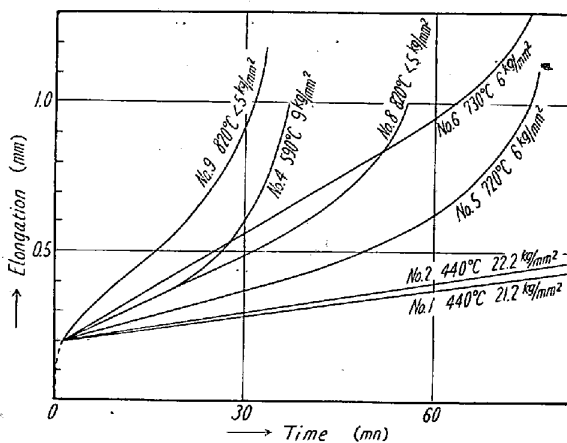


Fig. 2. Total creep curves.

(2) 三重点の観察

i) 590°C, 9 kg/mm<sup>2</sup> で行つた試験結果, (No. 4) から, 粒界じりとともに, ほぼそれと同じ程度の粒内変形が, 二つの三重点を結ぶ粗大なじり部分に認められる。(写真省略)

ii) 820°C で 5 kg/mm<sup>2</sup> 以下の荷重をかけた試験では, 荷重前にすでに, 熱膨張などによる応力で, 粒界移動が始まつた。荷重後6分では, Photo. 2 のごとくなる。左上より中心に向う粒界じりが, 粒界移動と密接に

関係しており, じり量が三重点に近づくにつれて減少していること, および三重点近傍で変形が不均一であることが注目される。

(3) セル形成

720°C, 6 kg/mm<sup>2</sup> で行つたクリープ試験では, 荷重後, 42 分の組織から, 粒界および三重点近傍において, Sub-grain の形成が認められる。(写真省略)

(4) 粒界移動

同じ, 720°C, 6 kg/mm<sup>2</sup> の試験において, 円弧状の粒界は, これが引張方向に垂直になっている場所で最も大きく粒界移動し, 弓状になっている。(写真省略)

IV. 考 察

(1) 試験温度は4種類とし, 各温度で, 2回づつ試験を行つた。最小クリープ速度は, 0.003~0.014 mm/mn である。装置の関係で, 遷移クリープ曲線部分は正確に出なかつた。また, 珪素鋼は, もともと, この部分が短期間であるからである。500°C 近傍では温度によるクリープ強度の減少が非常にいちじるしい。

(2) 粒界のじり

この実験では, 粒界のじりは, 低温では観察できず,

温度の上昇とともに観察できるようになった。粒内変形が加速クリープ過程に入つて加速し始めても、迂りは加速せず、ほぼ一定に迂りつづける。微視的には、この曲線は、粒内変形曲線に比し凸、凹があり、場所による差がみられる。高温では、粒界移動と結びついて複雑である。

### (3) 粒内の変形

変形初期には、迂り線の観察されぬ微細迂りによつて変形が進行する。粗大迂り線は、一般に、加速クリープ期に入つて顕著になる。低温では、迂り線は細く直線状であるが、温度の上昇につれて太く、曲線状になつてくる。粒界を芯として羽毛状に発展した形をとることもある。変形量は、低温では、部分的な違いが大きく、温度が上昇すると、むしろ均一化する。これは、粒界の迂りにより、粒界近傍の応力が緩和されるためと思われる。粗大迂り帯のあらわれる場所の伸びは、あらわれない場所に比して大きい。

### (4) 3重点の挙動

低温では、粒界が迂らぬため変形も単純であるが、粒界が迂りだすと、他の二本の粒界によつてかこまれた粒の内部に向つて、三重点より、特徴あるしわが生ずる。高温では、引張軸方向と平行でない粒界が移動をはじめ、この部分の伸びがいちじるしい。

### (5) 粒界移動

粒界移動は、その動きが、引張り方向に垂直な粒界でとくに大きいと認められる。単に粒界面積の減少方向への動きのみではない。一般に、移動中の粒界付近での引張方向への伸びは、他の部分よりも大きい。

以上に述べたごとく、クリープにともなつて起る種々の現象すなわち、粒界の迂り、粒界の移動、粒内の変形 3重点の挙動などが、多結晶珪素鋼のクリープ実験において、連続的に観察された。

## 文 献

- 1) 芥川, 馬田: 鉄と鋼, 43 (1957), 1143

## (128) 古代鉄釘の冶金学的調査

日本鋼管, 技術部 工 堀 川 一 男  
技術研究所 梅 沢 義 信

### Metallurgical Study on the Ancient Iron Nails.

Kazuo Horikawa, Yoshinobu Umezawa.

## I. 緒 言

文部省東京文化財研究所の依頼により、法隆寺金堂、平

等院鳳凰堂、明通寺三重塔、および京都醍醐寺五重塔から取り外した創建当初、中世、近世、および江戸末期に製造された古釘等について金属組織学的に調査した。本調査は鉄鋼業に関連する者にとつて歴史的、技術的にきわめて興味深い問題であり、貴重な資料と考えられるので報告する次第である。

## II. 調査資料

調査資料は製造時期を異にする。釘類で法隆寺金堂の物 6 点、平等院鳳凰堂の物 11 点、明通寺三重塔の物 11 点、京都醍醐寺五重塔の物 3 点(内スラグ 1 点)で種釘、身舎隅柱頭鉄板止釘、長押隅止釘、隅木取付釘、および装飾品等であるが、本報では各時代、各使用個所を代表する。Table 1 に示すごとき種釘、釘 15 点について報告する。

各試料の外観形状は (Fig. 1 の代表例参照。会場で詳細に示す。) つぎの通りである。No.1~No.2 の釘は比較的太く大形のものであつて、表面に黒色防錆塗装が施してあつた。使用個所が明瞭でないが長期にわたる使用にもかかわらずほとんど腐蝕された形跡は認められない。近世の No.3 は若干細くて弱い感じがする。頭部

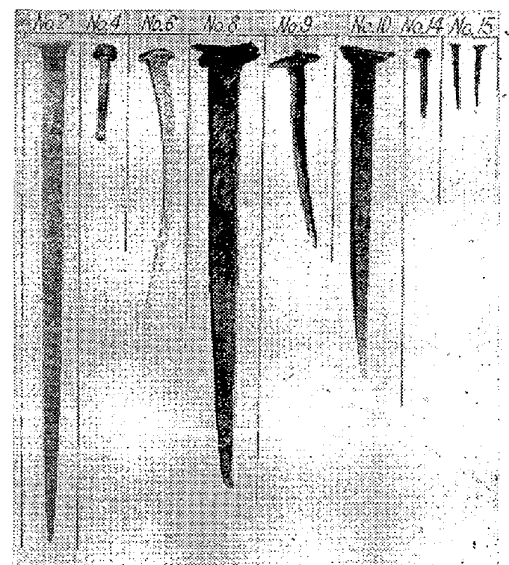


Fig. 1. Ancient iron nails.

の形状は叩き延し、そのまま折りまげて成型したもののようである。一方江戸末期の No.4 は細く、小型のものであつて使用個所が明瞭でないが、かなり錆びており現在の釘、あるいは、ねじの頭によく似ている。No.5~No.6 は平等院鳳凰堂に使用されていた種取付釘で、法隆寺金堂の釘は類似しており、太くて頑丈な感じの釘である。No.7 の釘は細長く、弱々しい感じのもので頭部の形状は破壊されていて明瞭でないが、叩き延し、そのまま折りまげて成型したもののようである。No.8 は