

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.7 (1975) No.2

80kg/mm²

Manufacturing Method of HT-80 Forging Steel for Ring Reinforcement of Penstock in Pumping-up Power Plants

(Shingo Sato) (Masaaki Karino) (Hiroshi Ooi)
(Susumu Matsui) (Yasushi Hayakawa) (Yoshihiko Goto)

:

1.5 Ni

360mm

80kg/mm²

Synopsis :

Recently, in order to decrease load fluctuation of thermal power plants, numerous pumping-up power plants have been constructed. The capacities of those plants have become gigantic and higher strength forging steel is required for penstock of the pumping-up power plant. 80kg/mm² class forging steels up to 360mm thickness for ring reinforcements of penstock have been developed by controlling the boron content of grain boundary and heat treating conditions of 1.5% Ni steel. Consequently, notch toughness and weldability obtained of ring reinforcements are satisfactory for the Okukiyotsu pumping-up power plant.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

抽水発電用ペンストックの補強用HT-80/mm²鍛鋼

の製造について

Manufacturing Method of HT-80 Forging Steel for Ring
Reinforcement of Penstock in Pumping-up Power Plants

Shingo Sato

大井 浩***

Hiroshi Ooi

早川 泰司*****

Yasushi Hayakawa

Masaaki Karino

松居 進****

Susumu Matsui

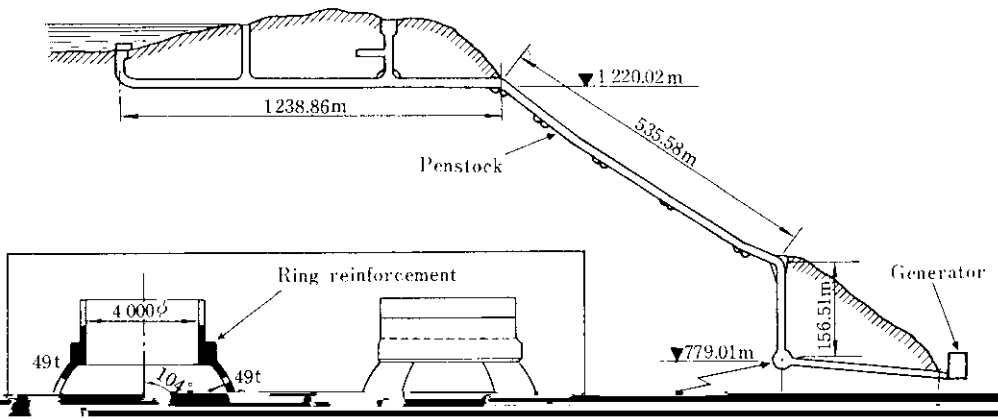
後藤 義彦*****

Yoshihiko Goto

360mmにおよぶHT-80級鍛鋼を種々試作した結果、きわめて良好な靱性を示す鋼が安定して得られるようになった。当社ではこれを RIVER ACEK-OF と名付け、奥清津および奥吉野揚水発電所の補剛環用に採用することになった。その結果

や起動停止特性はある程度犠牲にされており、負荷の均一性をはかるため、ピーク供給力を他に求めなければならない。

揚水発電所は、前述のように電力需要のピーク時に供給的に発電をやる必要があり、そのために



接合部は次熱処理を施すことにより、部で溶接は

4. 化学組成

4.1 冷却速度と化学組成

0.58%の1% Ni 鋼の C.C.T. 図上にえがいて Fig. 3 に示した。図から明らかなようにこのような肉厚では焼きがはいりすぎるといふ懸念は全くないことがわかった。したがって強度と靱性の向上にはオーステナイト粒を微細にし、しかも焼

Fig. 3 C.C.T. diagram for 0.58% C, 1% Ni steel. The diagram shows the relationship between cooling rate and temperature for this steel composition. The y-axis represents temperature and the x-axis represents cooling rate. The diagram is used to determine the appropriate cooling rate to achieve the desired microstructure and mechanical properties.

4.2 Ni 含有量の影響

高靱性を有する 80kg/mm² 級高張力鋼にはほとんど Ni が添加されている。この Ni の効果を見るために、Ni 以外の成分は Table 3 に示した範囲内で一定とし、Ni を 1~2.5% に変化させた 50kg 鋼塊（高周波真空溶解炉溶製）を 20mm 厚

に鍛造し、肉厚 75, 150 および 300mm 中心相当の焼入れ、焼もどしを行ったときの引張強さ (T.S.) および破面遷移温度 ($\sqrt{T_{rs}}$) を調べた。その結果を Fig. 4 に示す。

T.S. におよぼす Ni の効果は肉厚の大小によらずほぼ一定で、Ni が 1% 増加すると約 3~4 kg/mm² 上昇する。

性が不足する厚肉材の場合には Ni の添加は強靱性の向上に有効である。

ことが困難であり、また前者はB析出物による靱性劣化、後者はオーステナイト粒の粗大化による

知見から、Ni は高屈強性を示すことが期待される。

知見から、Ni は高屈強性を示すことが期待される。

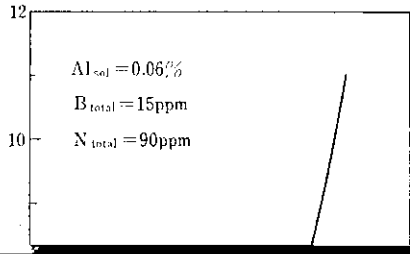
割れ感受性を増す³⁾ため、その添加量は必要最少限にすべきである。後述するように、鍛鋼品に独自の靱性向上処理を行うことにより約1.5%のNiで Table 2 の要求性能を十分満足する鋼の製造が可能となった。

4.3 Bの効果

Bは炭素当量を全く増加させることなく焼入性を向上するため欠かせない元素である。Bは焼入時にオーステナイト粒界に偏析しフェライトの核

このため一般的にはBを必要最少量(10~20 ppm)におさえN固定元素としてTi, Zr, Al等を添加する方法がとられる。しかしTi, ZrはBより窒化物形成傾向が強いため、Ti, Zrと結合した残りのNがBと反応することになり、B, N量の変動の影響を受けやすく安定して適量のB_{sol}を得るのが困難で焼入性も変動しやすい³⁾。

一方Alを添加する方法では、AlはBより窒化物形成傾向が弱くBと結合したNの残りがAlと反応するため、B_{sol}の変動が少ないことが考



これは B_{sol} 量も同様に熱処理履歴により大きく変化しうることを示唆している。

実験室的に基本成分は 0.14% C, 0.24% Si, 1.0% Mn, 1.6% Ni, 0.6% Cr, 0.4% Mo, 0.05% V, 0.0016% B と一定にし, Al_{sol} 量の異なる供試材を用い加熱温度を 900°C と一定にし, 保持時間 t (hr) もつねに一定し加熱回数も変化する。

- 2) オーステナイト粒はすべて同一サイズの球形(半径 r)で粒界の厚みも一定(h_0)である。

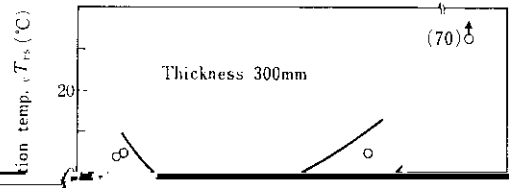


性)を得た場合の靱性について検討する。一般にオーステナイト粒度番号が1番増加すると vT_{rs} は約15°C低下し、 B_{s01} が1ppm増加すると vT_{rs} は約6°C上昇する¹⁰⁾といわれている。 $r \times B_{s01}$ が60となる場合の B_{s01} 量および上記の値を用いて計算した vT_{rs} の変化量をオーステナイト粒度に対して示したのが Fig. 12 である。靱性の点か

処理を行い、焼もどした後の vT_{rs} を $r \times B_{s01}$ に対して示したのが Fig. 13 であるが、 vT_{rs} も焼入硬さと同様 $r \times B_{s01}$ が60~70の場合に最も低い値を示す。しかしバラツキはかなり大きく、これは上記のように等しい $r \times B_{s01}$ の状態を得る方法の差によるものである。

らもオーステナイト粒の微細化は非常に望ましい対策といえる。

このような検討をもとに Fig. 10 と同一の熱



試作鋼の化学成分，溶接硬化性を示す炭素当量および溶接割れ感受性指数 (P_{CM}) を **Table 4** に示した。

溶接性が期待された。

開先，本体各部の引張りおよび衝撃試験結果を **Table 5** に示す。いずれの鋼材も開先部，表面，

中心部ともに要求性能の T.S. 78kg/mm² 以上、Y.P. 68kg/mm² 以上を十分満足している。また中心部の T.S. の低下は約 5kg/mm² 以内であり懸念された質量効果は小さい。

一方衝撃特性は要求性能である開先部 C 方向で $\sqrt{E_{40}}$ が 3.6kg·m 以上、 $\sqrt{T_{rs}}$ が -40°C 以下をいずれの鋼材も十分満足した。また良好な靱性が必要とされる中心部 L 方向においても -9°C (試作鋼 C)、-22°C (試作鋼 B)、-36°C (試作鋼

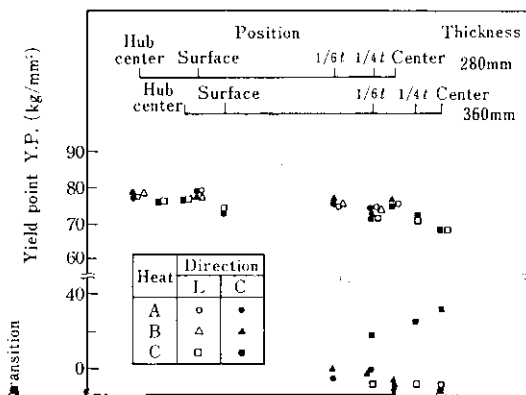
な強度と靱性が得られていることがわかる。

6.3 開先部の S.R. 特性

試作鋼 C の開先部を 580°C に 6hr 加熱し 20°C/hr で冷却する S.R. 処理を行ったときの機械的性質の変化を Table 6 に示した。S.R. 処理により約 10°C $\sqrt{T_{rs}}$ が上昇したが、比較的脆化は小さい。

ている。

各鋼材内部の Y.P., $\sqrt{T_{rs}}$ を焼入冷却時間についてまとめて Fig. 14 に示したが、安定して良好



6.4.1 継手性能試験

試作鋼 C の開先部を用い Table 7 に示す条件

Table 7 Welding condition for testing of weld joints

| Welding method | Manual welding | Manual welding |
|------------------|----------------|----------------|
| Welding material | KS-116 | EK-8 |
| Wire dia. | 4.0mm | 5.0mm |
| Welding current | 175A | 230A |
| Arc voltage | 22V | 23V |
| Welding speed | 15cm/min | 12cm/min |

〔要約〕 衝撃試験（C方向） 種々試験による

Table 9 Results of oblique Y groove restraint cracking test

| Condition of specimen | Ambient | Pre heat temp. | Crack length (mm) | Displacement (mm) | Minimum |
|-----------------------|---------|----------------|-------------------|-------------------|---------|
|-----------------------|---------|----------------|-------------------|-------------------|---------|

参 考 文 献

- ター
- 2) 今西, 光岡, 高橋, 谷島: 三菱重工技報, 11 (1974), 390
 - 3) 木原, 松田: Longitudinal VARESTRAINT 試験法による HY-type 高張力鋼の高温割れ感受性の検討, 溶