

] 10 5r •

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.12 (1980) No.4

* Si (O9x * } M / o ± i Å å ß i ± i © Ÿ Ç o ! b0 4

低 Si 系高低压一体型タービンローターシャフト材の製造

Manufacture of Low Si Type HP-LP Single Turbine Rotor Shaft

飯田義治* 朝生一夫**

和中宏樹*** 小石想一****
Hiroshige Wanaka Soichi Koishi

内田清***** 狩野征明*****
Kintomo Nita Seimou Konno

Shinji Sato

Yoshifumi Nakano

Synopsis:

An HP-LP single shaft for a turbine rotor must meet requirements such as low susceptibility to temper

低 Si 系高低圧一体型タービンローターシャフト材の製造

Manufacture of Low Si Type HP-LP Single Turbine Rotor Shaft

飯田義治*
Yoshiharu Iida

朝生一夫**
Kazuo Asoh

和中宏樹***
Hiroshige Wanaka

小石想一****
Soichi Koishi

内田清*****
Kiyoshi Uchida

狩野征明*****
Seimei Karino

佐藤信二***** 中野善文*****
Shinji Sato Yoshifumi Nakano

Synopsis:

An HP-LP single shaft for a turbine rotor must meet requirements such as low susceptibility to temper embrittlement, superior high-temperature properties in the LP portion, and good toughness in the HP portion.

トでよく知られているように、その含有量を少な
くすすこすすと、より鋼塊の偏析を減少させ、耐熱も

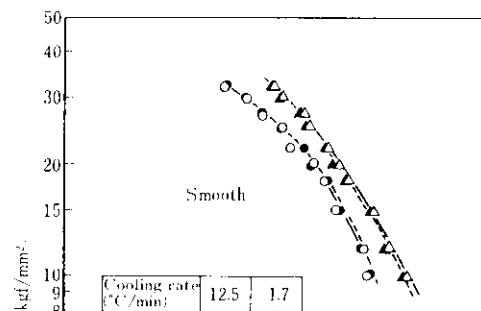
と熱間圧延にて製造した。焼ならしを行った後
840°Cにて保持し、その後の焼成温度を820°Cに

高温強度、特にクリープ破断強度を低下させると
考えられている。このような Si の効果のために、

(300φmm 水冷中心部相当)までの 4 水準とし各々
610°C×20h の焼もどしを付与する熱処理を行った。

シャフトに採用することにし、強度(高温強度)補償を考慮して若干のCr増量を行うこととした。

目標化学成分については、Table 2 に示すようにC鋼をベースに、強度に若干の余裕があることおよび韌性の向上を考慮しC含有量を0.25%に設定した。

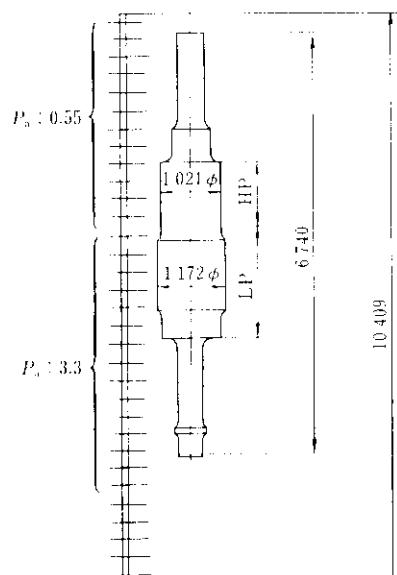


およびAsの低い鋼塊が得られる。

今回のローターシャフト素材は、上記プロセスにより製造したが、最近BOFでの脱P技術が向上しEFを介在させることなく0.005%以下のP-Sが得られるようになった。この技術については後述する。

2・3 傾斜焼入れの検討

HP-LP1体型ローターシャフトには、部位によって冷却速度の異なる傾斜焼入れが望ましい。すなわちHP部でのクリーフ特性を向上させるためには、焼入れ冷却速度を小さくした上部ベイナイト組織がよく、一方LP部での低温靭性を改善するためには、焼入れ冷却速度をできるだけ大きくしてマルテンサイト+下部ベイナイト組織にする



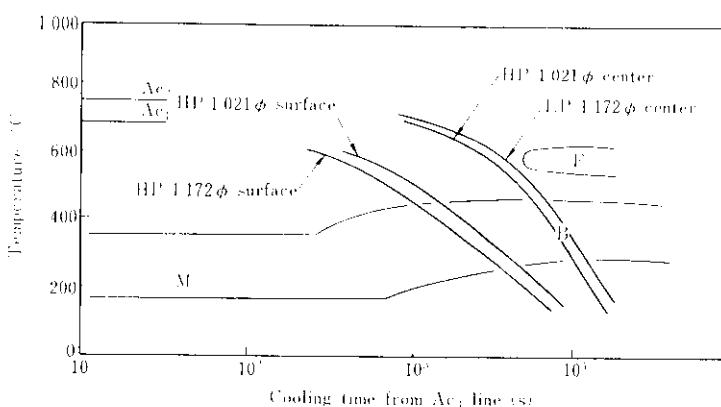


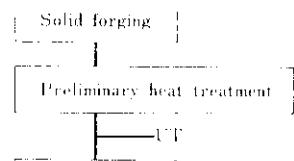
Fig.7 CCT curves corresponding to cooling conditions as shown in Fig.6

磁化により全方向の表層部欠陥が検出できる方式とした。

④ UT 探傷法による中心孔部欠陥検出方法

器の前進位置および回転角度を UT 探傷图形または中心孔表面指示画像に重畳させて録画できるような新しい信号処理を採用した。

この中心孔探傷装置により中心孔径 60~150mm,



(H : 本体高さ, D : 本体直径) が 1.1 のものを採用する。鍛造については、細袖本体の形状を $\phi 114$

× 1.1 とした。その後 $615^{\circ}\text{C} \times 31\text{h}$ 保持・冷却の

わせて確認するため、荒押段階で内部性状を UT により調査した。前熱処理は、脱水素処理と合わせて 2 回焼ならしを実施し整粒および細粒化をはかりその後焼もどしとした。2 回目の前熱処理は、

Photo. 2 に示す。



Table 3 Results of tensile and impact tests

| No. | Material | Tensile test | | Impact test | |
|-----|----------|---|---|----------------------|----------------------|
| | | Yield strength (kg/mm ²) | Tensile strength (kg/mm ²) | Impact value (kg) | Impact value (kg) |
| 1 | 1 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 2 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | 3 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 4 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 5 | 5 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 6 | 6 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 7 | 7 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 8 | 8 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 9 | 9 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 11 | 11 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 12 | 12 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 13 | 13 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 14 | 14 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 15 | 15 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 16 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 17 | 17 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 18 | 18 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 19 | 19 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 20 | 20 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 21 | 21 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 22 | 22 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 23 | 23 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 24 | 24 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 25 | 25 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 26 | 26 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 27 | 27 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 28 | 28 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 29 | 29 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 30 | 30 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 31 | 31 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 32 | 32 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 33 | 33 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 34 | 34 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 35 | 35 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 36 | 36 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 37 | 37 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 38 | 38 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 39 | 39 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 40 | 40 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 41 | 41 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 42 | 42 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 43 | 43 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 44 | 44 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 45 | 45 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 46 | 46 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 47 | 47 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 48 | 48 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 49 | 49 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 50 | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 51 | 51 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 52 | 52 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 53 | 53 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 54 | 54 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 55 | 55 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 56 | 56 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 57 | 57 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 58 | 58 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 59 | 59 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 61 | 61 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 62 | 62 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 63 | 63 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 64 | 64 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 65 | 65 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 66 | 66 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 67 | 67 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 68 | 68 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 69 | 69 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 70 | 70 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 71 | 71 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 72 | 72 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 73 | 73 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 74 | 74 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 75 | 75 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 76 | 76 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 77 | 77 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 78 | 78 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 79 | 79 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 80 | 80 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 81 | 81 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 82 | 82 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 83 | 83 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 84 | 84 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 85 | 85 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 86 | 86 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 87 | 87 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 88 | 88 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 89 | 89 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 90 | 90 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 91 | 91 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 92 | 92 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 93 | 93 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 94 | 94 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 95 | 95 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 96 | 96 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 97 | 97 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 98 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 99 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |



Fig. 10 Reduction factors for steel toughness and temperatures

散度の違いに関連すると考えられ⁶⁾、Photo. 3 に示すクリープ破断後の組織に見られるように焼入れ温度が高くまた焼入れ冷却速度の小さいほど微細炭化物が均一分散することに起因する。次にクリープ延性の指標として通常用いられる破断伸び、絞りと切欠破断強度との間には何らかの関係がある。

りの関係を整理した。その結果を Fig. 13 に示す。両者間には必ずしも明瞭な相関があるとはいえないが、切欠強化から切欠弱化への移行は、約 20% の絞りと対応する。ここで絞りとの対応をみたのは、絞りは伸びと異なり破断位置の影響を受けにくく、バラツキが小さいためで、絞り約 20% は、



次に今回のローター材は、真空 C 脱酸により低 Si 化を施したものであるが、事前検討においてクリープ破断強度には高 Si 材と差がないことを確認した。クリープ破断特性を Si 量で整理した結果を

め、クリープ破断強度の低下をもたらさなかったものと考えられる。

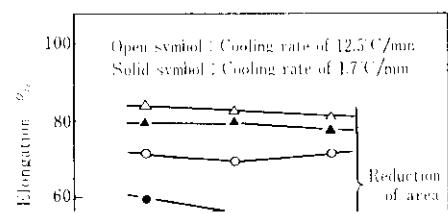
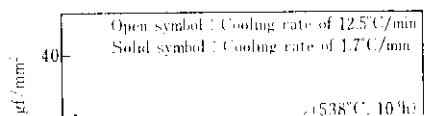


Table 5 Impurities in products recently produced

設定も偏析低減に効果があったと考えられる。

採用 (Si の低減), BOF-LBE-真空鋳造プロセス

減などによるほか、適正な鍛錬が行われたと判断できる。的面で多大の御助言を頂いた。ここに謝意を表します。

終わりに当 HP-LP 1 体型ローターシャフトの

参考文献

- 1) 飯田, 山本, 岩井, 江本, 離波: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 186
- 2) 朝生, 和中, 飯田, 内田, 狩野, 山野辺, 馬場: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 186
- 3) 飯田, 山本, 松野, 山浦, 朝生: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 1, 27
- 4) 森田, 入谷, 宇野: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 249
- 5) H. D. Greenberg, et al.: Convegno Internazionale della Fucinatura, Terni, Italien, (May, 1970)
- 6) 熊田, 上屋: 学振耐熱金属材料委員会研究報告, 7 (1966) 1
- 7) J. Comon, J. Delorme, P. Bastien: The 6th Int. Forgemasters Meeting, (1972)
- 8) 松野, 岡野, 西村, 山本, 朝生: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 136