

] 10 5r •
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.12 (1980) No.4

* Si (09x * } M / ° ± î Å å ß î ± î © Ö Ç ° ! b0 4

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*

朝生 一夫**

和中 宏樹***

Hiroshige Wanaka

小石 想一****

Soichi Koishi

内田 清*****

Kazuo Uchida

狩野 征明*****

Yoshinori Kano

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 HP portion, and high strength in the LP portion.

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*****
Shinji Sato

中野 善文*****
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 HP portion, and good toughness and strength in the LP portion.

It is, however, difficult to satisfy all of these requirements.

This paper reports on the development of a low Si type HP-LP single turbine rotor shaft material.

トでよく知られているように、その含有量を少なくすことにより鋼種の信頼性を減少させ、耐蝕性

と熱間圧延にて製造した。焼ならしを行った後 840°C (± 5) 保持し、その後の冷卻速度は 0.7°C/min に

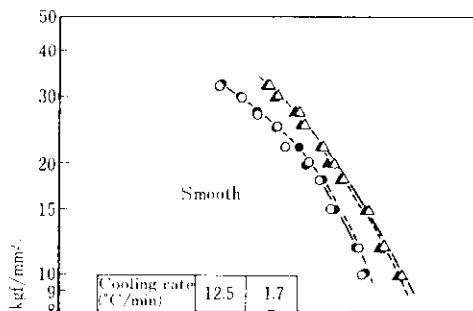
高温強度、特にクリープ破断強度を低下させると考えられている。このような Si の効果のために、低 Si 鋼は IIR 鋼、カ、マ、ワ、リ、ロ、ハ、テ、タ、田、水

(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。 降速：0.7°C/min、焼もどし温度：610°C、保持時間：20h

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。

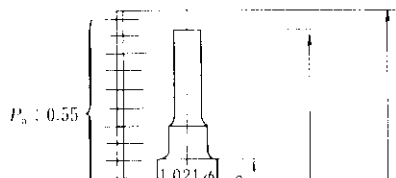
目標化学成分については、Table 2 に示すように C 鋼をベースに、強度に若干の余裕があることおよび靱性の向上を考慮し C 含有量を 0.25% に設定した。

mm:



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



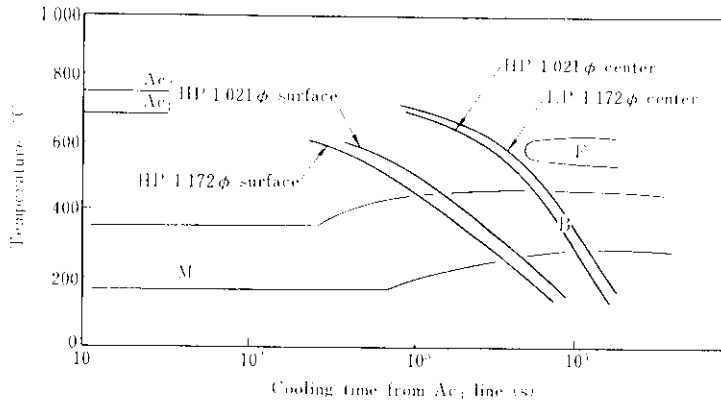
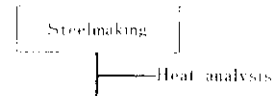


Fig.7 CCT curves corresponding to cooling conditions as shown in Fig.6

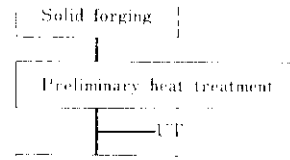
磁化により全方向の表層部欠陥が検出できる方式とした。

(4) VTR 装置を用いた UT 探傷装置の構築

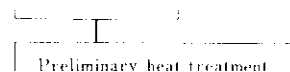


器の前進位置および回転角度を UT 探傷図形または中心孔表面指示画像に重畳させて録画できるような新しい信号処理を採用した。

この中心孔探傷装置により中心孔径 60~150mm,



可能となった。中心孔 UT 探傷状況を、Photo. 1 に示す。



(H : 本体高さ, D : 本体直径) が 1.1 のものを採用し、鍛造においては、鍛造全体の性質をい

験と同一とした。その後 $615^{\circ}\text{C} \times 31\text{h}$ 保持・加冷の焼もどしを実施し、ラップに包みこむ時の注意を

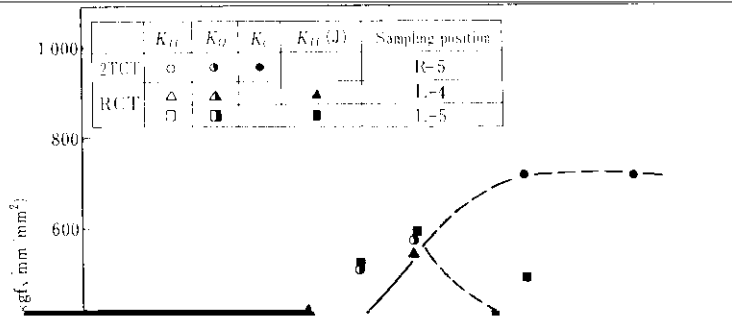
わせて確認するため、荒押段階で内部性状を UT により調査した。前熱処理は、脱水素処理と合わせて 2 回焼ならしを実施し整粒および細粒化をはかりその後焼もどしとした。2 回目の前熱処理は、

Photo. 2 に示す。



Table 3 Results of tensile and impact tests

試料番号	試験項目	試験結果
1	引張強さ	1000 MPa
1	伸び	10%
2	引張強さ	1050 MPa
2	伸び	12%
3	引張強さ	1100 MPa
3	伸び	15%
4	引張強さ	1150 MPa
4	伸び	18%
5	引張強さ	1200 MPa
5	伸び	20%
6	引張強さ	1250 MPa
6	伸び	22%
7	引張強さ	1300 MPa
7	伸び	25%
8	引張強さ	1350 MPa
8	伸び	28%
9	引張強さ	1400 MPa
9	伸び	30%
10	引張強さ	1450 MPa
10	伸び	32%
11	引張強さ	1500 MPa
11	伸び	35%
12	引張強さ	1550 MPa
12	伸び	38%
13	引張強さ	1600 MPa
13	伸び	40%
14	引張強さ	1650 MPa
14	伸び	42%
15	引張強さ	1700 MPa
15	伸び	45%
16	引張強さ	1750 MPa
16	伸び	48%
17	引張強さ	1800 MPa
17	伸び	50%
18	引張強さ	1850 MPa
18	伸び	52%
19	引張強さ	1900 MPa
19	伸び	55%
20	引張強さ	1950 MPa
20	伸び	58%
21	引張強さ	2000 MPa
21	伸び	60%
22	引張強さ	2050 MPa
22	伸び	62%
23	引張強さ	2100 MPa
23	伸び	65%
24	引張強さ	2150 MPa
24	伸び	68%
25	引張強さ	2200 MPa
25	伸び	70%
26	引張強さ	2250 MPa
26	伸び	72%
27	引張強さ	2300 MPa
27	伸び	75%
28	引張強さ	2350 MPa
28	伸び	78%
29	引張強さ	2400 MPa
29	伸び	80%
30	引張強さ	2450 MPa
30	伸び	82%
31	引張強さ	2500 MPa
31	伸び	85%
32	引張強さ	2550 MPa
32	伸び	88%
33	引張強さ	2600 MPa
33	伸び	90%
34	引張強さ	2650 MPa
34	伸び	92%
35	引張強さ	2700 MPa
35	伸び	95%
36	引張強さ	2750 MPa
36	伸び	98%
37	引張強さ	2800 MPa
37	伸び	100%
38	引張強さ	2850 MPa
38	伸び	102%
39	引張強さ	2900 MPa
39	伸び	105%
40	引張強さ	2950 MPa
40	伸び	108%
41	引張強さ	3000 MPa
41	伸び	110%
42	引張強さ	3050 MPa
42	伸び	112%
43	引張強さ	3100 MPa
43	伸び	115%
44	引張強さ	3150 MPa
44	伸び	118%
45	引張強さ	3200 MPa
45	伸び	120%
46	引張強さ	3250 MPa
46	伸び	122%
47	引張強さ	3300 MPa
47	伸び	125%
48	引張強さ	3350 MPa
48	伸び	128%
49	引張強さ	3400 MPa
49	伸び	130%
50	引張強さ	3450 MPa
50	伸び	132%
51	引張強さ	3500 MPa
51	伸び	135%
52	引張強さ	3550 MPa
52	伸び	138%
53	引張強さ	3600 MPa
53	伸び	140%
54	引張強さ	3650 MPa
54	伸び	142%
55	引張強さ	3700 MPa
55	伸び	145%
56	引張強さ	3750 MPa
56	伸び	148%
57	引張強さ	3800 MPa
57	伸び	150%
58	引張強さ	3850 MPa
58	伸び	152%
59	引張強さ	3900 MPa
59	伸び	155%
60	引張強さ	3950 MPa
60	伸び	158%
61	引張強さ	4000 MPa
61	伸び	160%
62	引張強さ	4050 MPa
62	伸び	162%
63	引張強さ	4100 MPa
63	伸び	165%
64	引張強さ	4150 MPa
64	伸び	168%
65	引張強さ	4200 MPa
65	伸び	170%
66	引張強さ	4250 MPa
66	伸び	172%
67	引張強さ	4300 MPa
67	伸び	175%
68	引張強さ	4350 MPa
68	伸び	178%
69	引張強さ	4400 MPa
69	伸び	180%
70	引張強さ	4450 MPa
70	伸び	182%
71	引張強さ	4500 MPa
71	伸び	185%
72	引張強さ	4550 MPa
72	伸び	188%
73	引張強さ	4600 MPa
73	伸び	190%
74	引張強さ	4650 MPa
74	伸び	192%
75	引張強さ	4700 MPa
75	伸び	195%
76	引張強さ	4750 MPa
76	伸び	198%
77	引張強さ	4800 MPa
77	伸び	200%
78	引張強さ	4850 MPa
78	伸び	202%
79	引張強さ	4900 MPa
79	伸び	205%
80	引張強さ	4950 MPa
80	伸び	208%
81	引張強さ	5000 MPa
81	伸び	210%
82	引張強さ	5050 MPa
82	伸び	212%
83	引張強さ	5100 MPa
83	伸び	215%
84	引張強さ	5150 MPa
84	伸び	218%
85	引張強さ	5200 MPa
85	伸び	220%
86	引張強さ	5250 MPa
86	伸び	222%
87	引張強さ	5300 MPa
87	伸び	225%
88	引張強さ	5350 MPa
88	伸び	228%
89	引張強さ	5400 MPa
89	伸び	230%
90	引張強さ	5450 MPa
90	伸び	232%
91	引張強さ	5500 MPa
91	伸び	235%
92	引張強さ	5550 MPa
92	伸び	238%
93	引張強さ	5600 MPa
93	伸び	240%
94	引張強さ	5650 MPa
94	伸び	242%
95	引張強さ	5700 MPa
95	伸び	245%
96	引張強さ	5750 MPa
96	伸び	248%
97	引張強さ	5800 MPa
97	伸び	250%
98	引張強さ	5850 MPa
98	伸び	252%
99	引張強さ	5900 MPa
99	伸び	255%
100	引張強さ	5950 MPa
100	伸び	258%



Temperature (°C)

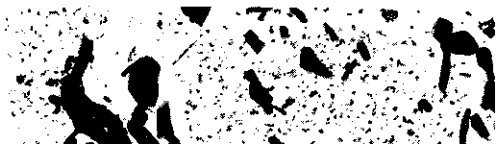
Fig. 10. Relation between Facetosa thickness and temperature.

散度の違いに関連すると考えられ、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に分散することを認める。次にク

リの関係を整理した。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% の絞りしじまを伴って急激に起こる。

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と考えられる。Fig. 14 に破断強度と破断伸び、絞

りの関係を整理した。破断強度と破断伸び、絞りの関係は、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、絞り約 20% は、破断強度とほぼ比例関係にある。



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。

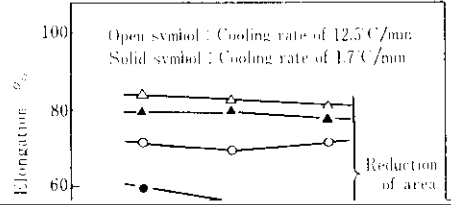
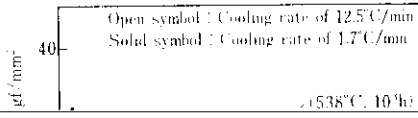


Table 5 Impurities in products recently produced

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。

終わりに当 HP-LP 1 体型ローターシャフトの

的な面で多大の御助言を頂いた。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 飯田、山本、宮井、江本、難波：鉄と鋼，64 (1978) 4, S 186
- 2) 朝生、和申、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、土屋：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