

(19) (KR)
(12) (A)

(51) 。 Int. Cl.⁷
C22C 19/05

(11)
(43)

10-2004-0007212
2004 01 24

(21) 10-2002-7011311

(22) 2002 08 28

2002 08 28

(86) PCT/US2001/006233

(87)

WO 2001/64964

(86) 2001 02 28

(87)

2001 09 06

(81) : , , 가 , , , , , 가 , , , , ,
 , , , , , , , , , 가 , , , , ,
 , , , , , , , , , 가 , , , , ,
 , , , , , , , , , 가 , , , , ,
 , , , , , , , , , 가 , , , , ,
 , , , , , , , , , 가 , , , , ,
 AP ARIPO : , , , , , , , , , , 가 ,
 EA : , , , , , , , , , ,
 EP : , , , , , , , , , , , , , , , ,
 OA OAPI : , , , , , , , , , , , 가 ,

(30) 60/185,696 2000 02 29 (US)

(71) , ,

(72) 12345 115 55 1
 12345 115 55 1
 12345 115 55 1

(74) :

(54)

7.0 12.0 %; 0.06 0.10 %; 5.0 15.0 %; 3.0 5.0 %;
 3.0 5.0 %; 3.0 12.0 %; 1.0 5.0 %; 0.0080 0.01
 %; 0 10.0 %; 2.0 6.0 %; 0 2.0 %; 0 3.0 %;
 0 2.0 %; 가 , - 가

가

가 (single crystal, SC) (Rene) N4
 5 SC N4 가 5,154,884 7 12 % Cr, 1 5 % Mo, 3
 6 % Ti, 3 5 % Al, 5 15 % Co, 3 12 % W, 10 % Re, 2
 % Ta, 2 % Cb, 3 % V, 2 % Hf
 , 7.0 8.0 % Co, 1.3 1.7 % Mo, 5.75 6.25 5,399,313 9.5 10.0 % Cr
 3.6 % Ti, 4.1 4.3 % Al, 0.4 0.6 % Cb, 0.1 0.2 % Hf, 0.05 0.0
 7 % C 0.003 0.005 % B SC N4

가 36

가 가 40

가

72,000

(gamma-prime precipitate) 60 80% 가
 0 130 ppm, 80 130 ppm, 80 100 ppm(0.0080 0.01
 %) , , 90 ppm(0.009 %)

1 , 7.0 12.0 %, 5.0 15.0 %, 0.06 0.10 %, 3.0
 5.0 %, 3.0 5.0 %, 3.0 12.0 %, 1.0 5.0 %, 0.00
 80 0.013 %, 0 10.0 %, 2.0 6.0 %, 0 2.0 %, 0
 3.0 %, 0 2.0 % 가 (large land-based utility gas turbine engine)

가

4.30 %, 3.35 3.65 9.50 10.00 %, 7.00 8.00 %, 4.10
 60 5.00 %, 0.06 0.10 %, 5.75 6.25 %, 1.30 %, 1.70 %, 4.
), (80 100 ppm), , 0.20 %(), , 0.008 0.010
), 0.003 %(), , 0.10 0.10 %(), , 0.005 %(), ,
 0.0015 %(), , 0.40 0.60 %, , 0.002 %(), ,
 0.0035 %(), , 0.10 %(), + , 6.25 %(), , 0.15

가 , 60 80%

25 가 , 2260 2300 35 / 2050
 가 100 / 1200 ,

가

pm 90 SC N4 90 130 ppm 30 (50 ppm SC N4 90 130 ppm 30 50 p DS
 , SC N4 , SC N4 가 , , (0
) DS (, 가). 가 SC N4 , -
 , 90 130 ppm 30 50 ppm SC N4 90 130 ppm 30 50
 ppm , 30 50 ppm SC N4 , 130 ppm DS 90 ppm
 2315) , 130 ppm SC N4 DS N4 90 ppm DS N4(: 130
 ppm SC N4 - 2334). SC N4 DS N4 - 2301 ; 90 ppm DS N4 - 2315 ; 30 50 ppm

- 1 MS7001 H 가 ;
- 2 ;
- 3 (ppm) (%) ;
- 4 ;
- 5 SC DS D4 ;

6 3 4 ;

7 가 .

50 ppm 130 ppm 가
 가 'M₅B₃' [, M
 Ni₅B₃ (eutectic) ((Auger Spectrometry) (grain boundary) Ni
)] ('M₅B₃' (Microdiffraction)
 (al Analysis, DTA)) 2334 2301 ((Differential Therm
 가 Ni₅B₃) , 2320 (SC N4) , DS
 (pool) (FPI) 가

50 ppm 가 - 30 , 2320
 , 130 ppm 2301 , 60 80%
 , 2280 . 2280 가 - , 130 ppm -
 , 가 5% 130 ppm , ,
 80 100 ppm, , 90 ± 10 ppm 가 60 80% 가 90
 ppm (90 ppm) , 가 가 가
 an)' , 4,169,742 () , B Zr
 (C Hf) SC N4 , DSN4 ' (le
 , 3가 , 4가 (DOE) (Ti)
 , (Zr)

DOE	3가	%	
	0.06	0.10	0.14
	0.25	0.45	0.65
	0.0075(75 ppm)	0.01(100 ppm)	0.015(150 ppm)
	3,37	3.50	3.65

Hf Ti , B
 C B , (3x3x3x1x3 81) , (0.65%-0.

25%=0.45%) (3.65%-3.37%=0.28%) (0.14%-0.06%=0.08%) (0.015%-0.0075%)

(Hf) FPI
 . 0.75% Hf , 0.25 % Hf 0.45 % Hf
 DS N4(30 50 ppm 80 130 ppm)
 N4 , Hf 0.15 % , DS
 N4 가 가
 가 0.04 % C, 9.77 % Cr, 7.49 % Co, 5.92
 % W, 1.51 % Mo, 4.21 % Al, 3.37 % Ti, 0.45 % Nb, 4.71 % Ta, 0.16
 % Hf, 0.00 % B, 0.005 % Zr Ni (60) (120)
) 가

"주조성 시험에서의 균열 길이(인치)"

		박막 Hf				후막 Hf			
		0.00	0.15	0.45	0.00	0.15	0.45		
B	0.004	5.6 5.4	7.4 7.4 9.6	11.2 11.0	18.9 15.3	7.0 5.0	6.3 5.7	5.5 11.1	17.0 13.8
	0.009		19.4 14.1				10.4 13.3		
	0.013		13.8 13.9		10.8		15.2 12.2		8.4

박스라 나타낸 데이터는 "스크래치" 열로부터 설정됨.
 다른 열은 마스터 빈열을 도핑하여 이루어진 것임.

가 , 40 ppm(0.004%) 가 Hf DS N4, (sa
 130 ppm(0.013%) 0.45% Hf OR 가
 ddle point)' . Hf
 . 0.15% Hf 90 ppm Hf 0.15% Hf 130 ppm (dross)
) HfO₂ (
) , Hf가 (0.15 0.45 %)

4가 : 가
 · HIP (2175 2225);
 · (2270 2290);
 · (35 / , 150 / 가
 , 2050 가);
 · (가).
 HIP HIP SC DS N4 2175 2225 15,000 psi
 2290 가 . 2290 2290
 (RAMP) 4

2300 °F까지 전형적인 램프 4 용체화 열처리 사이클				
램프 속도	유지 온도	유지 시간	가열 속도	목적/결과
25 °F/분	1400 °F	10 분	-	안정화, 및 800 마이크론의 아르곤 가스 도입 개시. 이미 100% 아르곤 분위기에서 시행하는 경우에는 사용하지 않음
25 °F/분	2225 °F	8 시간	증가	균질화
25 °F/시간	2250 °F	4 시간	증가	균질화
30 °F/시간	2280 °F	2 시간	증가	균질화
10 °F/시간	2290 °F	2 시간	증가	균질화
10 °F/시간	2300 °F	0.5 시간	실온으로 냉각	최종 감마-프라임 용체화 달성

가 , 4 (2290 /2) . 229
 0 , 2300 (RX) DS N4 . 229
 RX , 2290
 , 2270 -
 , -
 1 . 2270 ± 10 2260 2280 ,
 2290 ± 10 2280 2300 .
 , ,
 ,
 HIP DS N4 , HIP , 2225 , HIP 2175
 , HIP , HIP
 , 가 , 가 100 150 / 가
 , ,가 ,
 () , 4 ,
 35 75 / ,
 , 가 , 가 400
 800 (backfill) () (4
) 100% () .
 , , (100%) DS N4 ()
 , , ,
 1 가 가 , 가
 (가 가) . 가 -HIP 가 - () .
 , 가 가 () .
 25 130 ppm DS N4 , 2175 22
 , 35 / 15,000 psi 4 HIP , 2270 2290
 , 2050 , 1200 가 .
 가 , 2280 ± 10 (, 2270 2290) ,

2280

25 45 / , , 35 / . 가 가 2050 ± 50

100% (400 800) (400 800)

()

130 ppm 5.2%

, 19

1

(2280)

(230

1)

2301 - 2280

= 21

(

1% 가

2280

22.8 가

)

가

가

가

가

가 , 40 ppm

54

(2334 - 2280

= 54).

2280

DSN4/GTD444	(, 가)	()	()
DSN4 w/31 p1pm	2346	2280	66
DSN4 w/36 ppm	2344	2280	64
DSN4 w/40 ppm	2334	2280	54
DSN4 w/90 ppm	2311	2280	31
DSN4 w/130 ppm	2301	2280	21

80 100 ppm) 2280 (2
 1 (TC) , 130 ppm , 2280 가 22.8 (2280 1%) 가
 , 90 ppm , 가 31 가 , TC
 22.8 2280 8.2 (31 - 22.8)가
 . 8.2 , SC DS

90 ppm 가 0% 2280
 . 90 ppm , 2280 ,
 2311 - 2280 = 31 (2280
 1% 22.8)
 가

가 , 가 (가 ,
 가 , 가)
 가 , 가
 가 ()
 , (100%) 가

(RX)가 가 , 가 ,
 가
 (Heat Treat Yield Transfer Function Equation) (1)
 :

(%)	()	(B) (ppm)
100	2280	40
50	2292	130
50	2310	40
90	2280	130
0	2327	40
0	2310	130

:

$$= 5448 - 2.34() - (0.340)*() (1)$$

			T	P	VIF
	5448.0	671.8	8.11	0.004	
	-2.3353	0.2907	-8.03	0.004	1.1
B	-0.3398	0.1117	-3.04	0.056	1.1

S = 11.59 R-Sq. = 95.6% R-Sq. (Adj) = 92.6% (R-Sq = R² R ; adj).
 . 100%

DS N4 :

(%)	()
100	2320
90	2300
60	2280
40	2215

가 , (t)

(2) (2 DS N4 가).

DS N4 100% 40% 가 2320

() . ,

:

(%)	(ppm)
50	40
100	80
80	130
90	100

3

(3)

$$Y = -40.7431 + 2.9113X - 1.54E-02X^2$$

()

다중 반응 최적화

실계 변수

항목	하한치	상한치	새 출발값
용소 함량	40	130	40.0150419
용제화 온도	2280	2310	2280.0833178

제한조건(X 사이의 관계)

항목	식 f(X)	>>= <=	필요조건(수)
	0		

용제화

항목	식 f(X)	>>= <=	목표(값)	최대값
수율	88.99983519	>=	99	100
크리프	84.75601253	>=	99	100
필방향 크리프	51.00135465	>=	99	100



목표/전달 함수

항목	식 f(X)	>>= <=	목표(값)	최대값
수율	88.99983519	>=	99	100
크리프	84.75601253	>=	99	100
필방향 크리프	51.00135465	>=	99	100

최적화 우선순위

0.48059E-07	우선순위 수준 1
0.142049875	우선순위 수준 2
	우선순위 수준 3

COPYRIGHT 1997
Dr. Maurice L. Berry
All Rights Reserved

			1	1	2	2	3
			2	3	1	3	1
			3	2	3	1	2
	B	ppm	40	40	94.5	94.5	40
			2280	2280	2296	2280	2296

'1'

, '2'

'3'

94.5 +/- 10 ppm

2280 ± 20

4 . 5 SC DS N4

6 가 3 4 . 7

가 , 가

(57)

1.

7.0 12.0 %, 0.06 0.10 %, 5.0 15.0 %, 3.0 5.0 %, 0.0080 0.013
 3.0 5.0 %, 3.0 12.0 %, 1.0 5.0 %, 0.0080 0.013
 0 %, 0 10.0 %, 2.0 6.0 %, 0 2.0 %, 가 0 3.0 %, 0 2.0 %, 가

2.

1 ,
 가 0.008 0.010 %

3.

1 ,
 가 0.009 %

4.

1 ,
 0.015 0.45 %

5.

9.50 10.00 %, 7.00 8.00 %, 4.10 4.30 %, 3.35 3.6
 5 %, 5.75 6.25 %, 1.30 1.70 %, 4.60 5.00 %, 0.06
 0.10 %, 0.01 % , 0.008 0.010 %, 0.20 % , 0.20 %
 , 0.01 % , 0.10 % , 0.005 % , 0.003 % , 0.40
 0.60 %, 0.002 % , 0.0015 % , 0.10 % , 0.10 0.20
 %, 0.15 % , 0.10 % , + 6.25 % , 0.0035 % ,
 0.10 % , 가

6.

- (a) 1 ;
- (b) 가 60% ;
- (c) ,

7.

6 ,

2260 2300

25

가

8.

6 ,

35 / 2050

9.

6 ,

가 2050 100 150 /

10.

6 ,

가

11.

6 ,

b) (a) 가, (a) 25 / 1400 가 8 10 ; (b)
 25 / 2225 가 4 ; (c) (
 30 / 2250 가 2 ; (d) (c)
 ; (e)

12.

11 ,

35 / 2050

13.

11 ,

가 2050 100 150 /

14.

6 ,

15.

6 ,

16.

6 ,

17.

16 ,

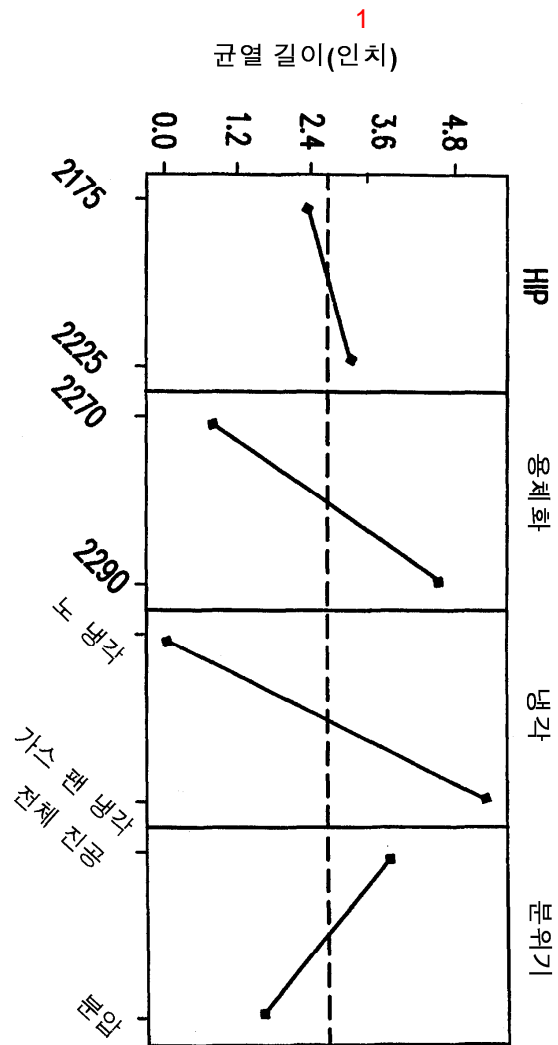
18.

16 ,

16 19.

16 20.

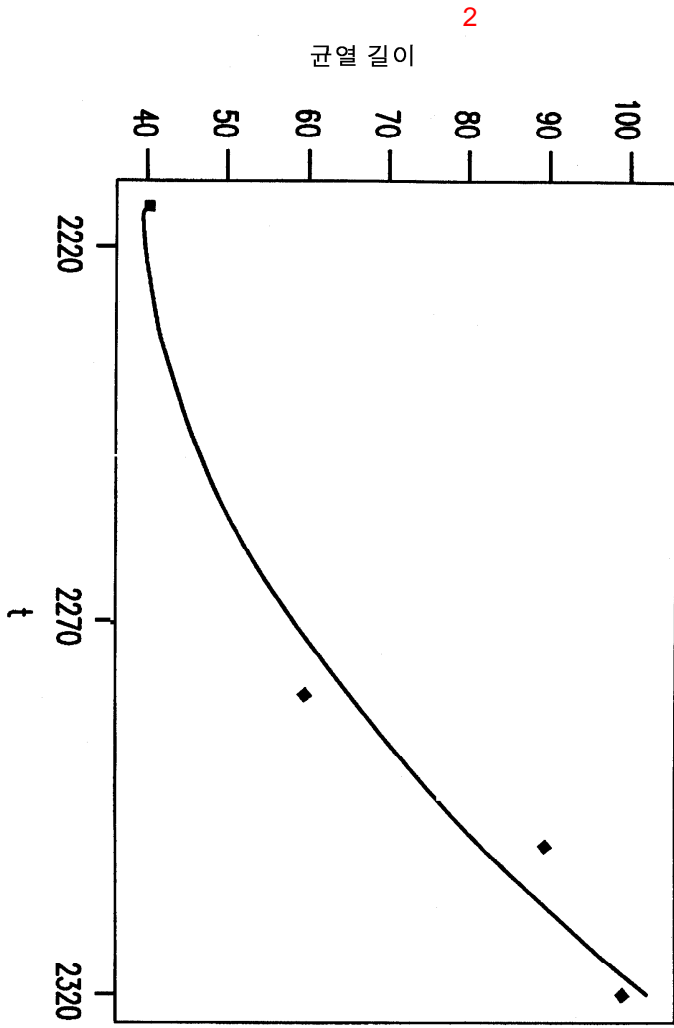
가



주요 영향 인자 플롯-균열 길이에 대한 평균 데이터(인치)

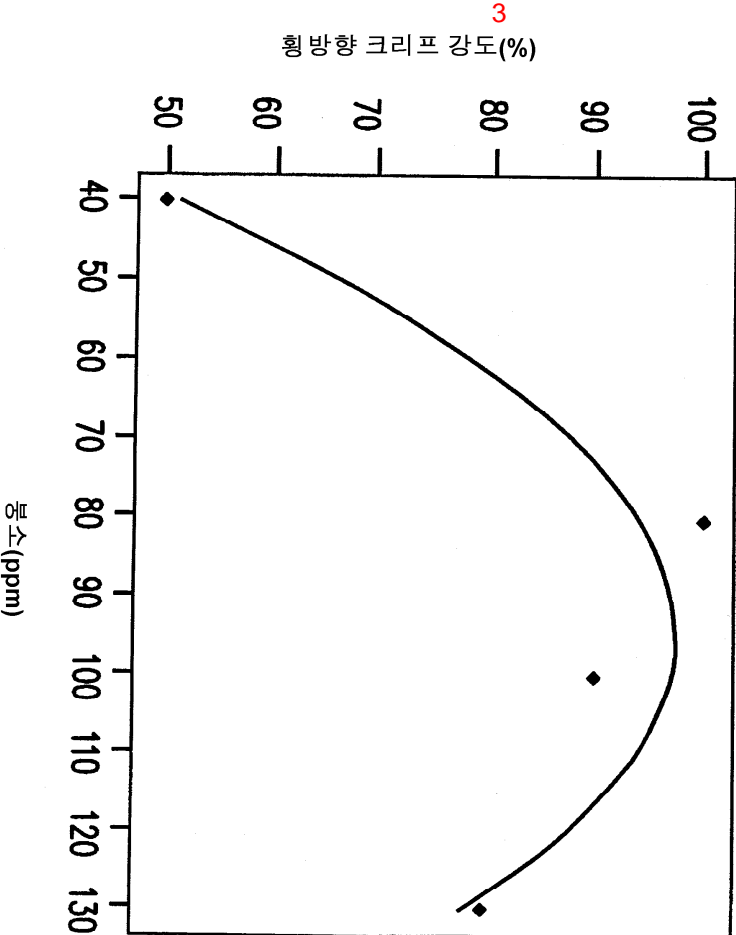
회귀 플롯

크리프 강도 = $25912 - 23.4 (t) + 0.0053 (t^2)$
 $R^2 = 95.6\%$



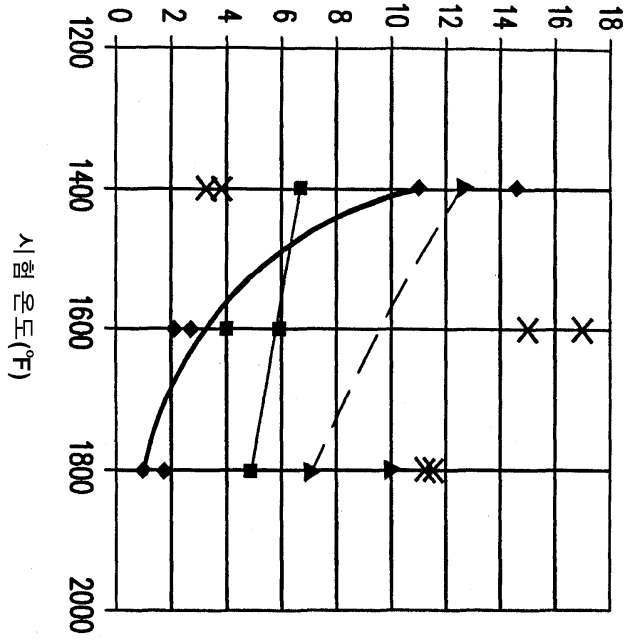
회귀 플롯

$$Y = -40.7431 + 2.91123X - 1.54E-02X^2$$
$$R^2 = 93.7 \%$$



4

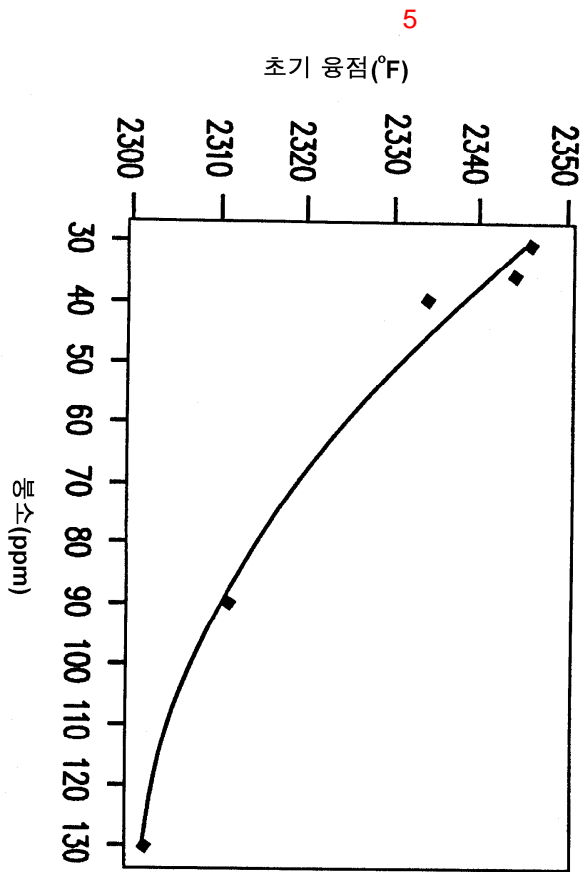
크리프 연신율(%)



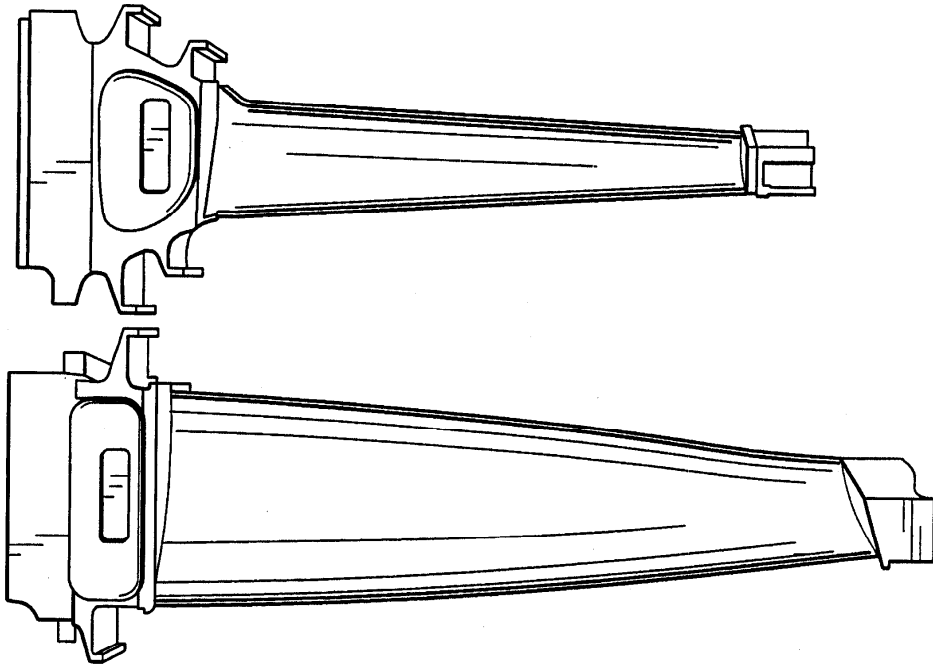
DS GTD444 횡방향 크리프 특성

◆	40 ppm B (2320F)
■	90 ppm B (2280F)
▲	130 ppm B (2320F)
×	130 ppm B (2280F)
- - -	응력 (130 ppm B (2320F))
- - -	응력 (40 ppm B (2320F))
- - -	응력 (90 ppm B (2280F))

GTD444 에 대한 초기 응점 대 불소 함량
 $Y = 2374.17 - 1.05130X + 3.77E-03X**2$
 $R^2 = 98.4 \%$



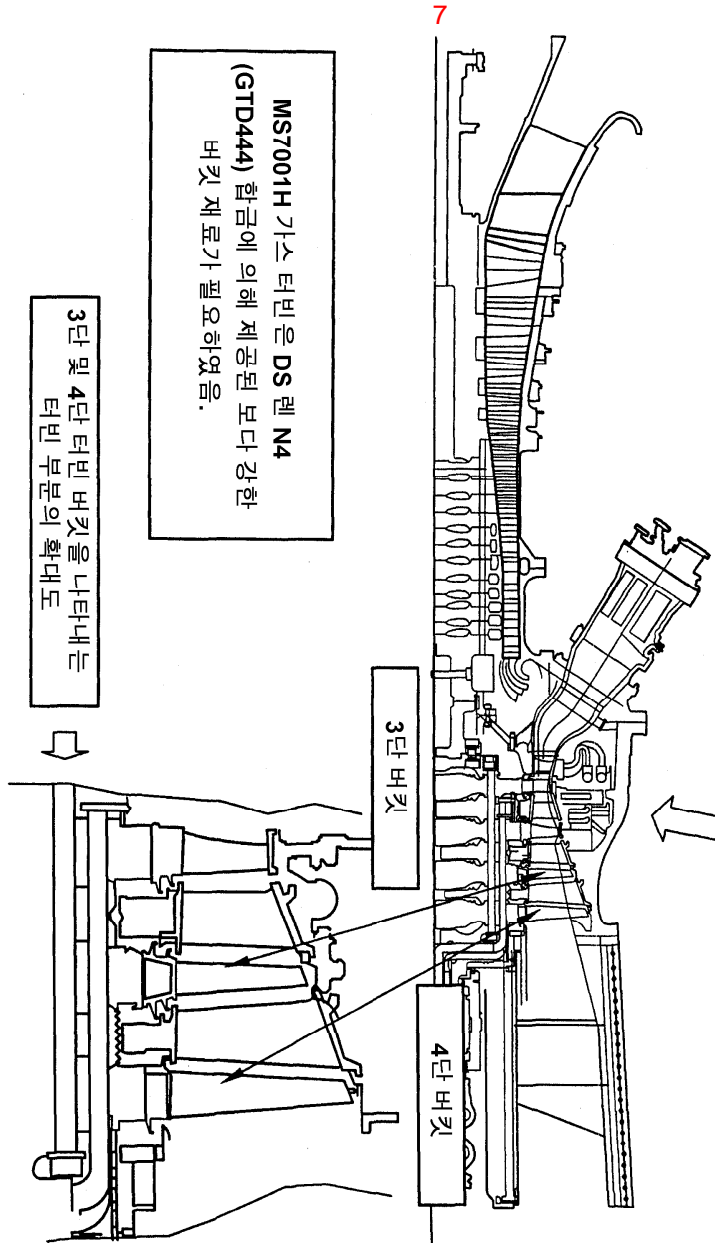
6



DS 렌 N4(GTD444)로부터 제조된
MS7001H 3단 및 4단 터빈 장치

MS7001H 가스 터빈

MS7001H 터빈은 3600 rpm 으로 회전할 것이다



MS7001H 가스 터빈은 DS 렌 N4 (GTD444) 합금에 의해 제공된 보다 강한 버킷 재료가 필요하였음.

3단 및 4단 터빈 버킷을 나타내는 터빈 부분의 확대도