

(72)

	08807	10
	08807	1580
가	-	
	08801	5
	77459	3602
	20 - 1	
	20 - 1	
	20 - 1	
	1	

(74)

:

(54)

가 900MPa(130ksi) , - 40 (- 40) V -
 120J(90ft - lbs) , , % 가 , ,
 , , , 가 , , 가 1 1
 , , 가 1 가 1
 (16) 2 (12) 1 (10) 가 , (18)

1

(HAZ)
(steel) ,

가

550MPa(80ksi) 가 , 690Mp
a(100ksi)
(Koo) (Luton) 5,545,269 , 5,545,
270 5,531,842 가 830Mpa(120ksi) 가 90
0Mpa(130ksi) 가
5,545,269 가

5,545,269 (finish) 400 (752)
20 /s(36 /s) , 30 /s(54 /s)

Ac₁ 가 가

가 가
가 가
가

93 0.93 가 0.

(i) 가 가 (ii) 가

가

가

가

가 0.93

HAZ 가 550MPa(80ksi) , HAZ가 가
15% 가 830MPa(120ksi) HAZ (卑)

35 Pcm 가 Pcm(), 0.

가 900MPa(130ksi) , - 40 (- 40) 가 690MPa(100ksi) 가
HAZ

가 Pcm , Pcm 0.35 Ceq()
(hardenability) , Pcm Ceq

$$P_{cm} = C \% + Si \% / 30 + (Mn \% + Cu \% + Cr \%) / 20 + Ni \% / 60 + Mo \% / 15 + V \% / 10 + 5(B \%);$$

$$C_{eq} = C \% + Mn \% / 6 + (Cr \% + Mo \% + V \%) / 5 + (Cu \% + Ni \%) / 15.$$

5,545,269 , 400 (752) ()
/

가 400 (752) 가

5,545,269 , 400
700 (752 1292) 가
V -
V -
() , , - 40 (- 40) (vE - 40)

5,545,269 가
inite), (lath martensite) (lower ba
가

(Interrupted Direct Quenching; IDQ) 가

(Quench Stop Temperature; QST)

가 가

QST

, IDQ

, 5 20ppm 가
 , (Ceq) 가
 , (know how)가 가
 , IDQ 가
 , 가 760Mpa(110ksi) 가 0.93 ,
 , HAZ , 10% , 5% 가 ,
 15mm(0.59in) , 20mm(0.79in) . 가 ,
 m, 8 12ppm , 가 5 20ppm ,
 , 가 690MPa(100ksi) ,
 , 830MPa(120ksi) , 0.85
 , 0.90 ,
 , 10mm(0.39in) ,
 , 가 5 20ppm ,

가 , 가 " " 50 %
 (upper bainite)
 60 80 %
 90 %

가 , Ac₁ 가
 가 HAZ
 % , 가 Ceq가 0.7 , Pcm 0.35 , :

(C) 0.03 0.10 % , 0.05 0.09 %;
 (Si) 0 0.6 %;

(Mn) 1.6 2.1 %;

(Cu) 0 1.0 %;

(Ni) 0 1.0 %, 0.2 1.0 %;

(Nb) 0.01 0.10 %, 0.03 0.06 %;

(V) 0.01 0.10 %, 0.03 0.08 %;

(Mo) 0.3 0.6 %;

(Cr) 0 1.0 %;

(Ti) 0.005 0.03 %, 0.015 0.02 %;

(Al) 0 0.06 %, 0.001 0.06 %;

(Ca) 0 0.006 %;

(REM) 0 0.02 %;

(Mg) 0 0.006 %.

, (B) 0.0005 0.0020 %, 0.0008 0.0012 %
 Mo 0.2 0.5 % .

, Ceq가 0.3 0.7 , Ceq가 0.5 0.7 .

가 , N
 가 ,
 N 0.001 0.006 % (N), (P) (S)
 % , P 0.015 % , S 0.005 % , 0.002
 , 가 3ppm , 1ppm
 , 가 .

가 ; (壓下) 가
 1 가 1 ; T_{nr} 2 ,
 Ar₃ 가 ; 가
 Ar₁ , ; + 가
 150 (932 302) 550 150 (1022 302) ; 500 가
 ; ;

T_{nr}	Ar_1	Ar_3	
			1 930MPa(135ksi) 가 , 가
			900MPa(130ksi) ,
			2 900MPa(130ksi), 930MPa(135ksi) 가 , 가
			1 가 가
2a	2b	295 (563)	가 (bright and dark field transmission electron micrograph) 2b
3	385 (725)		가
4a	4b	385 (725) 4b	QST 가 10nm Mo, V Nb , 4a
5			II "H" "I"() , II "G"() Joule(J) 40 (- 40) (vE ₋₄₀) , MPa
6			II "H" "I"() , II "D"() J 40 (- 40) (vE ₋₄₀) , MPa
7	380 (716)		IDQ 가 , (II) "D"
8	428 (802)		IDQ 가 , (II) "D"
9	461 (862)		IDQ 가 , (II) "D"

10A 534 (993) IDQ 가 , (II) "D"
 /

10B 534 (993) IDQ 가 , (II) "D"

1000 1250 (1832 2282),
 1050 1150 (1922 2102) 가 , 가
 1 1 가 20 60% 1 Ar3
 2 1 가 40 80%
 r1 Ar3 (QST)[A
 150 (932 302) 550 150 (1022 302), 500
 30 /s(54 /s) 10 /s(18 /s) 20 /s(36 /s)
 35 /s(63 /s)
 가 가
 " (%)" 가 (%)
 25.4cm(10in) 1 12.7cm(5in)
 50% (50%), 2 2.54cm(1in) 80% (8
 0%).

1 가 (10) (
), (14) (QST)(16) (12)
 ; ((18) ((20))
 (22))
 (24) (26)

가 :

[Nb(C,N)], [V(C,N)] Mo₂C() , Nb() ,
 C,N) () ,
 0.03 % , 0.10 % ,
 HAZ ,
 % 2.1 % , 1.6
 2.1 % 가 ,
 (deoxidation) 가 0.6 %
 (HAZ) ,
 가 ,
 Nb(C,N) 가
 가 , 0.10 % , 0.01 % 가
 %가 , 0.03 0.06 % HAZ 가 가 0.10
 가
 0.005 % 가) , 3.4 () ()
 가 , 0.005 %
 , 0.03 % ,
 HAZ 가 가 1.0 % , 가
 가 , 0.2 % , 가 가
 2 % ,
 , 1.0 % , 가 가
 1/3 , 가 가

가 . , HAZ , 0.06
 TiN HAZ ,
 HAZ ,
 % , Al₂O₃ () , 가 HAZ
 가 , 가
 가 가
 0.10 % ,
 0.03 0.08 % .
 가 가
 가 가
 0.3 % 0.2 % ,
 0.6 % 0.5 % .
 가 . 1.0 %
 HAZ , 1.0 %
 가
 0.001 % . 가 가
 0.006 % .
 (REM) (MnS) , (:
) . Ca 0.001 % REM 0.001 %가
 0.006 % REM 0.02 %
 CaO - CaS(-) REM - CaS(-)가
 0.006 % REM 0.02 %
 0.001 % 0.003 % , 0.002 %
 4(O %)] / 1.25(S %)) ESSP 0.5 10 ESSP = (Ca %) [1 - 12
 , Mg HAZ 0.0001 % Mg가 HAZ Mg 가
 HAZ 0.006 % 가 HAZ

(0.3 %) 0.0005 0.0020 %(5 20ppm) 가

0.002 % Fe₂₃ (C,B)₆ ()
0.0020 % 0.0005 0.0020 %(5 20ppm)
가 가 가 가 Ceq 가

가 가

1

Mo₂C, V(C,N) Nb(C,N) 가

가 가 가 5 20 μ (filling) Mo, V Nb Mo, V

Nb가 Mo₂C, Nb(C,N) V(C,N) 가 TiN V, Nb Mo 가

가 1000 (1832) 1250 (2282) 가

가 가 가 가 가 가

T_{nr}

가

가 가

() 가 가 가 (QST) 가

IDQ 가

, Mo, V, Nb

가 HAZ

1) : 20 35 /s(36 63 /s) IDQ 가
 (Ceq) (QST) , Ceq가 0.45 0.7
 가 IDQ 가 QST 550
 150 (1022 302) , QST, 270 (518
 200 (392) IDQ 가 , QST가 QST가
) 가 - . QST가 QST가
 200 (392) 가 295 (563) QST 가
 () 5 , 200 (392) , 270 (518
 518) 295 (563) QST 가 5 (52)
 2a 2b , 2a 2b 295 (563) QST

2a 2b 3 5 , QST가 385
 (725) QST 가 3 5 (54)
 , 3

HAZ) , Mo, V Nb
 4a 4b 10nm

가

5 QST , QST가 500 (932) ,
 , 515 (959) 가 5 (56)
 , 515 (959) QST , 5 (56)
 가 가

2. : (0.5 0.3 Ceq)
 IDQ 가 , IDQ 가
 QST가 200 (392) 40% , IDQ 가
 5
 , - 5 (58)

3. :
 가 , 가
 가 0.5 0.7 Ceq 가 ()
) , ()
 QST()
 .534 QST ,
 가 .461 QST , .428 Q
 ST , .380 200 QST ,
 QST
 380 (716) QST IDQ 가 , 7
 가
 IDQ (QST) , , 200 (392) QST
 T가 428 (802) 가 , .8, 428 (802) QST IDQ 가 (II) "
 D" (HAZ)
 , Mo, V Nb

QST 가 460 (860) , , QST가 가
 461 (862) QST IDQ 가 (II) "D"
 9

QST, , 534 (993) ,
 10A 10B 534 (993) QST IDQ 가 (가
 II) "D" , 가

QST 가 , 200 450 (392 842) . 150 (302)
 , 450 (842)

6 () H I(II)
 si) , () D(II) , 900MPa(135k
 - 40 (- 40) 120J(90ft - lbs) , , 120J(90ft - lbs)
 $\sqrt{E_{-40}}$ / "534"
 () 가 ()
 + /)
 II "A" "D"
 , "E" "I" 가

[2]

ID	(% + ppm)														
	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	Mo	Nb	V	Ti	Al	B ⁺	N ⁺	P ⁺	S ⁺
A	0.050	0.07	1.79	0.35	-	0.6	0.30	0.030	0.030	0.012	0.021	-	21	50	10
B	0.049	0.07	1.79	0.35	-	0.6	0.30	0.031	0.059	0.012	0.019	-	19	50	8
C	0.071	0.07	1.79	0.35	-	0.6	0.30	0.030	0.059	0.012	0.019	-	19	50	8
D	0.072	0.25	1.97	0.33	0.4	0.6	0.46	0.032	0.052	0.015	0.018	-	40	50	16
E	0.049	0.07	1.62	0.35	-	-	0.20	0.030	0.060	0.015	0.020	8	27	50	6
F	0.049	0.07	1.80	0.35	-	-	0.20	0.030	0.060	0.015	0.020	8	25	50	8
G	0.069	0.07	1.81	0.35	-	-	0.20	0.032	0.062	0.018	0.020	8	31	50	7
H	0.072	0.07	1.91	0.35	-	0.29	0.30	0.031	0.059	0.015	0.019	10	25	50	9
I	0.070	0.09	1.95	0.35	-	0.30	0.30	0.030	0.059	0.014	0.020	9	16	50	10

가

Ac1₁ : 가 가 ;

Ar1₁ : 가 ;

Ar3₃ : 가 ;

: ;

Ceq(): ; Ceq = (C % + Mn %/6 + (Cr % + Mo % + V %) /5 + (Cu % + Ni %) /15);

ESSP: ; ESSP = (Ca %) [1 - 124(O %)] /1.25(S %);

Fe23₂₃ (C,B)6₆: ;

HAZ: ;

IDQ: ;

: 0.50 Ceq;

Mo₂C: ;

Nb(C,N): ;

Pcm: ; , Pcm = (C % + Si %/30 + (Mn % + Cu % + Cr %)/20 + Ni %/60 + Mo %/15 + V %/10 + 5(B %));

: , 50 % ;

: 가 , 가 ; 가

() : ;

(QST): 가 , 가
가 ;

REM: ;

T_{nr} : 가 ;

V(C,N): ;

vE - 40₋₄₀ : - 40 (- 40) V - .

(57)

1.

가 900MPa(130ksi) , - 40 (- 40) V - 120J(9
0ft - lbs)
(lower bainite), (lath martensite) (i) 50 90 % ,
(ii) 20 % (iii) 가 C 0.03 0.10
%, Mn 1.6 2.1 %, Nb 0.01 0.10 %, V 0.01 0.10 %, Mo 0.3 0.6 % Ti 0.0
05 0.03 % , Ceq가 0.5 0.7 Pcm 0.35 ,

2.

1 , (i) Si 0 % 0.6 % , (ii) Cu 0 % 1.0 % , (iii) Ni 0.2 1.0
%, (iv) Cr 0 % 1.0 % , (v) Ca 0 % 0.006 % , (vi) Al 0 % 0.0
6 % , (vii) (REM) 0 % 0.02 % (viii) Mg 0.0001 0.006 %
가 가 , .

3.

1 , 가 , .

4.

1 , , 가 , .

5.

4 , 가 0.06 % , .

6.

4 , 가 0.03 % , .

7.

1 , , .

8.

9.

10.

1 , 0.2 1.0% , .

11.

1 , 0.03 0.06% , .

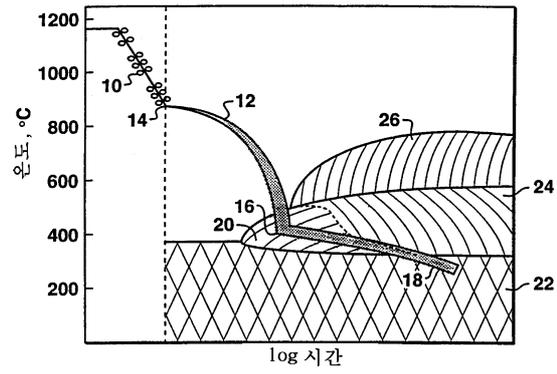
12.

1 , 0.03 0.08% , .

13.

14.

1



2A



2b



3



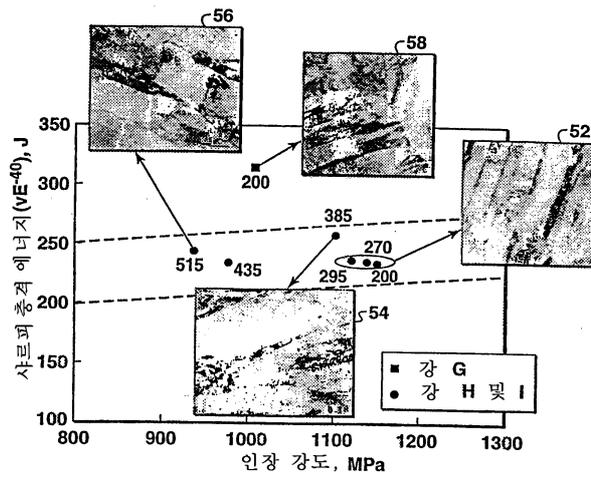
4a



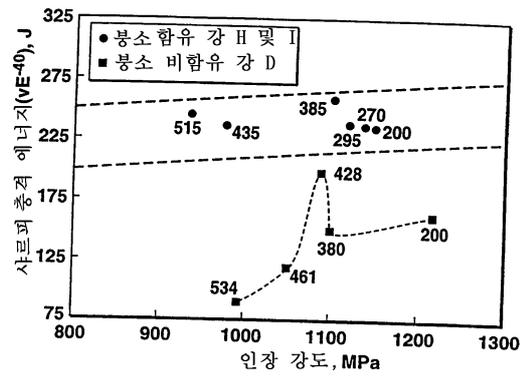
4b



5



6



7



8



9



10a



10b

