技術資料

Boron강 주강품의 개발

김 확 태

Hardenability Study for Boron Steel

H. T. Kim

1. 서 론

산업기계의 발전과 대형화, 전문화로 인하여 소요되는 장비 및 부품을 새로운 신소재로 개발하여 기존의 제품재질과 동일하거나 그 이상의 우수한 성질을 얻어낼 수 있고 또한 가격이 저렴하여 원가절감 향상 및 기술축적에도 기여하고 대외적으로도 경쟁력에 있어서 크게 작용하리라 생각되어 개발하게 되었다.

2. Boron강의 개요 및 용도

Boron이 소입성을 향상시키는 것은 고용된 Boron이 austenite 입계에 편석하여 계면에너지를 떨어뜨려 ferrite의 생성을 억제하기 때문이다. 그러므로 소입성이 좋다(융점 : 2074℃ 원자량 : 10.81).

Boron강 주강은 1938년 미국에서 제강작업시 우연히 Boron이 혼입되어져 소입성이 크게 상승되어짐을 발견하게 되었고, 1948년 미국 기술연구소에서 대규모적으로 연구 발표되어 Caterpillar Tractor사에 의하여 Boron강 주강의 특성 규명 및 실용화를 하게 되었다.

한편 국내에서는 아직 확실하게 Boron강 주강에 대한 실용화된 작업표준이나 제조에 관한 자료강 발표가 되어 있지 않고 있다.

현재 사용되고 있는 중장비 부품용 재질은 L-Mn, Cr-Mo, Mn-Cr, Mn-Cr-Mo 합금강 주강으로서 이들의 주조품 생산에는 상당량의 합금철이 사용되고 있어 원단위의 상당한 증가요인으로 작용하며 또한 전체 작업공정간에서 특별한 열적관리를 요구하고 있다.

그러나 Boron강 주강의 경우는 특히 원단위면에서도 일반적인 재질로의 생산가격에 약 30% 정도 밖에 소요되지 않으므로 통상의 합금강주강보다는 훨씬 경쟁력을 가지며 주조공정에 있어서도 열적관리면에서 편이하게 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Boron강 주강은 다른 합금강에 비하여 탁월한 소입성으로써 기계적 성질 및 경도를 가질 수 있고 냉간 가공성, 피절삭성, 내마모성, 내충격성 등이 우수함은 물론 용접성은 합금강에 비해 현격히 양호함으로써 고부하용 중장비 및 산업기계(track shoe, link gear, sidecutter, sprocket, tooth, track roller)등 그 적용범위를 크게 확장시킬 수 있다.

3. 시작품 제작

3.1 시작품의 화학조성

순위	KS규격	화학성분(wt%)									비 고
		C	Si	Mn	P.S	Cr	Mo	Ti	B	기 타	
1	SCM-2	0.29	0.32	1.42							
2	SCMn-2	0.29	0.31	1.44				0.070 첨가	0.0045 첨가		
3	SCMn-3	0.303	0.44	1.16							
4	SCMn-3	0.294	0.51	1.25				0.043	0.0039		
5	SCMnCrM-2	0.29	0.46	1.60		0.52	0.38	—	—		

한국중기공업주식회사 주조사업부 제1공장

3.2 Jominy End Quench Test

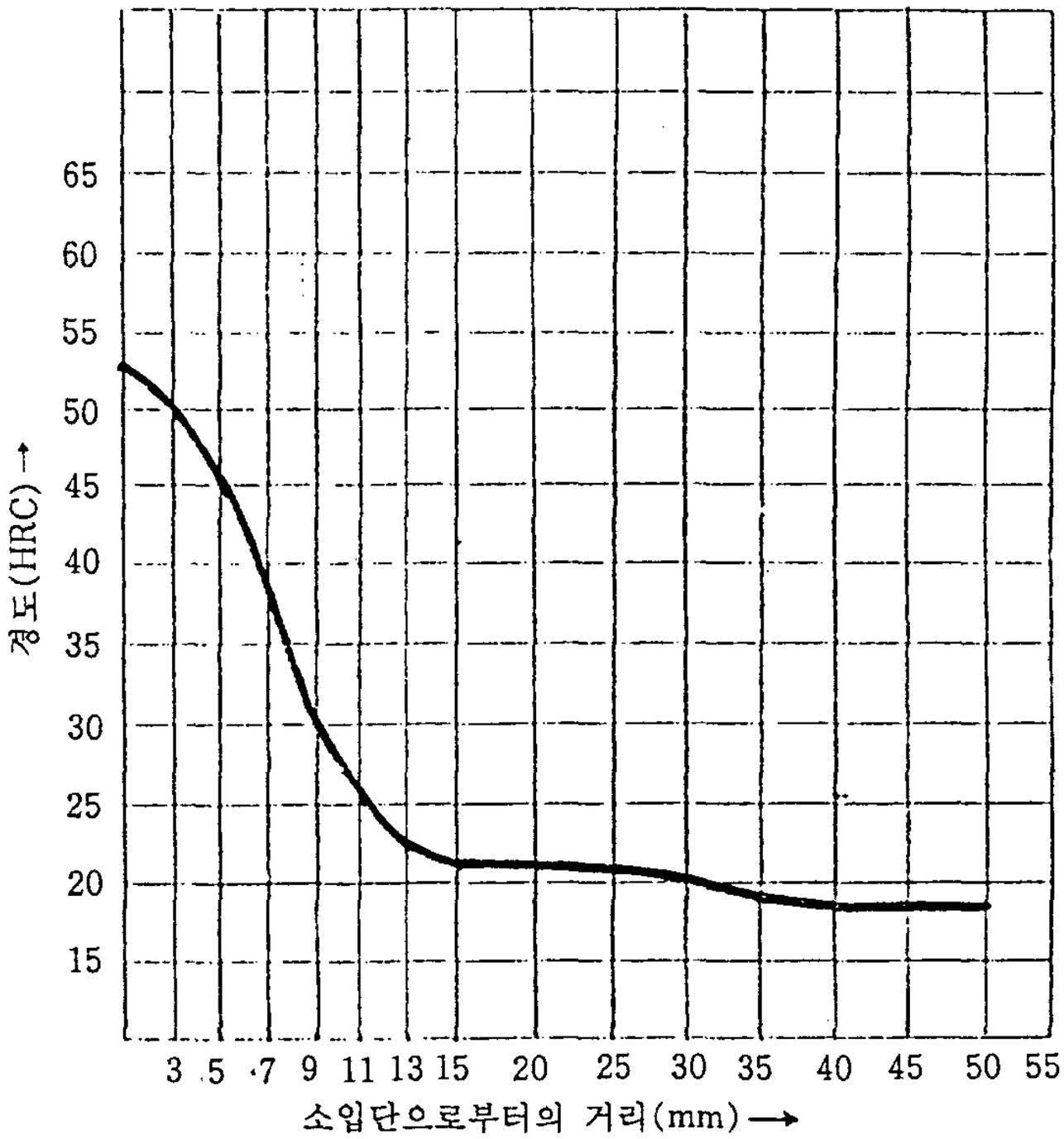
MATERIAL : #SCMn—2

화 학 성 분 wt.%

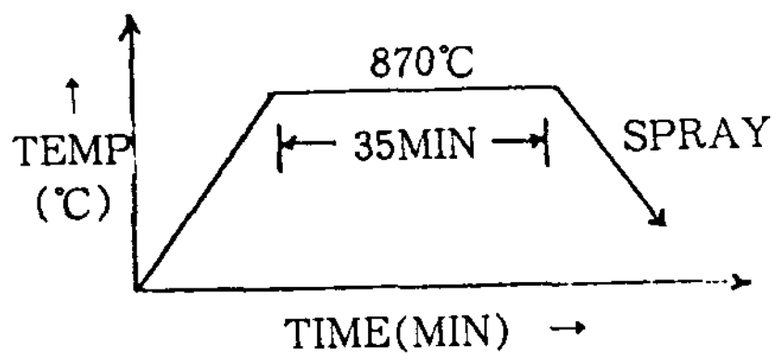
C	Mn	Si	Ni	Cr	Ti	B
0.292	1.42	0.32	—	—	—	—

소입단으로부터의 거리 및 경도범위

단면에서 거리(㎜)	HRC	
	MAX	MIN
1.5	53	50
3	51	49
5	48	46
7	40	37
9	32	29
11	27	25
13	24.5	22.5
15	22	23
20	22	21
25	21.5	
30	20.5	20
35	20.5	20
40	19.5	18
45	19.5	18.5
50	19	18
55	—	—



HEAT CYCLE

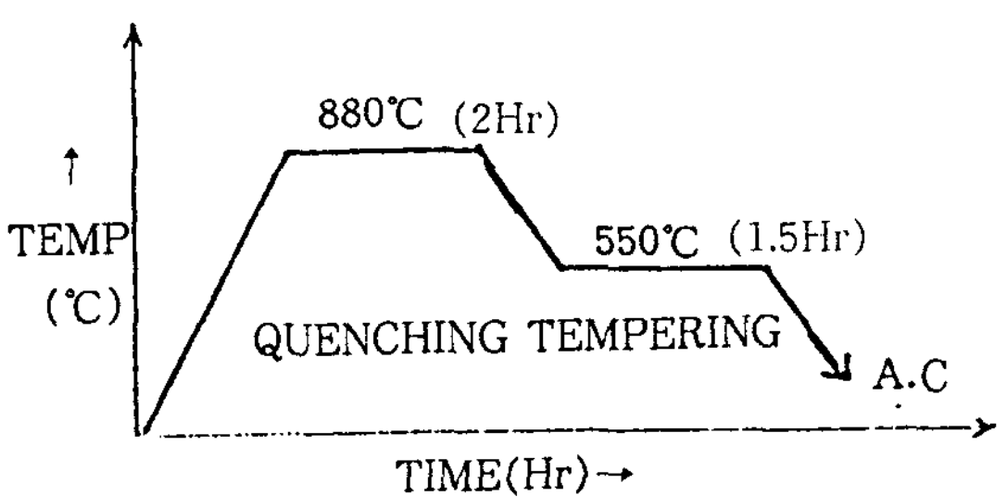


Coolant Temperature : 15℃

Consumming Time : 8sec

Grinding Depth : 0.7mm

HEAT TREATMENT CYCLE



MECHANICAL PROPERTIES

Y.P (kg/mm²)	T.S (kg/mm²)	E.L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
45 ↑	65 ↑	16 ↑	35 ↑	

CRITICAL DIAMETER : mm

MATERIAL : #SCMn—B

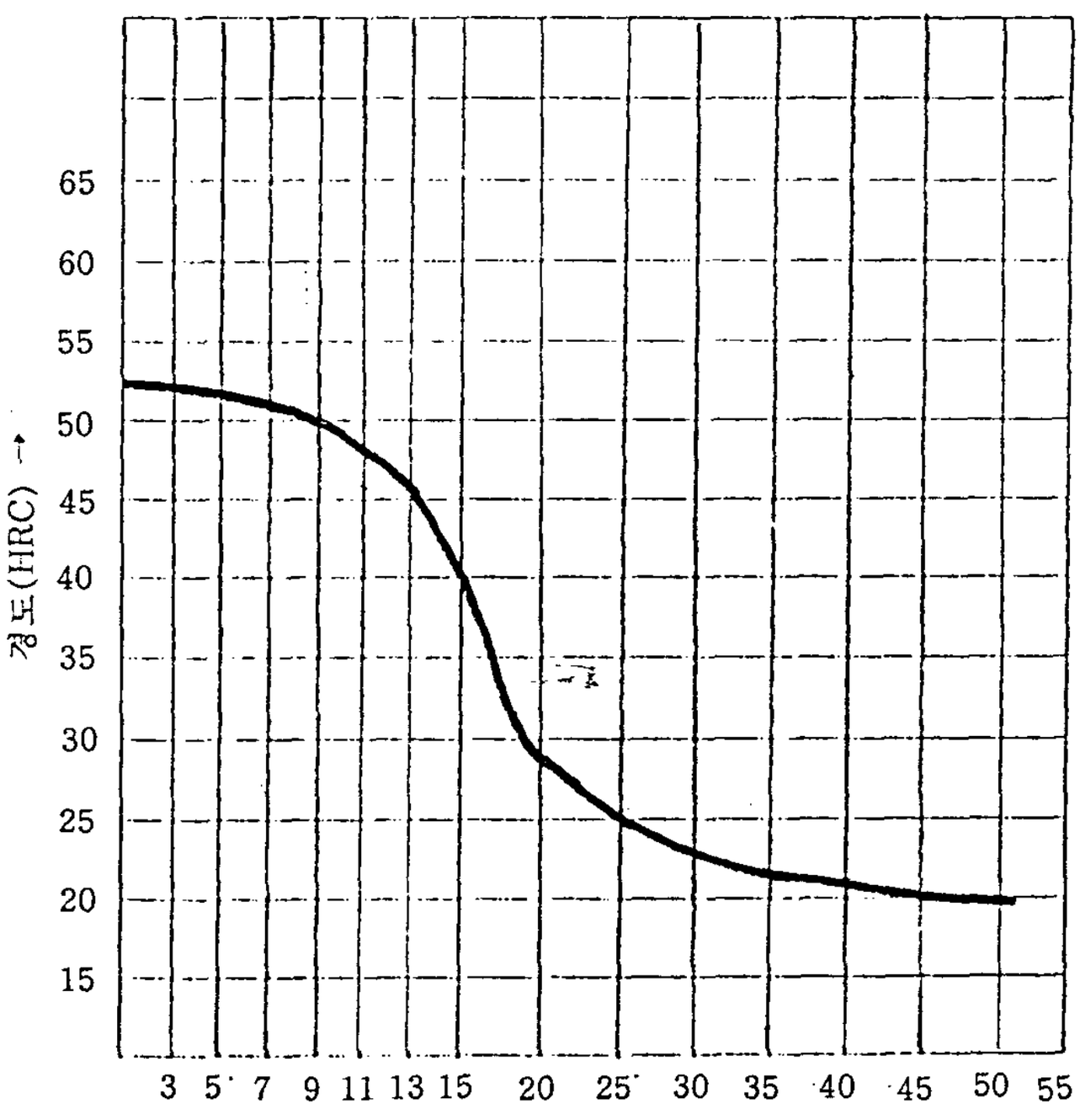
화 학 성 분

wt.%

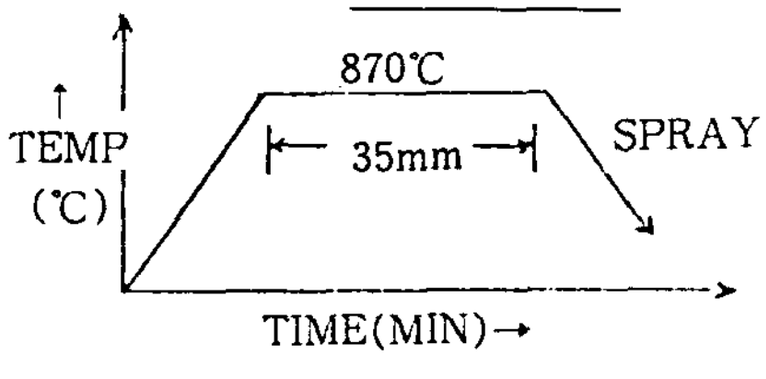
C	Mn	Si	Ni	Cr	Ti	B
0.29	1.44	0.31			0.07	0.0043

소입단으로부터의 거리 및 경도범위

단면에서 거리(㎜)	HRC	
	MAX	MIN
1.5	53	52
3	53	52
5	52	51.5
7	51.5	50.5
9	50.5	50
11	49	47.5
13	46.5	45.5
15	44	40
20	29	28.5
25	25.5	24.5
30	23.5	23
35	23	22.5
40	22	21.5
45	21	19.5
50	20.5	20
55	—	—



HEAT CYCLE



Coolant Temperature : 15℃

Consumming Time : 8sec

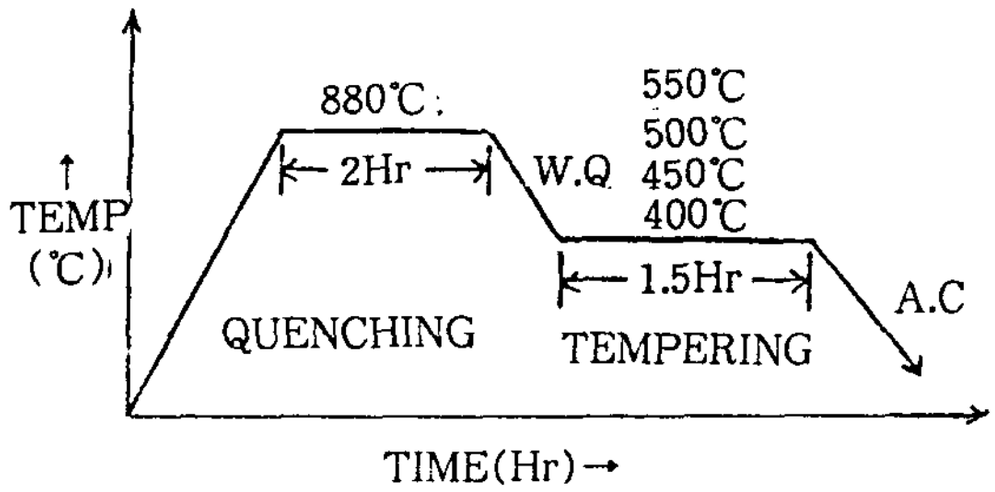
Grinding Depth : 0.7mm

MECHANICAL PROPERTIES

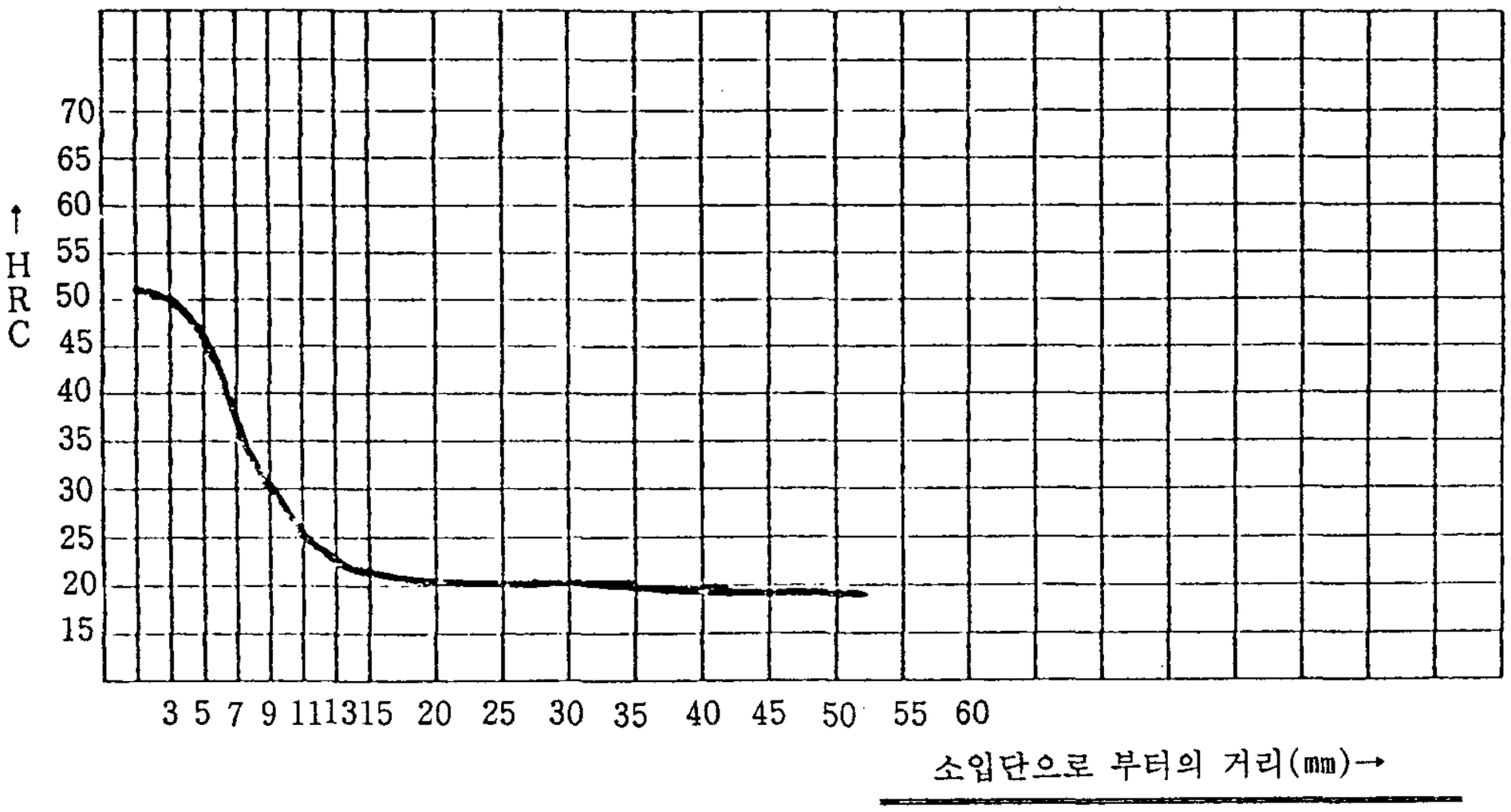
온도	Y.P (kg/mm²)	T.S (kg/mm²)	E.L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
400	116.2	120.6	6.8	13.4	49/54
450	—	9.19	2	3.5	
500	88.4	95.2	13.6	45.8	
550	81.5	89	13	22.8	

CRITICAL DIAMETER :　　mm

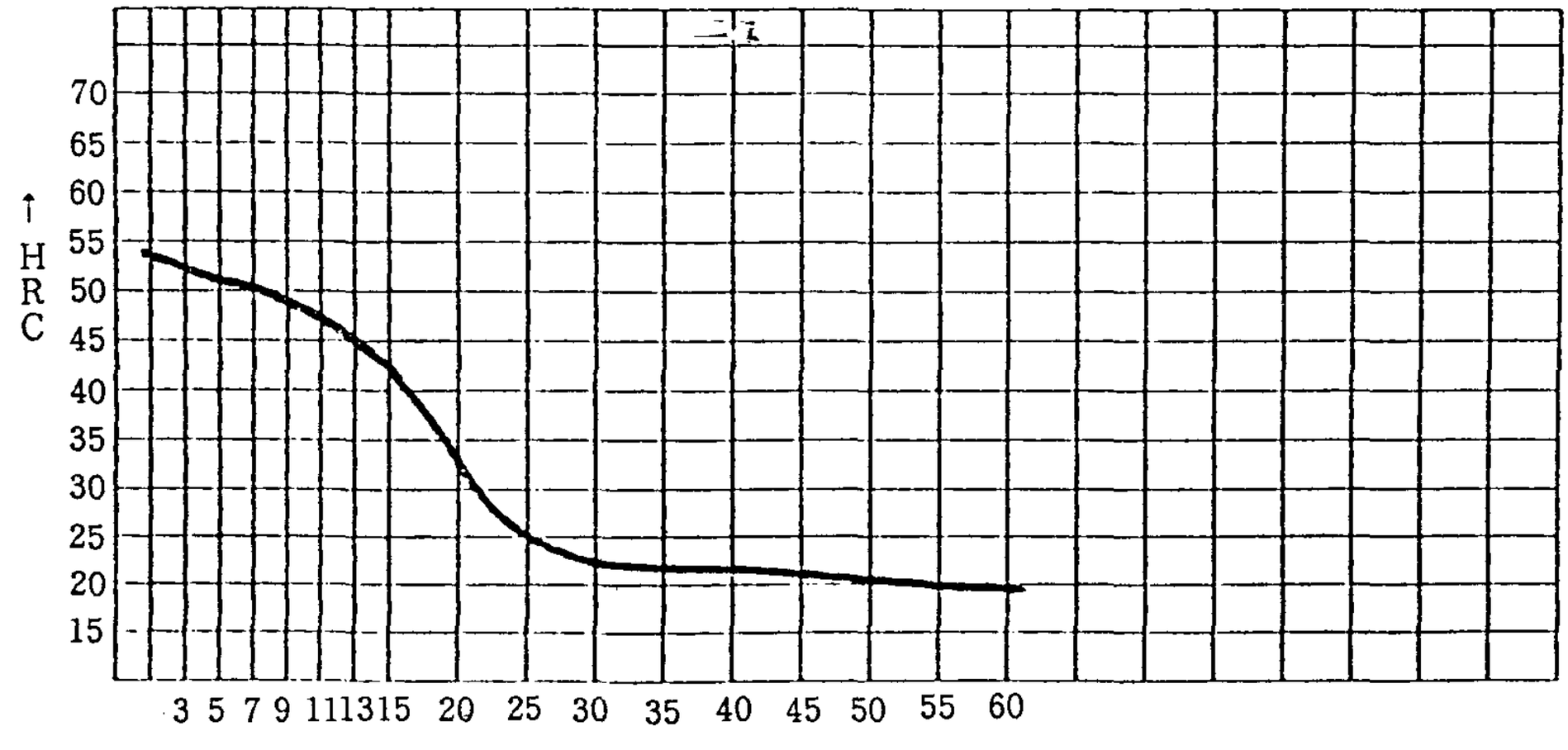
HEAT TREATMENT CYCLE



(SCMn)



(SCMn-B)



○ 기계적 성질 비교

재 질	tempering 온 도	Y . P (kg/mm^2)	T . S (kg/mm^2)	E . L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
SCMn		45이상	65이상	16이상	35이상	
SCMn-B	450	89.7	91.9	2.9	35	
SCMn-B	450	88.4	95.2	13.6	45.8	49-53

MATERIAL : #SCMn—3

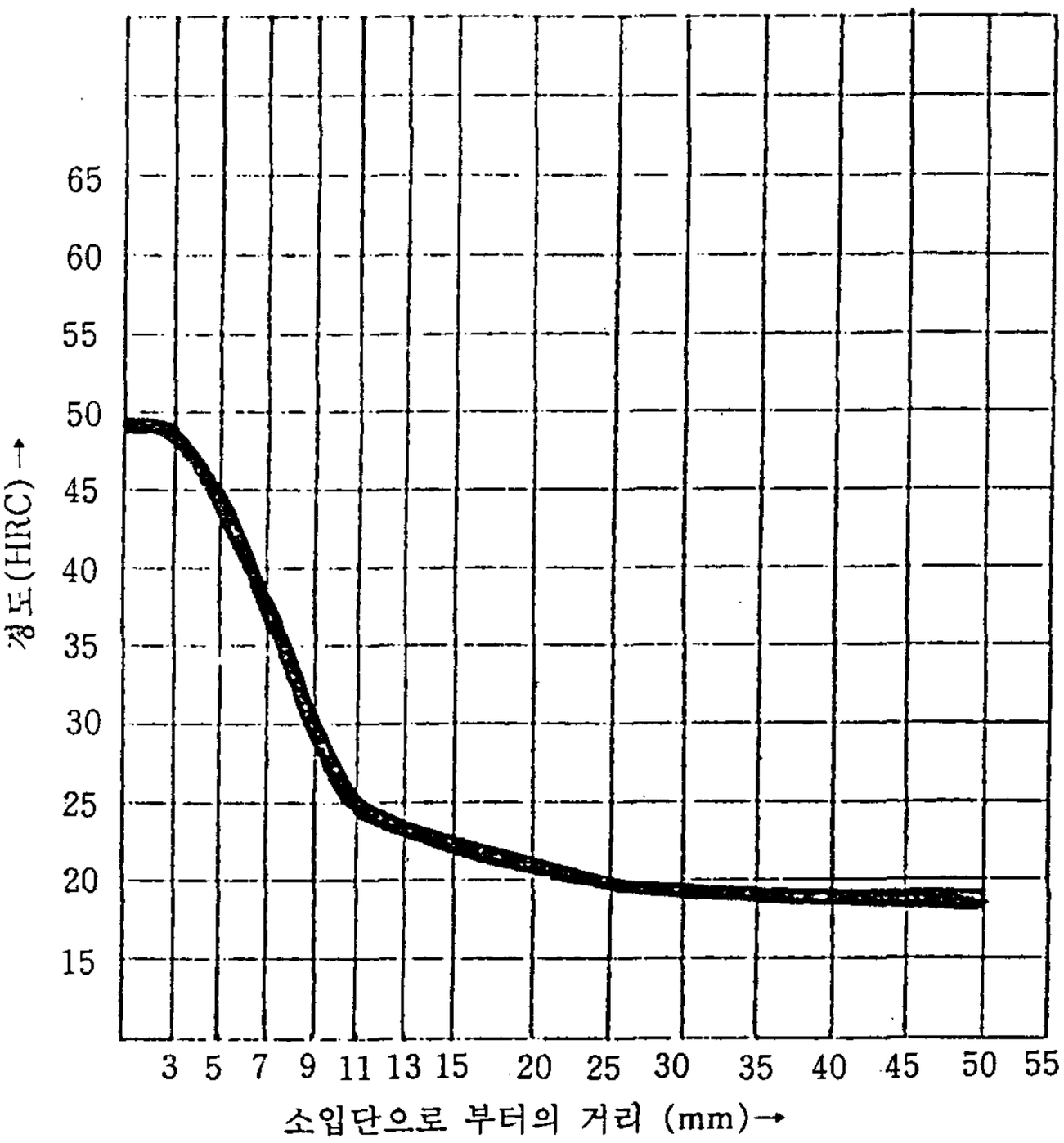
화 학 성 분

wt.%

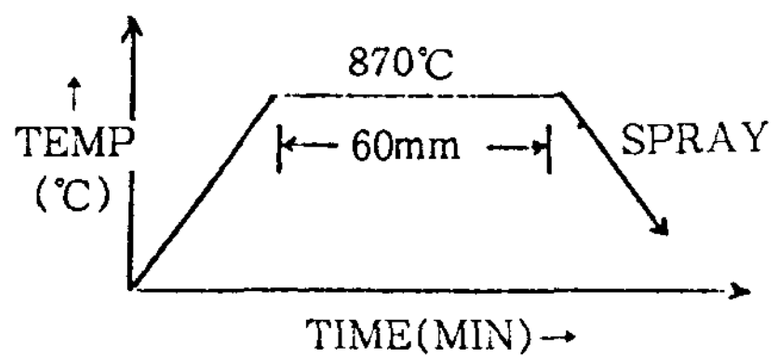
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	
0.303	1.16	0.44		—	—	

소입단으로부터의 거리 및 경도범위

단면에서 거리(㎜)	HRC	
	MAX	MIN
1.5	50	48.5
3	50	49
5	45	44
7	40	36.5
9	33.5	27
11	28	25.5
13	25.8	24
15	24	23
20	22	21
25	21.5	20.5
30	19.5	19
35	20.5	19.5
40	20	19
45	19	18.5
50	19.2	18.5
55	—	—



HEAT CYCLE

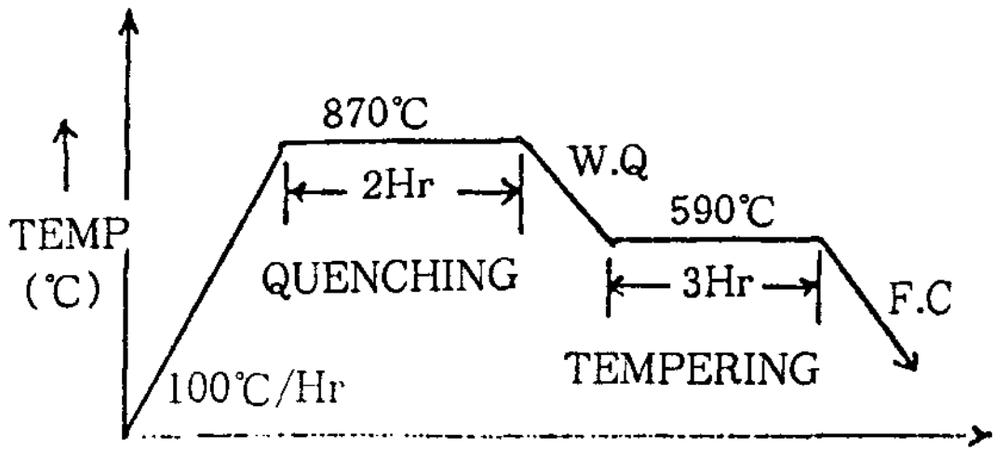


Coolant Temperature : 11℃

Consumming Time : 10sec

Grinding Depth : 0.7mm

HEAT TREATMENT CYCLE



MECHANICAL PROPERTIES

Y.P (kg/mm^2)	T.S (kg/mm^2)	E.L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
54.4	71.8	23	41.3	44/48

CRITICAL DIAMETER :　　mm

소입단으로부터의 거리 및 경도범위

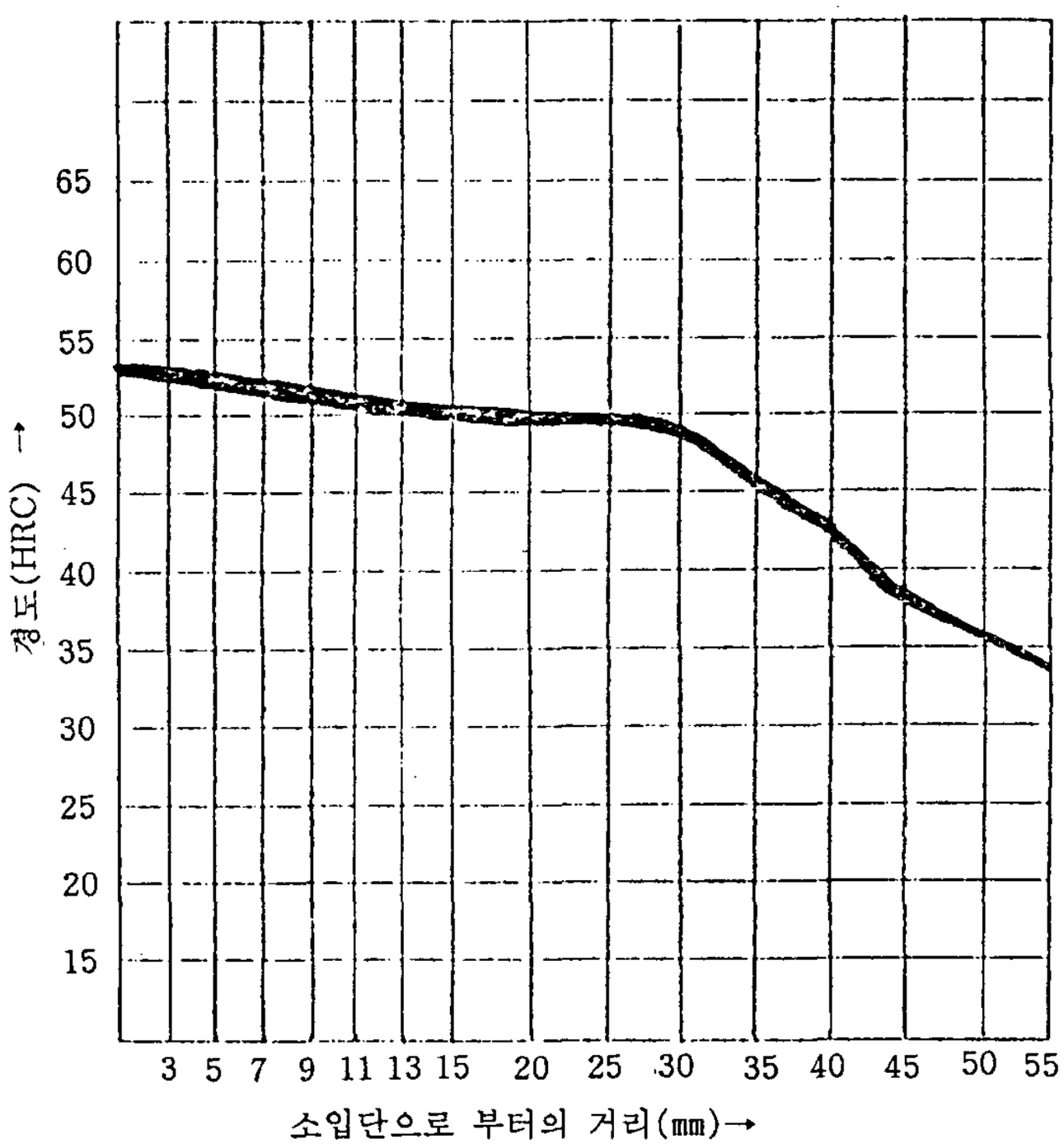
단면에서 거리(㎜)	HRC	
	MAX	MIN
1.5	54.3	52
3	54	53.2
5	53.5	52.5
7	53	51
9	52	50.5
11	52	51
13	52	51
15	51.8	49
20	50.3	49
25	48.5	47
30	45.5	45.2
35	43	41.6
40	38.5	35.5
45	35	30.5
50	32	30.5
55	31	28.2

MATERIAL : #SCMn3—8

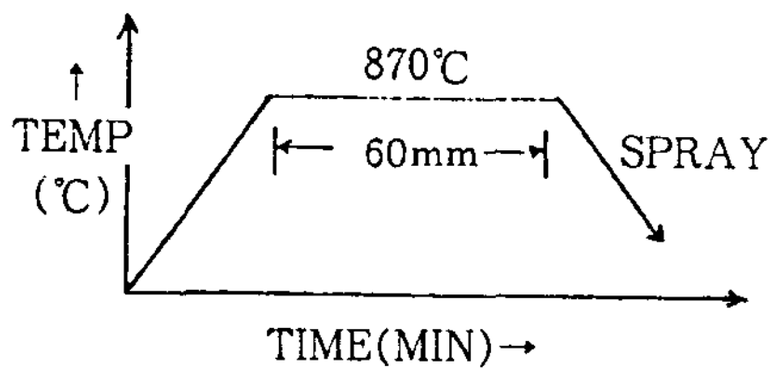
화 학 성 분

wt.%

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	
0.294	1.25	0.51	—	—	—	0.0039



HEAT CYCLE

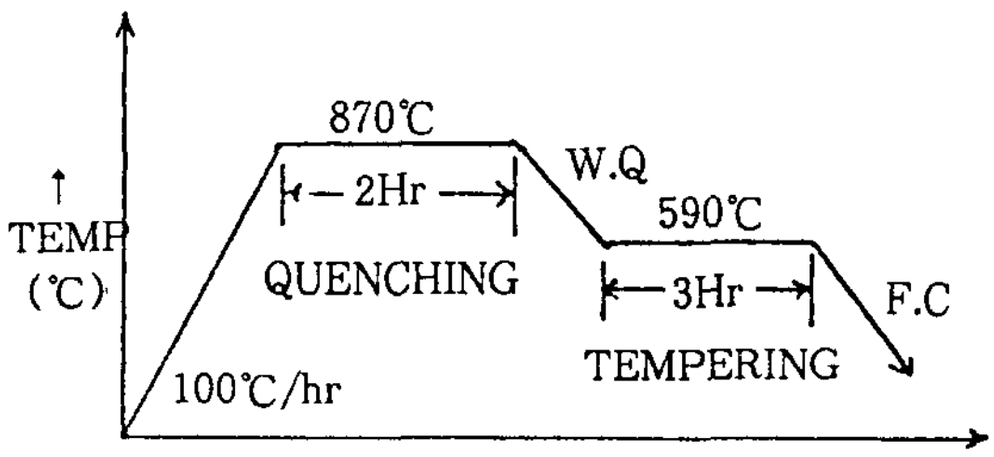


Coolant Temperature : 11℃

Consumming Time : 10sec

Grinding Depth : 0.7mm

HEAT TREATMENT CYCLE

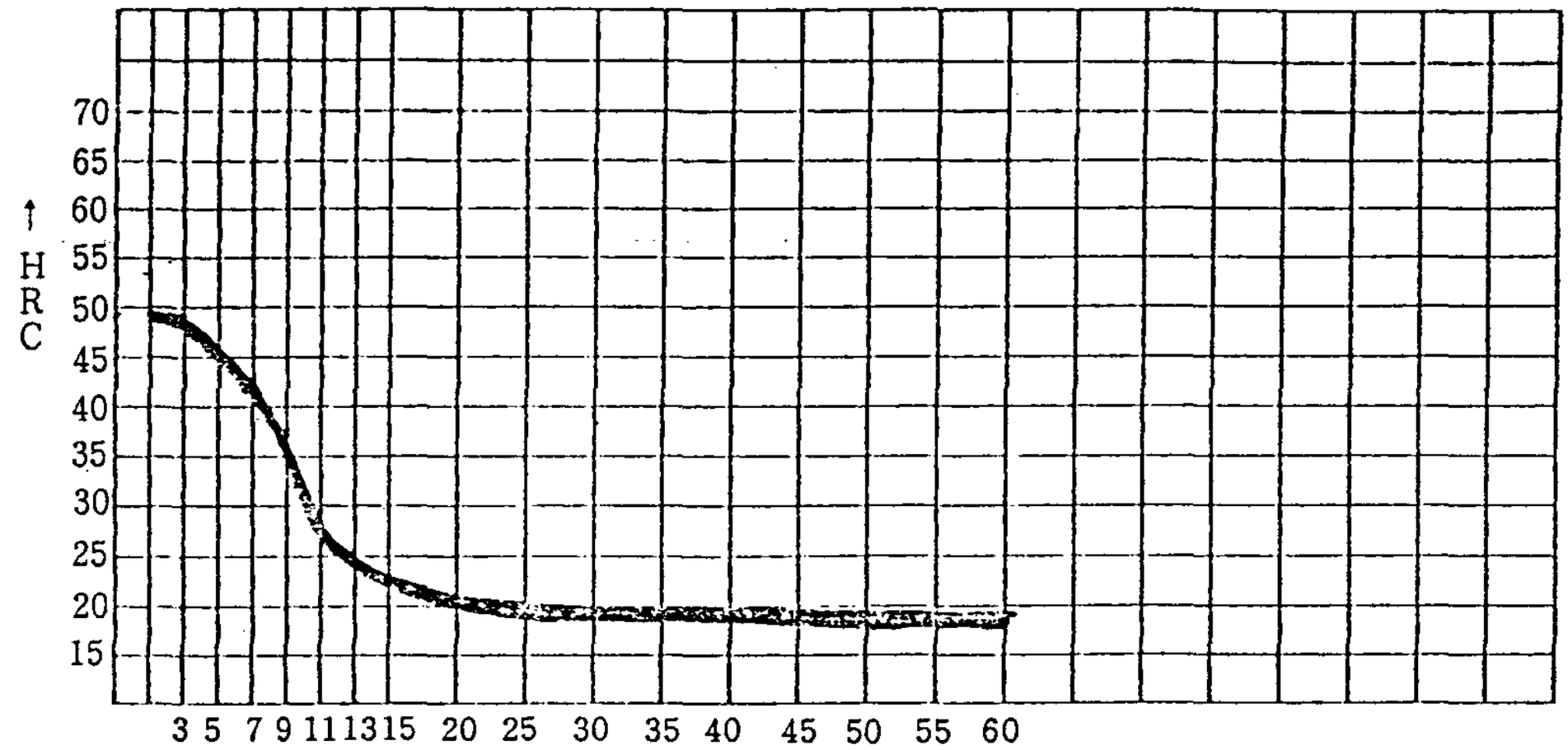


MECHANICAL PROPERTIES

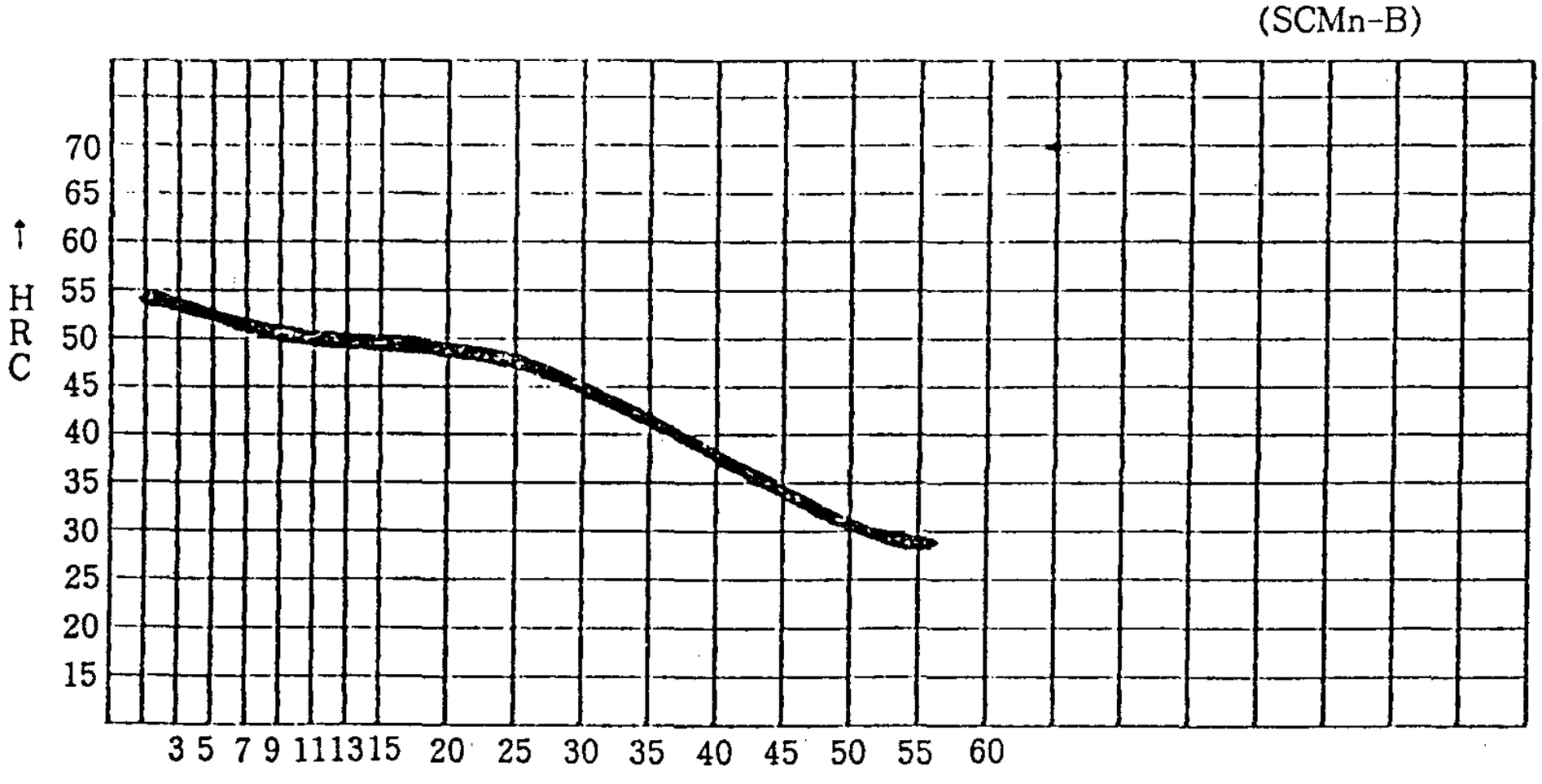
Y.P (kg/mm^2)	T.S (kg/mm^2)	E.L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
63	87.7	13.8	22.8	49/53

CRITICAL DIAMETER : 42 mm

(SCMn 3)



(SCMn-B)



○ 기계적 성질 비교

재　　질	tempering 온　도	Y . P (kg/mm^2)	T . S (kg/mm^2)	E . L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
SCMn-3	590℃	54.4	71.8	23	41.3	44—48
SCMn-3-B	590℃	63	87.7	13.8	22.8	49—54

MATERIAL : #SCMnCrM-2

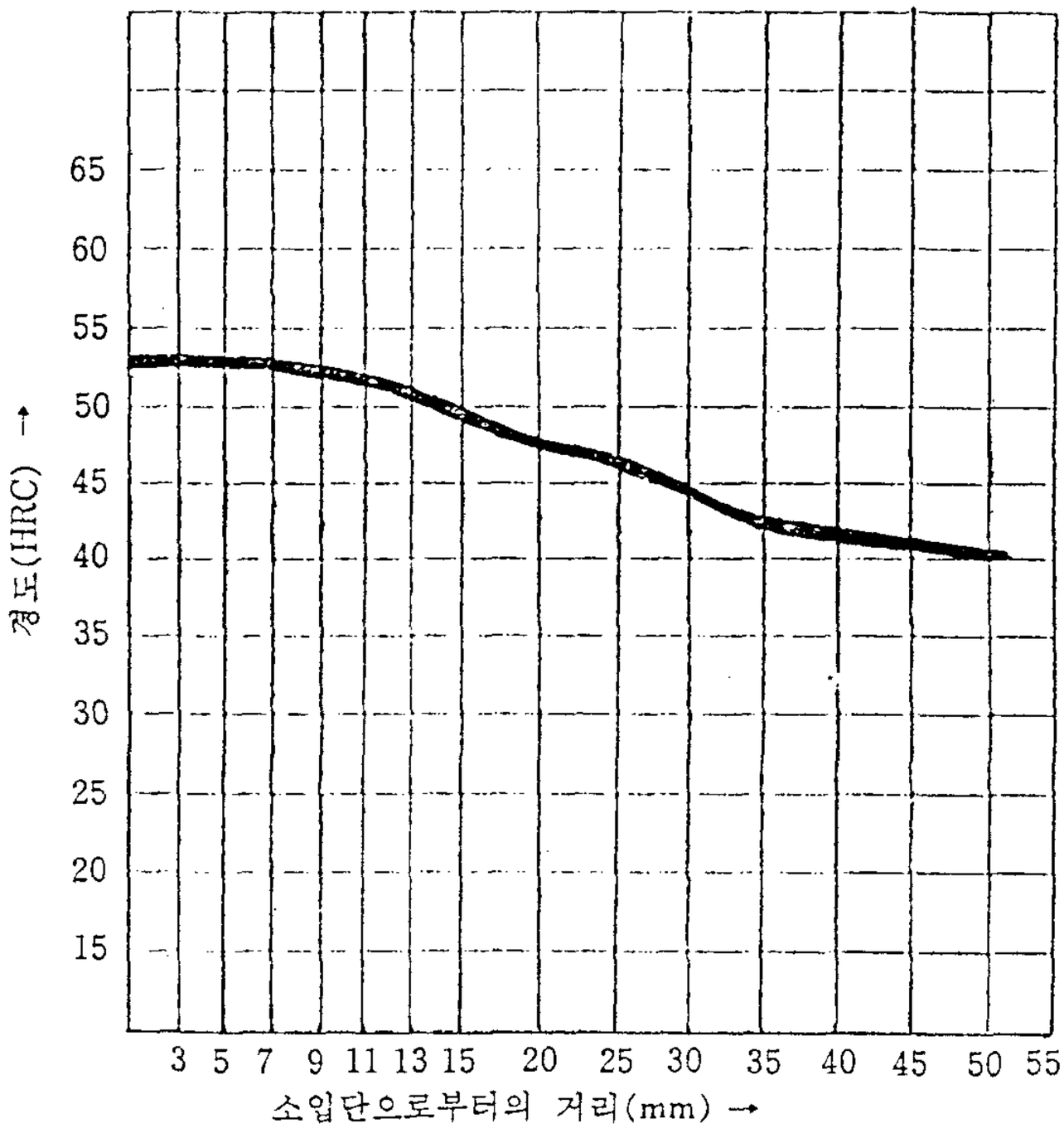
화 학 성 분

wt.%

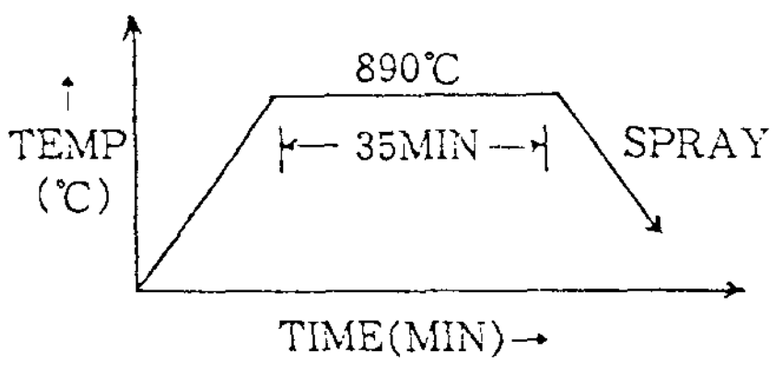
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	
0.29	1.61	0.46	-	0.52	0.38	-

소입단으로부터의 거리 및 경도범위

단면에서 거리(㎜)	HRC	
	MAX	MIN
1.5	55	52
3	54	52.5
5	53.5	52.5
7	54	52.5
9	53	52
11	52	51
13	51.5	50
15	50.5	47.5
20	48.7	46
25	47	43.5
30	45	40.5
35	43.5	41.5
40	42	39.5
45	42.5	41
50	41	39
55	40.5	37



HEAT CYCLE

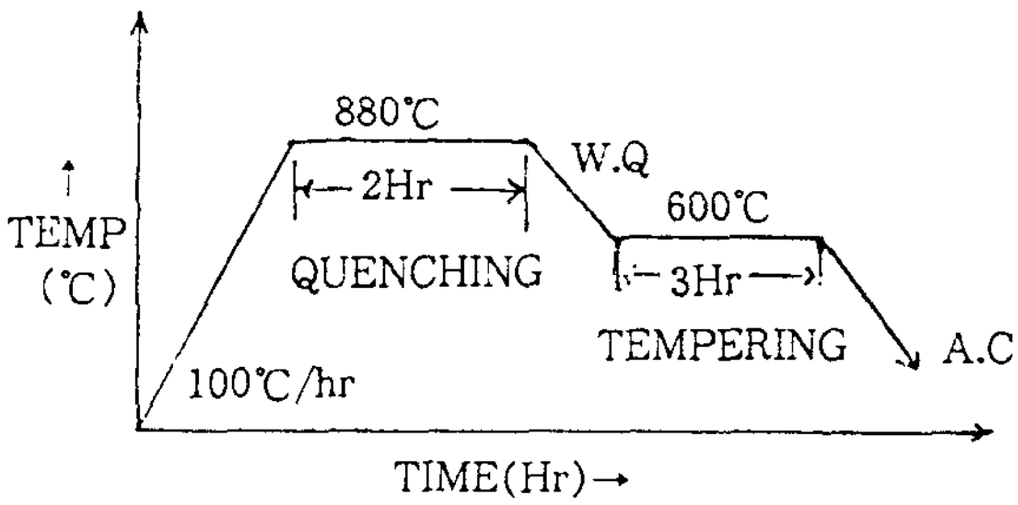


Coolant Temperature : 11℃

Consumming Time : 10sec

Grinding Depth : 0.7mm

HEAT TREATMENT CYCLE

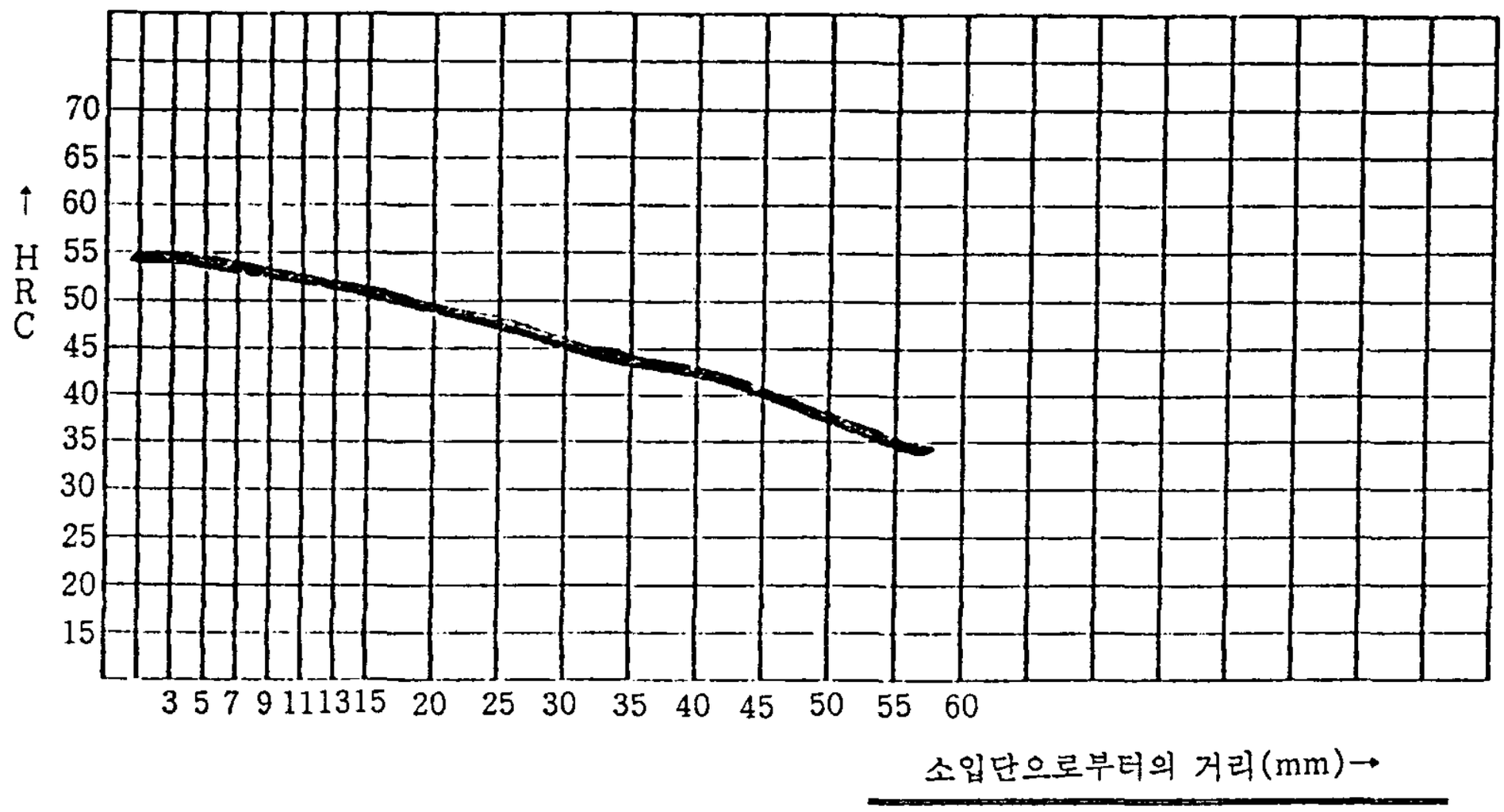


MECHANICAL PROPERTIES

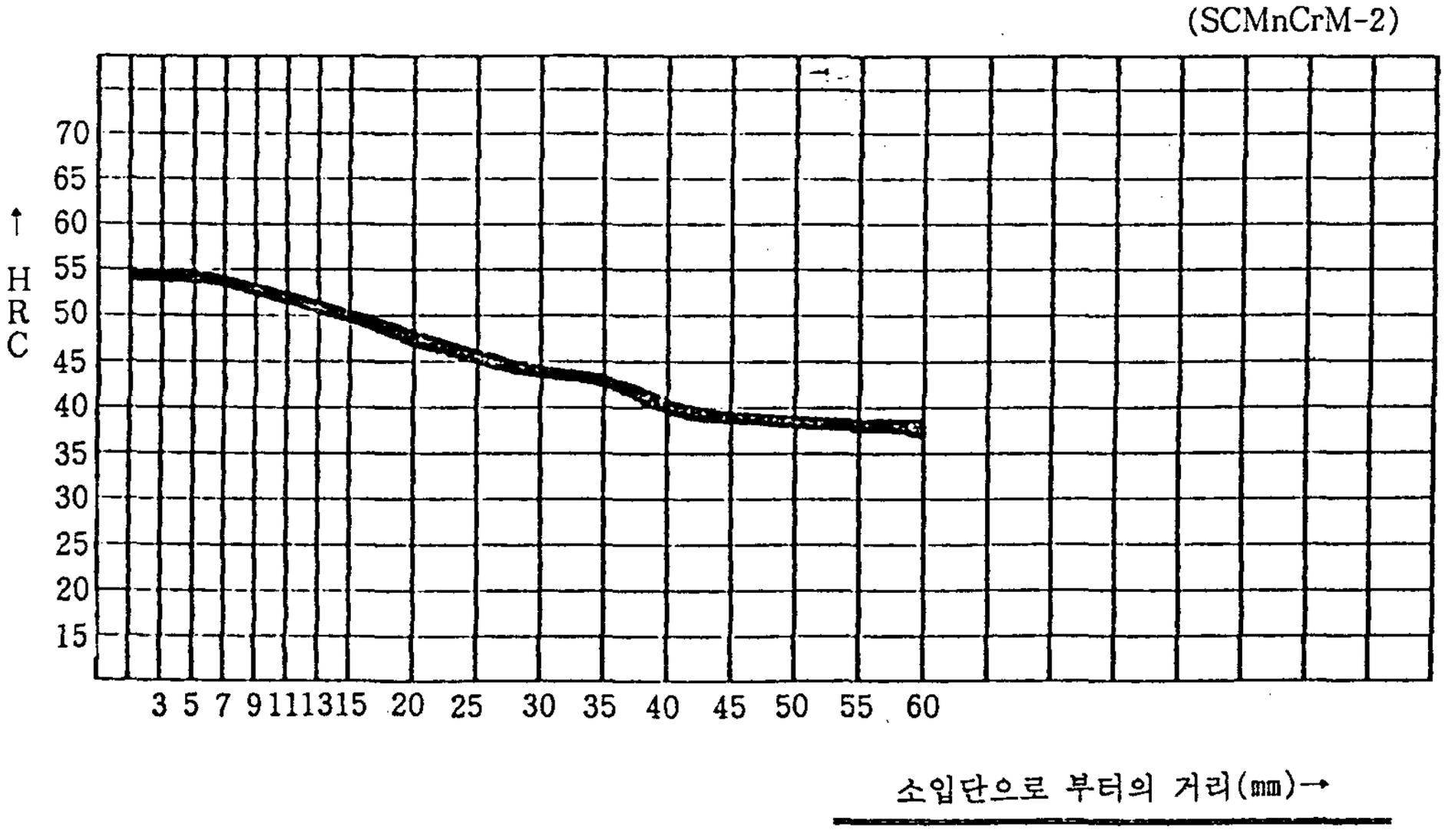
Y.P (kg/mm^2)	T.S (kg/mm^2)	E.L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
55 ↑	75 ↑	13 ↑	30 ↑	53.5/56

CRITICAL DIAMETER : mm

(SCMn-3-B)



(SCMnCrM-2)



○ 기계적 성질 비교

재　　질	tempering 온　　도	Y . P (kg/mm^2)	T . S (kg/mm^2)	E . L (%)	R.O.A (%)	HARDNESS (HRC)
SCMn-3-B	590℃	63	87.7	13.8	22.8	49—54
SCMnCrM-2	600℃	55 ↑	75 ↑	13 ↑	30 ↑	53—56

3.3 충격시험(impact test) : (charphy u-notch impact)

종 류(B)	온 도 별 (TEMPERING)	충 격 치 (kg m/cm²)
SCMn-2	400℃	2.93
SCMn-2	450℃	4.88
SCMn-2	500℃	6.79
SCMn-2	550℃	7.61
SCMn-2(JIS)규격		3.5이상

위 도표와 같이 충격치도 500℃ 전후 tempering 온도에서 가장 우수하게 나타났다. 기계적 성질값도 50℃ 전후 온도에서 좋은 것으로 판명되었다.

충격치가 높게 나타나는 것은 B강이 특징인 고강도에서 양호한 인성을 나타내고 B강이 충격치가 양호한 이유는 결정입자가 매우 미세하게 나타나기 때문으로 판단된다.

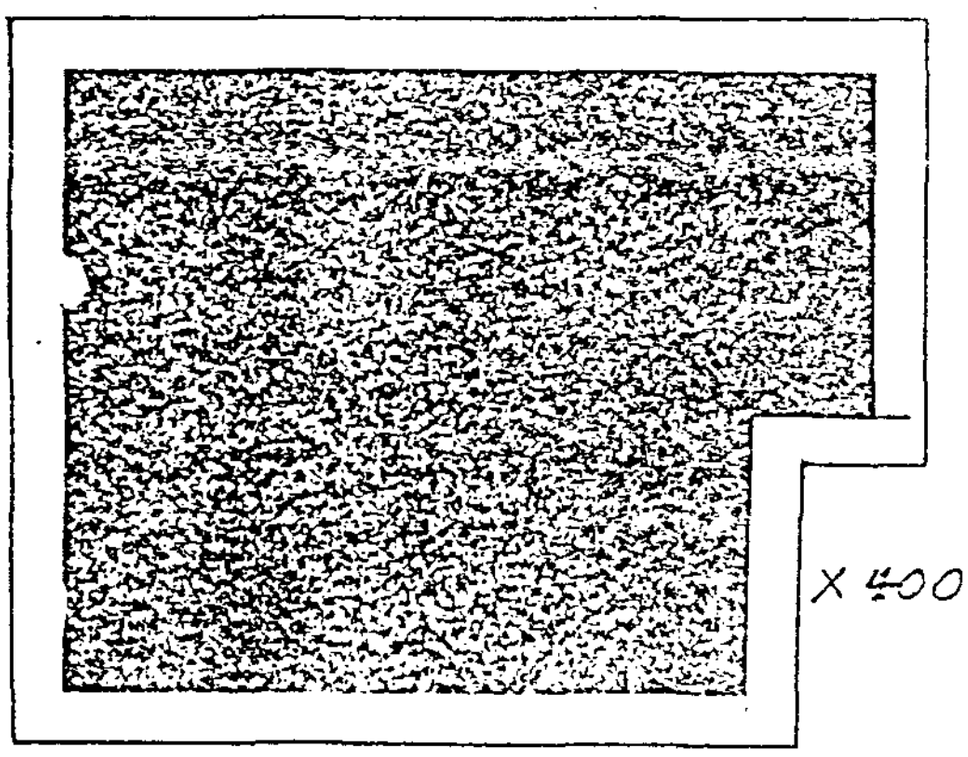
3.4 용접성

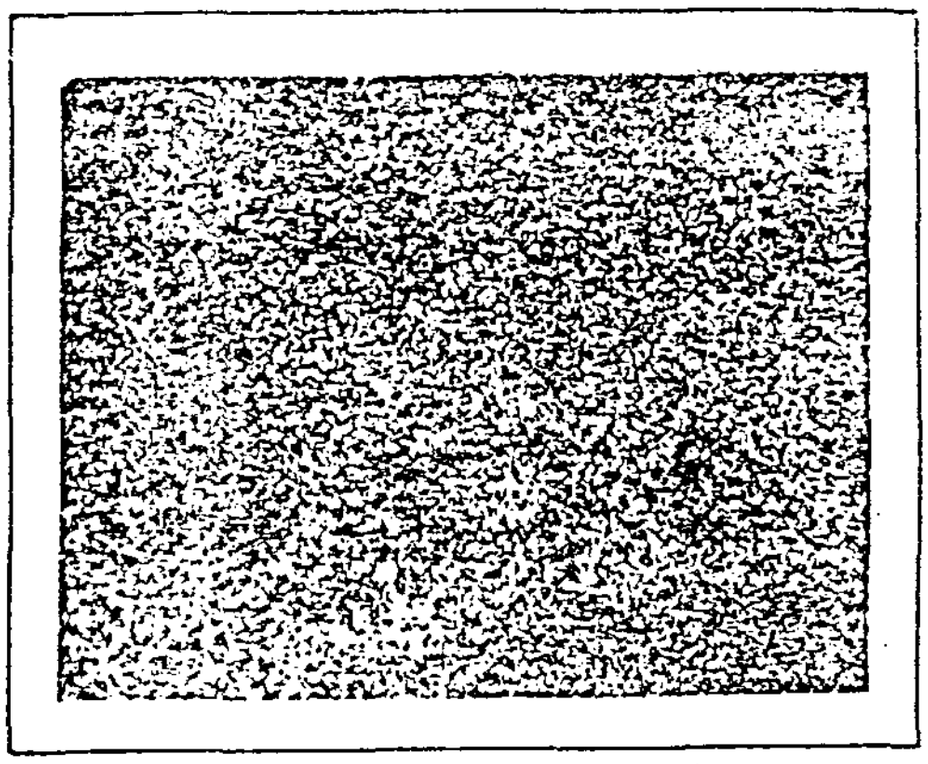
용접에서의 결함 유무를 확인하기 위해 상온에서 가우징하여 용접을 행하였다. 소재를 ϕ40-50 깊이 25mm 정도로 가우징으로 흠을 낸 후 그 상태에서 저수소계인 LH300 용접봉으로 용접을 시행하였고 용접성은 CE가 0.35% 이하인 일반 탄소주강품과 동일하게 아주 양호한 결과를 가져왔고 이를 PT 및 MT로 확인한 바 있다.

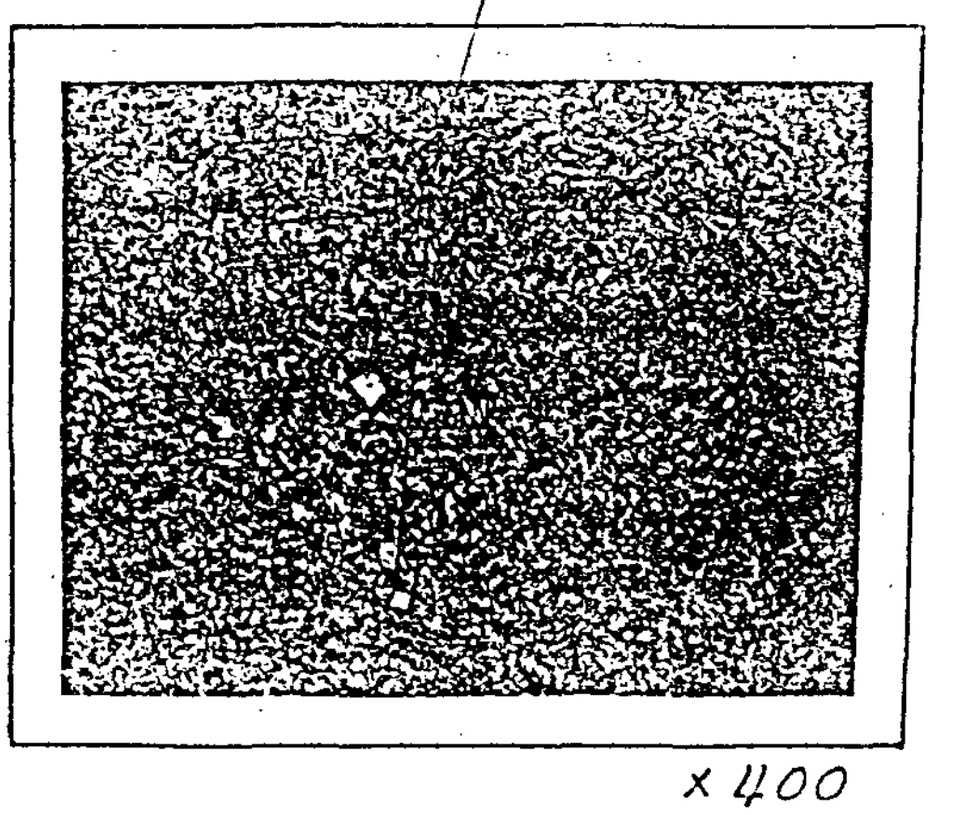
3.5 가계 가공성(선삭/면삭/Drilling)

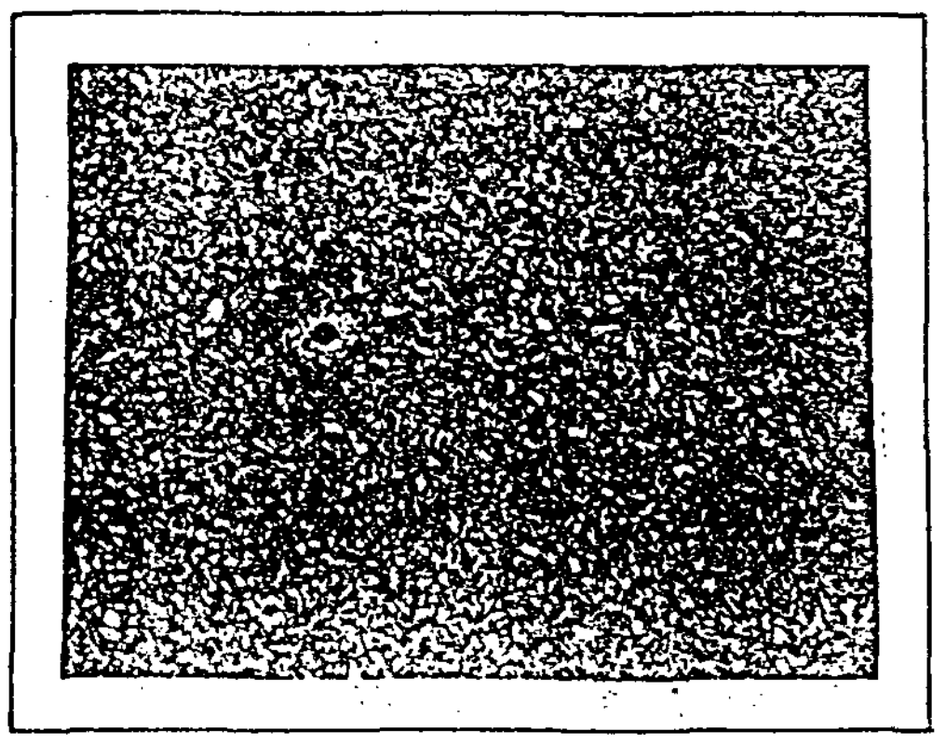
냉간에서의 가공성은 일반 SC계 보다 떨어지나 열처리가 된 소재 상태에서는 가공성은 양호하게 나타났다. 일반 합금강보다 오히려 가공성은 좋은 것으로 판명되었다.

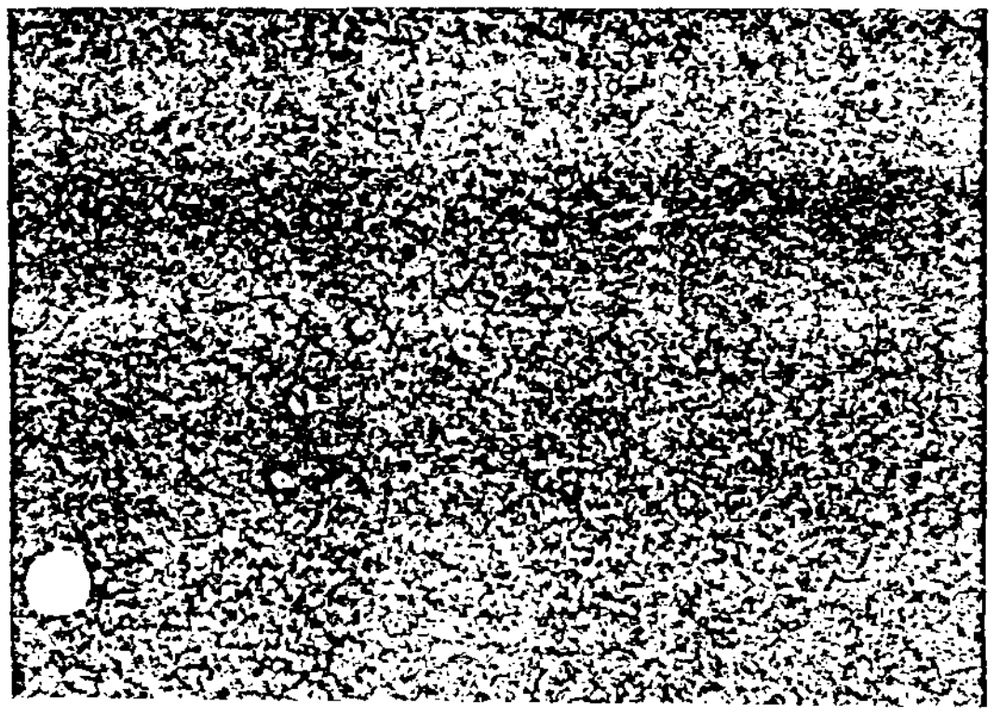
3.6 현미경조직검사



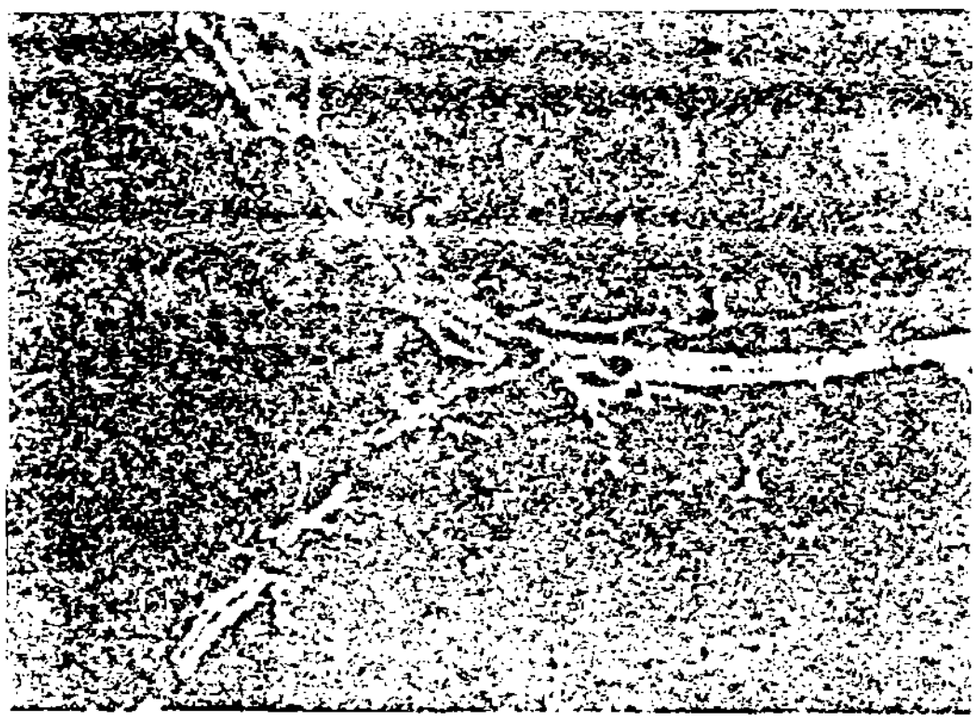


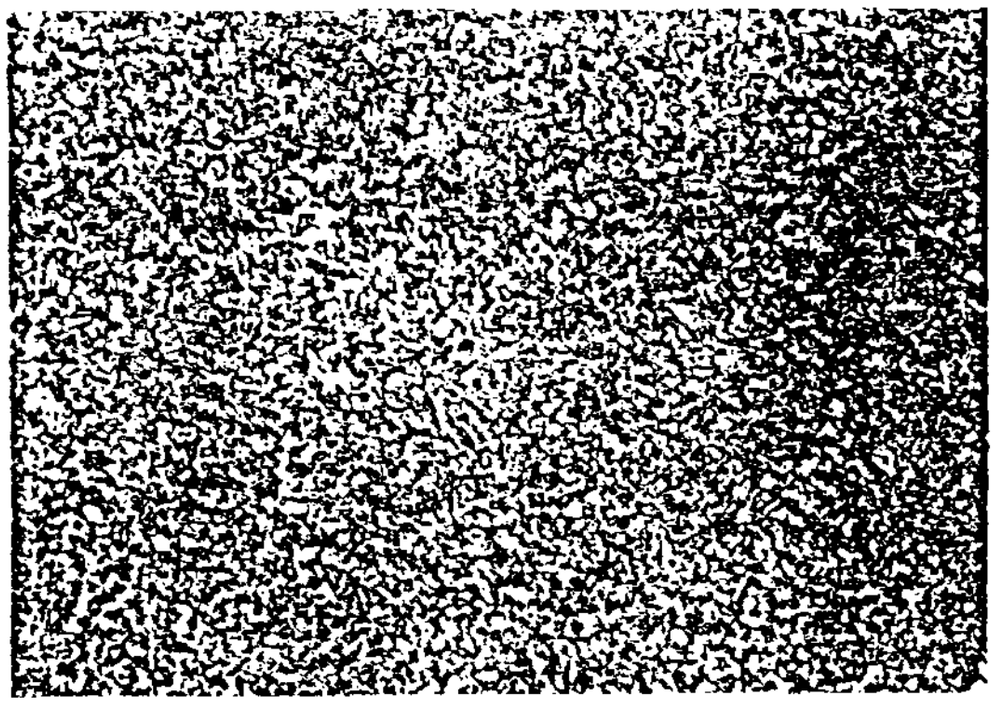




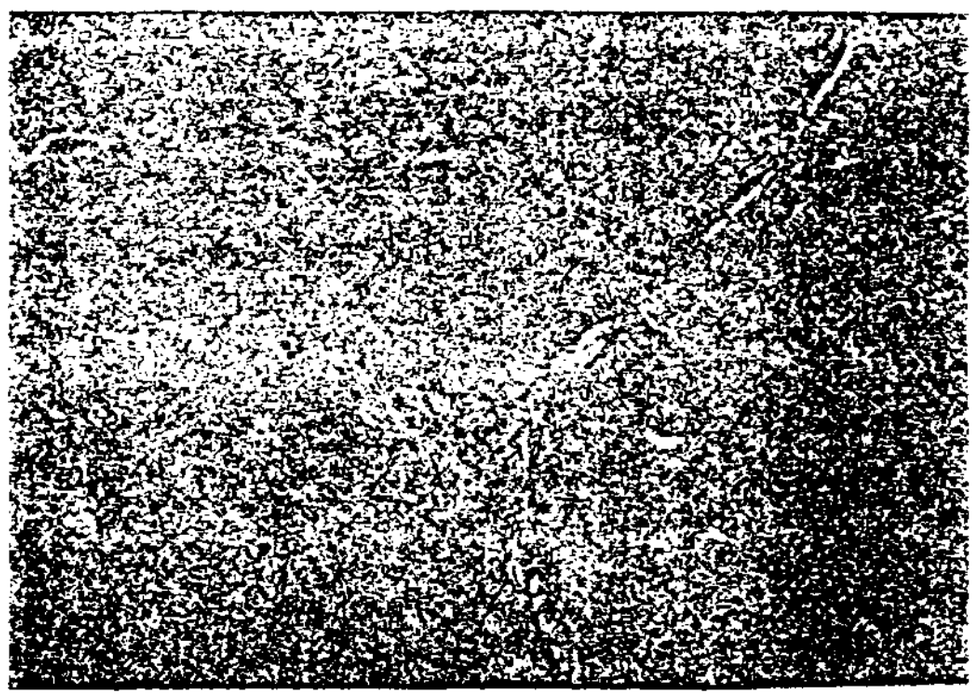


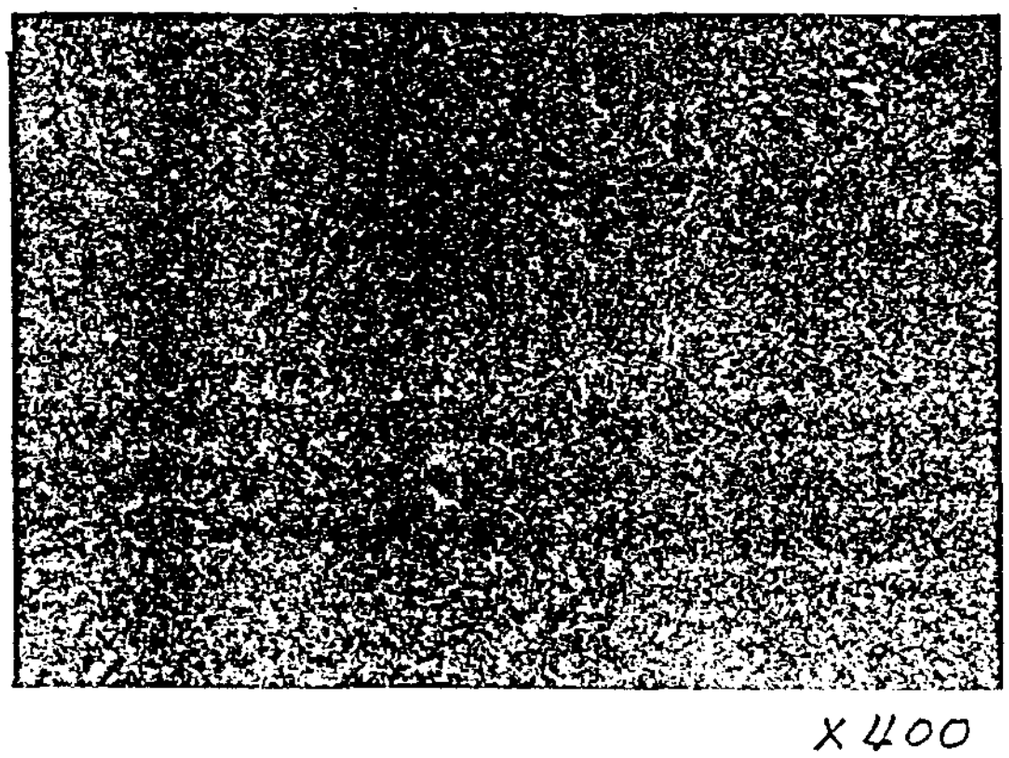
X400



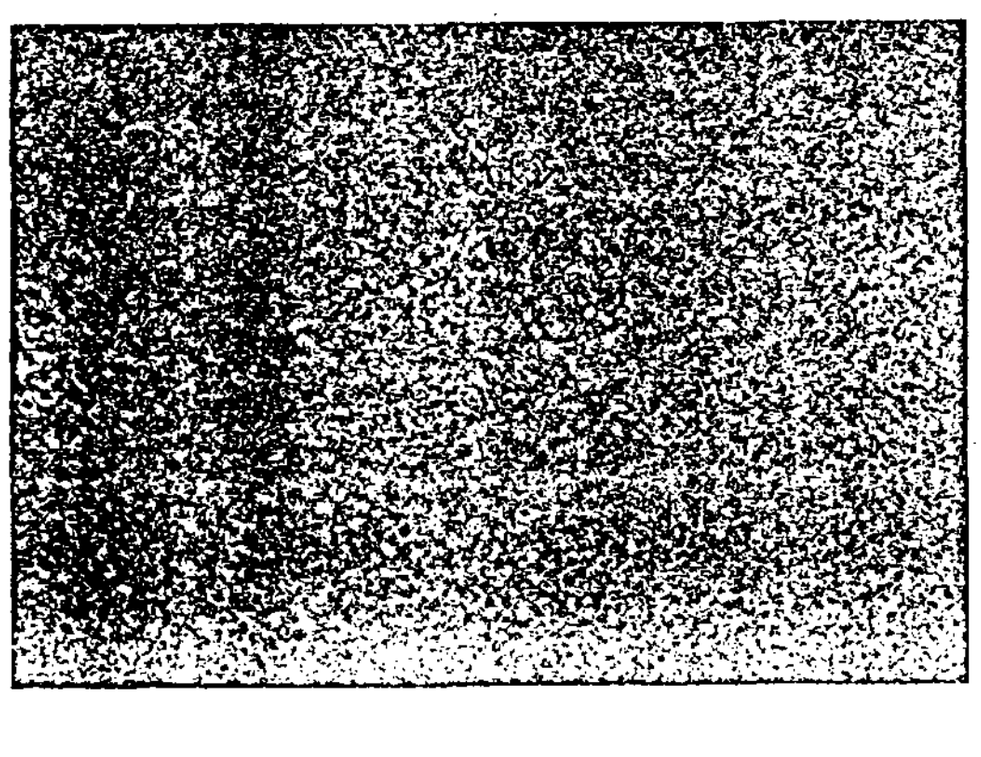


X400





X400



X400

4. 결과 및 문제점

Boron강 주강에 대하여 여러가지로 시험한 결과 상당한 성과를 얻을 수 있었다.

1) 우선 결과론에 의해서 Boron강 주강을 합금강 대용으로 사용하여도 크게 문제가 되지 않는다는 결론을 얻었다.

2) 중장비 부품에 많이 사용되는 부품들 즉, 충격과 인성이 요구되는 재료에 사용할 수 있다.

3) 합금강보다 경도, 인장강도, 충격, 기계적

성질들이 동등하거나 우수함을 나타냈다.

4) 용접성, 가공성 등이 양호하여 작업공정관리에 크게 도움이 된다.

5) 값이 싸고 소량 첨가되는 Boron을 사용하여 다른 합금원소 대신에 이용할 수 있어 원가절감면에서 큰 효과를 얻을 수 있다.

문제점으로는 Boron이란 원소가 극소량으로 첨가되기 때문에 제품에 PPM단위로 들어있어 Boron원소를 분석하는데 큰 어려움이 있고, 어느 정도의 Boron량이 첨가되었을때 가장 좋은 조건을 나타낼수 있는가를 확인하는 데 문제가 있다.

고로 Boron강 주강의 정확한 성분분석이 가능하다면 앞으로 Boron강의 활용이 대단히 크리라 생각된다. 연신율과 수축률은 규격치보다 떨어지는 현상이 발견되었다.

이번 시험에 하지못한 마모 Test가 문제가 되는데 곧 마모시험을 실시하여 결과로 비교할 것이다.

또한 일반 SC계통 C 0.35-0.40, Mn 0.7-0.90에 Boron을 첨가하여 일반 주강에서의 Boron은 어떠한 결과를 나타내는지 확인 비교할 것이다.

N가 친화력이 크기 때문에 최대한 N을 없애주어야 한다. 또한, AL, TI 예비탈산을 충분히 하여야 한다.

5. 결 론

Boron이란 원소가 어떠한 특성을 가지며 어떠한 결과를 나타내는지 지금까지의 시험결과에 의해서 많은 성과를 얻어낼 수 있다.

지금까지의 합금강에 의해서 지배해오던 중장비 부품, 산업기계를 Boron강이란 신소재로 대치하여 사용이 가능할 수 있고 사고 자체를 혁신하여 끊임없이 연구개발하면 현재의 상태보다 훨씬 나은 제품을 생산할 수 있다는 가능성을 얻을 수 있었다.

원가면이나 기술경쟁력에서도 한발 앞선 신소재를 개발할 수 있다는 자부심에 적극적으로 대처하면 더 좋은 제품 더 좋은 신품종의 재질을 개발할 수 있으리라 생각된다.

6. 참고문헌

[1] 주조단신 : 513-41850897

[2] 日立制作所 : 기계연구소 保阪信義, 黃井和明

[3] M. E. Nichoison : Trans. AIME 200(1954) 185

[4] JIS G 127-1968.23

[5] Caterpillar Tractor Co. : Foundry, 85 (1957) 140