

## 고강도 고인성 내마모강의 제조기술

박상덕 · 신정호 · 이정환 · 이용희 · 장병록

# The Production Technology of High Strength and High Toughness Wear Resistance Steel

S.D. Park, J.H. Shin, J.H. Lee, Y.H. Lee, B.L. Jang

### Abstract

The production technology of high strength and toughness wear resistance steel involves attempt to application of severe wear parts for the construction machinery. A well balanced alloy content ensures that optimum tensile properties are achieved for the high strength. After high temperature deformation like as rolling or forging, it has bainite microstructure and lower yield ratio(under 80%). The effectiveness of the research approach is illustrated with experimental results on good steel cleanliness ( $O_2$  : 12.2ppm, 0.004% S, 0.008% P, nonmetallic inclusion dT : 0.10) and excellent mechanical properties (TS  $\geq$  140kgf/mm<sup>2</sup>, El  $\geq$  10%, IV  $\geq$  20kJ/cm<sup>2</sup>). Therefore, this should be wear resistance steel which develops high strength and high toughness without heat treatment.

**Key Words** : Wear Resistance, Bainite, Yield Ratio, Heat Treatment, Toughness, Cleanliness

### 1. 서 론

국내 산업 발달에 따른 중장비 생산 대수의 증가는 그에 필요한 소모성 부품으로 사용되는 내마모 소재의 수요 증가를 필연적으로 동반하고 있다. 건설중장비인 굴삭기, 불도저, 포터, 트럭, 착암기 등과 농기계류의 부품으로 사용되는 bucket, blade, tooth 및 plate 소재, 그리고 광산용 장비, 시멘트 및 철강공장의 기계부품 등으로 사용되는 내마모강은 소재 상태에서의 경도 약 HB360이상, 인장강도 120kgf/mm<sup>2</sup> 이상의 기계적 성질이 요구된다

(1,2)

고강도 고인성 내마모강(KWR2)의 제조기술은 합금 설계 및 압연후 소재의 기초품질특성, 열처리특성, 내마모특성을 각각 평가하고 분석하였다.

### 2. 내마모강의 제조기술 및 고찰

고강도 고인성 내마모강은 주로 저탄소계 및 중탄소계의 합금강으로서 마르텐사이트 또는 베이나이트의 미세 조직제어를 통하여 마모특성을 향상시키는 방향이 주를

이루고 있다<sup>(3,4)</sup>.

본 연구에서는 압연상태에서 또는 열간단조후 후처리 없이 높은 강도와 인성을 갖는 내마모강을 제조하기 위하여 먼저 합금설계와 연속냉각변태곡선을 검토하여 압연상태의 조직을 마르텐사이트 또는 베이나이트와 잔류 오스테나이트조직의 복합조직을 갖는 강을 개발하고자 하였다.

### 2.1 합금설계

인장강도 140kgf/mm<sup>2</sup> 이상을 얻을 수 있고 내마모성이 우수한 소재개발을 하기 위해 중탄소함량에 저온변태시 세멘타이트의 석출을 지연시켜 인성 및 내마모성을 향상시키는 것으로 알려진 Si를 첨가하였다. 또한 오스테나이트 안정화 원소인 Mn과 Ni, 마르텐사이트 또는 베이 나이트조직을 용이하게 형성시키기 위하여 Cr과 Mo 그리고 기지조직내에 미세 탄질화물을 미세하게 분포시켜 내마모특성을 증가시킬 목적으로 Ti와 V을 각각 미량 첨가하여 KWR2에 대한 최종 합금설계를 행하였다.

### 2.2 제조 공정

Fig.1은 KWR2의 제조 대한 제강~압연 제조공정을 도식적으로 나타낸 것으로 60Ton전기로를 이용하여 용해한 후 ladle furnace에서 2차정련을 실시하고 VD에서 진공탈가스 및 미세합금성분을 제어하였으며, 용강은 연속주조를 통하여 대단면 bloom(370mm×480mm)으로 제조하였다. bloom은 walking beam furnace 재가열로에서 균열온도 1190℃에서 3시간 가열한 후 분괴압연기를 이용하여 1차압연을 실시한후 대형압연기와 소형압연기를 이용하여 Ø130mm, Ø90mm, Ø55mm의 내마모강 소재를 제조하였다.

### 2.3 결과 및 고찰

제조된 내마모강의 청정도(화학성분, 가스함량, 비금속 개재물), 미세조직 및 기계적 성질(인장, 충격, 경도)을 분석하고 내마모성에 미치는 영향을 고찰하였다.

#### 2.3.1 화학성분

성분분석결과 모든 성분이 설계범위 내에 양호하게 얻어졌으며, 특히 불순물로서 입계편석등으로 소재의 인성을 저하하여 내구성에 영향을 미칠 수 있는 강의 대표적인 편석성원소인 P와 S의 함량이 매우 낮은 양호한 소재를 제조하였다.

#### 2.3.2 비금속개재물 및 가스분석

기계적성질 및 내구성에 영향을 미치는 비금속개재물 및 가스성분 분석결과는 Table 2와 같이 비금속개재물은 총합량(dT)이 0.10%로서 매우 청정한 상태를 나타내었으며, 또한 Gas함량은 개재물 함량과 일치하여 산소함량 12.2ppm, 질소함량 61.2ppm으로 매우 낮은 함량이 얻어졌다. 비금속 개재물과 가스함량은 내마모강의 청정도를 평가하는 중요인자로서 알려져 있다. KWR2에서 얻어진 수준은 매우 유효한 것으로 판단된다.

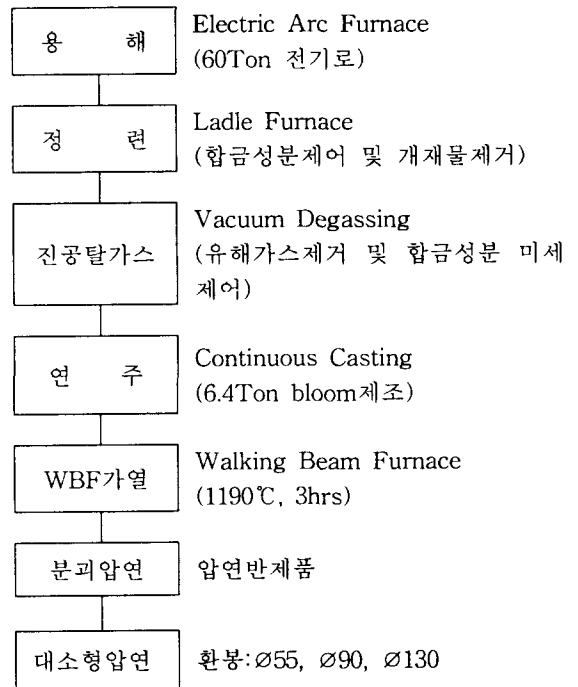


Fig. 1 Production flow of KWR2

Table 1 The chemical composition of KWR2 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.324	1.085	0.642	0.0083	0.0040	0.065
Ni	Cr	Mo	Al	Ti	V
0.483	1.961	0.491	0.020	0.054	0.096

**Table 2 Non-metallic compound and gas analysis**

JIS G 0555 rating					Gas (ppm)	
A1	A2	B	C	dT	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0.06%	0.03%	0.01%	0.04%	0.10%	12.2	61.2

**2.3.3 열처리시험**

제조된 KWR2는 유효한 합금성분을 확보하는 것은 물론 비금속개재물 및 가스분석 결과 우수한 내마모성을 갖을 수 있는 것으로 판단된다. 내마모강이 고유의 강도와 인성을 확보하는 것이 제보기술의 핵심이라고 할 수 있다. 특히 열처리를 생략할 수 있거나 단축할 수 있는가가 관건이라고 하겠다.

따라서 이러한 특성을 해석하기 위해 Table3과 같은 조건으로 열처리 시험을 수행하였다. 이는 실제 생산시 발생할 수 있는 제조공정과 원가를 고려하여 정한 것이다.

**2.3.4 미세조직관찰**

열처리 No 1~8의 8가지 조건으로 각각 열처리된 시험편을 광학현미경과 EPMA로 미세조직을 관찰하였다. 조직관찰 결과 normalizing재는 미세한 베이나이트조직을 나타내고 있으며, oil quenching 및 water quenching 후tempering한 시험편에서는 모두 tempered matensite조직을 나타내고 있으며 quenching시 냉각속도 차이에 의하여 수냉재가 유냉재보다 미세한 조직을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

특히 water quenching+tempering재에서 500℃이상의 tempering에서는 모두 탄화물로 추정되는 작은 입자가

**Table 3 The conditions of heat treatment**

No	Conditions
1	oil quenching+150℃ tempering
2	oil quenching+250℃ tempering
3	normalizing
4	water quenching
5	water quenching+150℃ tempering
6	water quenching+250℃ tempering
7	water quenching+500℃ tempering
8	water quenching+650℃ tempering

관찰되고 있으며 이는 V, Ti의 탄질화물로 추정된다.

이와 같이 열처리시험후 각각에 대한 조직관찰 결과에서 알 수 있듯이 열처리방법에 따라 여러 가지 큰 조직 변화의 차이를 나타내었는데 이는 또한 기계적성질, 내마모특성 등에 분명히 영향을 미칠 것으로 생각되며 이들 소재에 대하여 미세조직과 기계적성질, 내마모특성에 대한 연관성을 각각 조사하였다.

**2.3.5 열처리변화에 따른 기계적성질시험**

Table 4는 앞서 시험된 열처리조건에 따라 기계적성질을 측정된 결과이다. Table에서 알 수 있듯이 열처리방법에 따라 기계적성질의 차이가 크게 변화하고 있다. 인장강도는 수냉후 고온tempering(600℃)재인 No.8를 제외하고는 모두 140kgf/mm<sup>2</sup>이상의 고강도강이 얻어졌으며, 이는 경도값과 상온충격시험결과와 연관성을 확인할 수

**Table 4 Mechanical properties of KWR2 with verious conditions**

	Tensile Properties					Hardness (HRc)	Sharply Impact V-notch(J/cm <sup>2</sup> )
	YS(kgf/mm <sup>2</sup> )	TS(kgf/mm <sup>2</sup> )	EL(%)	ROA(%)	Y-ratio		
No.1	136.0	180.1	9.9	34.9	75.6	47.2	24.7
No.2	146.3	177.3	11.2	44.7	82.5	47.9	27.4
No.3	83.2	143.9	16.9	37.8	57.8	39.3	19.7
No.4	134.7	184.7	11.8	39.3	72.9	49.5	19.7
No.5	143.5	190.7	11.0	33.2	75.3	48.9	19.6
No.6	132.8	180.1	13.2	48.1	73.8	47.9	22.1
No.7	100.8	147.1	15.9	53.7	68.6	43.1	39.8
No.8	61.3	97.0	20.4	64.8	63.2	27.6	168.4

있었으며, 앞서 관찰한 미세조직과 비교하여 볼 때 조직과 기계적성질과도 일치하고 있다.

KWR2의 열처리 변화에 따른 미세조직 및 기계적성질을 고려할 때 개발강의 열처리방법은 No.3인 Normalizing재를 기초한 제어냉각 및 저온템퍼링 방법을 고려하게 되면 인장강도 140kgf/mm<sup>2</sup> 이상의 고강도 고인성 내마모강 제조가 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 결론

고강도 고인성 내마모강의 제조기술을 설계에서 제조 평가 까지 수행한 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 청정도는 O<sub>2</sub>(12.2ppm), 0.004%S, 0.008%P, 비금속 개재물(dT=0.10)로 유효한 수준을 이었다.

(2) 인장강도, 항복비, 신율, 경도, 충격치 모두 내마모강의 강도와 인성의 균형이 잘 조화된 값으로 얻어졌다.

(3) 열처리방법으로서는 인장강도 140kgf/mm<sup>2</sup> 수준을 얻을 수 있는 normalizing재 수준의 냉각방법과 저온템퍼링 방법이 유효한 것으로 확인되었다. 이는 열처리 없이 내마모강을 특성이 얻어 질 수 있다는 것을 의미한다.

### 후 기

본연구는 '중장비용 내마모강의 제조기술개발'(산업기반 기술과제 : 971-01-02)의해 이루어진 것을 알려드리며, 관계자 여러분에게 진심으로 감사드립니다.

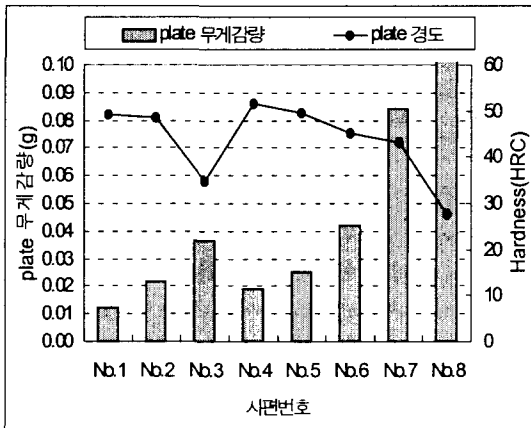


Fig. 2 Variation of wear loss measured after wear test with heat treatments

#### 2.3.6 마모시험

Fig. 2는 Pin on plate type의 내마모시험기를 이용하여 시험한 결과이다.

마모시험결과 Fig.에서와 같이 열처리특성에 따라 마모특성이 크게 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 주요 결과로서는 oil quenching 및 water quenching재 모두 경도값과 마모량이 반비례 하고 있음을 확인할 수 있으며, 특히 oil quenching 후 저온템퍼링한 소재(No.1-2)는 water quenching 후 저온템퍼링한 소재(No.5-6)보다 오히려 경도값은 낮으나 내마모성이 더 우수한 것으로 나타났다. 이것은 조직과 기계적성질 등을 고려하여 볼 때 오히려 조직의 미세함, 강도 및 경도가 높은 water quenching 소재가 내마모성이 우수할 것으로 생각되었으나 내마모특성은 oil quenching 후 저온템퍼링한 소재가 우수하였다. 이에 대해서는 보다 많은 시험과 관찰로부터 내마모특성에 미치는 영향을 조사하여야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- (1) Fundal. E, 1992, "Abrasive Wear Mapping Using the Micro Wear Test", Conf. Nortrib '92 5th Nordic Symposium on Tribology. Vol. 2.
- (2) H. Berns, H. G. Franke, 1988, "Influence of Alloy Content on the Thermomechanical Treatment of Austenite Manganese Steels", Prakt. Metallogr. pp 105~115.
- (3) P. CLAYTON, 1987, "WEAR BEHAVIOR OF BAINITIC STEELS", Wear, pp 199~220.
- (4) G.B. Jing, Y.K. Zheng, Y.Y. Yang, H.S. Fang, 1998, "Cavitation erosion of bainitic steel", Wear vol. 215, pp 46~53.