

0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo 내마모강의 기계적 성질에 따른 마모특성

이용희* · 한철호* · 신정호* · 장병록*

Effects of Mechanical Properties on Wear Resistance of 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo Steel

Y. H. Lee, C. H. Han, J. H. Shin and B. L. Jang

Abstract

Mechanical properties have been accepted to be major factor to improve wear resistance. The effect of mechanical properties on wear resistance of 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo steel was studied under various test conditions. It is clear that yield strength, tensile strength, impact value, and hardness are strongly related each other. Wear resistance tests as pin on plate type and dry sand / rubber wheel type proved to be that wear depends on mechanical properties. Microstructures were also observed to make clear the wear properties. At quenching and low temperature tempering, the specimen has a good wear resistance.

Key Words : Wear Resistance, High Strength High Toughness, Low Yield Ratio

1. 서 론

신공항 건설, 고속도로, 고속전철, 간척사업, 철도, 항만 등 대규모 사회간접자본시설에 대한 투자와 택지개발, 주택 및 주택 건설로 중장비의 수요와 용도가 크게 증가하고 있다. 건설중장비인 굴삭기, 불도저, 포터, 트럭, 착암기 등과 농기계류의 부품으로 사용되는 bucket, blade 및 plate 소재 그리고 광산용 장비, 시멘트 및 철강공장의 기계부품 등으로 사용되는 내마모강은 소재 상태에서의 경도 약 HB360, 인장강도 120kgf/mm² 이상으로 내마모성 및 인성을 갖는 우수한 고장력강이 요구되고 있다⁽¹⁻⁴⁾.

본 연구에서는 내마모성과 가공성이 우수할 뿐만 아니라 저항복비(YS/TS)를 갖는 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo 내마모강을 개발하여 기계적 성질과 내마모성의 관계를 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 내마모강의 제조

0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo강은 고철과 합금철을 이용하여 60Ton 아크전기로에서 용해한 후 ladle furnace에서 2차정련을 실시하였다. 정련된 용강은 VD에서 진공탈가스 및 미세합금성분을 제어하였으며, Ti 첨가의

* 기아특수강 (주) 금속기술연구소

효과를 극대화하기 위하여 강으로서용강중의 용존산소함량이 최소화되도록 LF 및 VD에서 강력한 교반, 정련을 실시하였다. 이와 같이 정련된 용강은 연속주조기를 통하여 bloom (□370×480mm)을 제조하였으며, bloom은 walking beam furnace 재가열로에 열간장입되어 균열은 1190℃, 가열시간 3시간을 준수한 후 분괴압연기를 이용하여 1차압연을 실시하고 □210mm×210mm의 반제품으로 압연한 후 다시 제품압연기를 통하여 ∅130mm의 환봉소재를 생산하였다. 이 소재는 다시 연속열처리로에서 850℃로 가열한 후 노냉하여 경도 HB230 수준의 공시재를 제조하였다.

2.2. 기초품질

표 1은 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo 내마모강의 60 ton 양산품에 대한 화학성분을 분석한 결과이다. 불순물로서 입계편석등 소재물성에 영향을 미치는 P와 S 함량은 매우 낮았다. 또한 비금속개재물 및 Gas성분 분석 결과는 표 2에 나타내었으며 비금속개재물은 총합량 dT : 0.036%로서 매우 청정한 상태이며, Gas함량은 산소 11.0 ppm, 질소 80.6 ppm으로 매우 낮은 수준이다.

Table 1 Chemical composition of steel (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.29	0.39	1.49	0.008	0.002	0.71	1.43	0.20

Table 2 Non-Metallic inclusion and gas contents of 0.27 C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo Steel

JIS G 0555 rating (%)					Gas (ppm)	
A1	A2	B	C	dT	O ₂	N ₂
0.025	0.000	0.010	0.001	0.036	11.0	80.6

그림 1은 소입성시험 결과를 나타낸 것으로 초기경도는 HRC53으로 초기 경도값이 상당히 높게 나타났으며, 내부 50mm 지점에서 HRC48 수준으로 소입성이 우수하였다.

2.3. 열처리 시험

표 3은 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo강의 냉각 및 열처리 조건에 따른 물성변화와 마모특성을 조사하기 위해 공랭(노말라이징), Quenching, 저온템퍼링, 고온템퍼링까지 소재특성을 조사하기 위하여 7가지의 조건으로 열처리하여 각각의 조건에서 소재특성을 평가하였다.

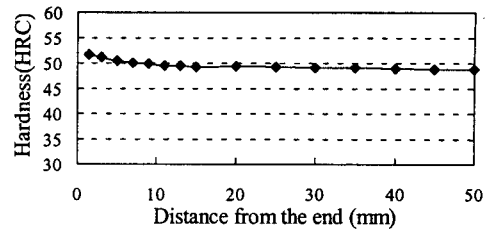


Fig. 1 Jominy hardness profile of 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo Steel

Table 3 Cooling and heat treatment conditions

No.	Conditions
1	890℃/Air Cooling (Normalizing)
2	890℃/Q
3	890℃/Q →150℃ T/Q
4	890℃/Q →250℃ T/Q
5	890℃/Q →500℃ T/Q
6	890℃/Q →550℃ T/Q
7	890℃/Q →600℃ T/Q

Q : Quenching, T : Tempering

2.4. 기계적 성질 및 내마모 시험

0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo 강의 기계적 성질 시험은 조건별로 인장시험(KS4호), 충격시험(샤르피 V-노치)을 실시하였다. 마모시험은 Pin on Plat type으로 기계적 특성을 평가하고 토사마모시험으로 단품의 적용가능성을 검토하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장시험

그림 2는 0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo강의 각각의 조건에 대한 인장시험결과를 나타내고 있다. 시험결과 인장강도는 고온 tempering 조건을 제외한 모두 120kgf/mm 이상을 얻었으며 600℃ tempering 에서도 인장강도 115kgf/mm² 이상의 고강도를 얻었다.

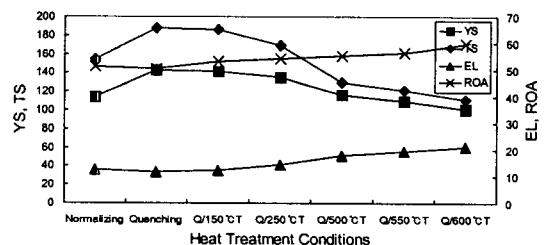


Fig. 2 Tensile properties at various conditions

항복비는 노말라이징, quenching, quenching-150°C tempering, quenching-250°C tempering 조건에서 각각 73.9%, 76.2%, 76.1%, 80.2%로 얻어져 목표인 85%이하를 만족하였다. 한편 quenching-500°C tempering, ~ quenching-600°C tempering 조건에서는 85%이상으로 목표를 만족시키지 못하였다.

3.2 충격 및 경도시험

그림 3,4는 각각의 열처리조건에 따른 충격시험결과와 경도시험결과이다.

노말라이징, quenching, quenching-150°C tempering, quenching-250°C tempering, quenching-500°C tempering, quenching-550°C tempering, quenching-600°C tempering 조건에서 상온 충격시험 결과는 각각 51.8, 38.4, 44.0, 65.0, 46.9, 45.5, 94.2 J/cm² 이고 -20°C 충격시험 결과는 각각 33.8, 26.6, 36.5, 43.1, 29.2, 26.1, 34.7 J/cm² 이 얻어졌다. 그러므로 충격시험결과 모든 열처리조건에서 상온 충격치는 40 J/cm² 이상의 값이 얻어졌으며 반면에 -20°C의 저온충격치는 다소 낮은 충격값을 나타내고 있다. 경도 값은 각 조건에서 HB476, 505↑, 505↑, 476, 381, 362, 336로 대체로 높은 수준이다. 노말라이징, quenching-150°C tempering, quenching-250°C tempering 조건의 충격값과 경도값이 목표로 하는 내마모강의 특성에 유효한 것으로 확인할 수 있었다.

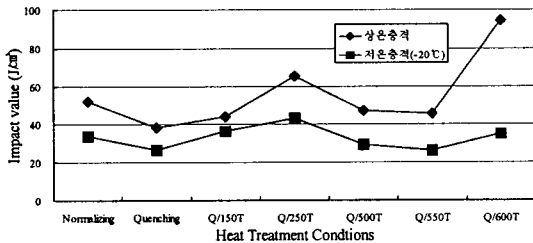


Fig. 3 Impact values at various conditions

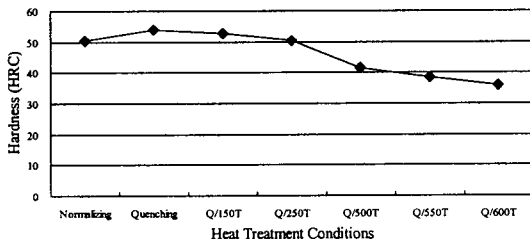


Fig. 4 Hardness at various conditions

3.3 미세조직 관찰

노말라이징 상태는 마르텐사이트 조직이 나타나고 있으며 일부 잔류오스테나이트가 잔존하고 있음을 알 수 있다. 890°C로 수냉한 상태의 미세조직은 노말라이징 상태의 미세조직과 유사한 마르텐사이트임을 알 수 있다. 또한 저온템퍼링한 조직도 역시 마르텐사이트조직임을 알 수 있고, 조직의 차이점을 알 수는 없으나 잔류 오스테나이트양의 차이가 있을 것으로 사료된다. 각각 500°C, 550°C, 600°C의 고온 Tempering 미세조직으로서 모두 미세한 템퍼드마르텐사이트 조직임을 알 수 있었다.

0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo강의 쉽게 마르텐사이트가 형성되는 것은 내마모강의 특성으로 매우 유용한 것이다. 압연-단조 완료후 냉각속도의 조절로 조직을 제어함으로써 내마모성질도 제어할 수 있기 때문이다.

3.4 Pin on plate type 마모시험

각각 하중 74N 과 163N으로 변화시켜 시험한 마모거리에 따른 마모량을 측정된 결과 74N의 하중에서는 3가지 열처리조건(2,3,4)이 모두 유사한 마모정도를 나타내고 있다. 하중을 증가하여 163 N에서 동일한 열처리 시험편으로 시험된 결과는 하중 74N에서의 결과와는 다소 다른 마모량 변화를 나타내고 있다. 163N에서는 quenching 된 소재가 마모량이 가장 적었으며 150°C, 250°C 의 저온 템퍼링소재는 비슷한 마모정도를 나타내고 있다. 강도, 경도, 미세조직 등 유사한 상태를 나타내고 있는 이들 소재들에서 마모정도의 차이를 나타내는 것은 앞서 조직관찰에서도 언급하였듯이 잔류 오스테나이트양의 차이가 있을 것으로 판단된다.

3.5 토사마모시험

토사마모시험은 Dry Sand / Rubber Wheel Tester (ASTM-65)를 이용하였다. 그림 5는 마모시험결과에 대한 비마모량과 경도와와의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 비마모량은 경도가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있었으나 노말라이징재의 경우는 경도가 높음에도 불구하고 비마모량이 큰 것을 나타내었다.

그림 6은 토사마모시험후 마모면을 거시적으로 관찰한 사진이다. 관찰한 시편은 각각 노말라이징, Quenching, Q/150°C, Q/600°C 시편으로 공냉에서부터 고온 템퍼링까지의 시험편을 거시적으로 관찰한 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 앞서 분석된 그림 4의 비마모량관계와 일치함을 알 수 있었으며 노말라이징재와 고온템퍼링한 시험편이 마모가 가장 컸음을 알 수 있었다.

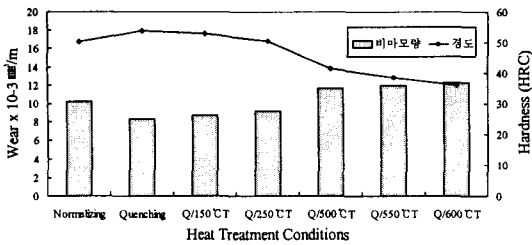


Fig. 5 Dry sand / rubber wheel test at various conditions

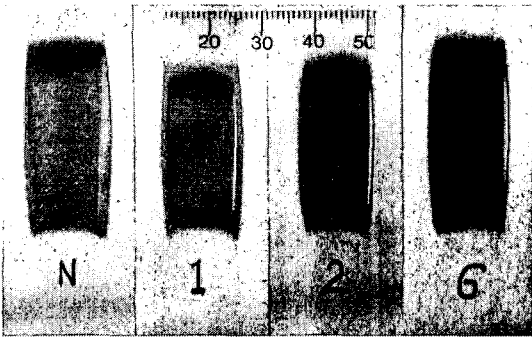


Fig. 5 Phonographs of Dry sand / rubber wheel tested specimen at various conditions

4. 결론

0.27C-0.70Ni-1.42Cr-0.20Mo강의 기계적 성질과 마모 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 화학성분은 양호하였으며 비금속개재물은 매우 우수하였다. 청정도를 나타내는 O₂는 11.0 ppm, S는 0.002 wt%, P는 0.008 wt%, 비금속개재물 dT는 0.036 %로 매우 양호한 수준이었다.

(2) 인장, 충격 및 경도특성은 시험조건에 따라 다양한 결과를 얻었다. 특히 압연후 냉각조건과 유사한 노말라이징의 경우는 인장강도 154.3kgf/mm², 항복비 73.8%, 연신을 12.63%, 상온충격 51.8J/cm², 저온충격 33.8J/cm²로 특

유의 내마모특성을 가지고 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

또한 quenching과 저온 150℃과 250℃에서 tempering을 조합한 경우 매우 유효한 인장강도, 항복비, 단면감소를, 충격특성을 나타내었다. 한편 quenching과 고온 tempering을 조합한 경우는 인장강도, 항복비에서 열악한 특성을 얻어졌다.

(3) 미세조직 관찰결과를 보면 마르텐사이트가 쉽게 생성될 수 있는 것으로 확인되었는데 실제 단품 적용시에도 냉각속도 조절로 조직을 제어할 수 있어 내마모강의 특성을 잘 나타낼 수 있다.

(4) Pin on plate type 마모시험과 토사마모시험한 결과 quenching 후 저온템퍼링하는 조건이 비마모량 측면에서 유효한 것을 확인하였다. 노말라이징 상태에서도 상당한 수준을 나타내고 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 산업기반기술과제 '중장비용 내마모강 제조기술개발'의 결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

- (1) Fundal E. : "Abrasive Wear Mapping Using the Micro Wear Test" : Conf. Nortrib '92 5th Nordic Symposium on Tribology. Vol 2 Helsinki, Finland
- (2) P. Hansson, C. Lowgren : "Properties of Modern Wear Resistant Steels" : Svetsen (Special issue, 1E) 1990, pp. 58~61
- (3) 德永隆一 : '建設機械業界の動向', 特殊鋼, 1995, 44卷 6号, pp. 7~11
- (4) H. Berns, H. G. Franke : "Influence of Alloy Content on the Thermomechanical Treatment of Austenite Manganese Steels" : Prakt. Metallogr. 253 Mar. 1988, pp. 105~115