

論 文

고Mn강 주강품의 내마모성에 미치는 Ni 첨가의 영향에 관한 연구

이 영 훈*, 천 병 옥**, 김 성 한**, 최 창 옥**

A study on the effects of Ni content on the properties of wear resistant for the high manganese steel castings

Young-Hun Lee*, Byung-Wook Cheon**, Sung-Han Kim**, Chang-Ock Choi**

Abstract

This study has been performed in increase the wear resistance characteristic and the mechanical properties of high Mn steel castings with an addition of Ni to 1~4% range. The initial structure of plastic cementite has been possible to transform perfect austenite with watertoughening treatment. Increasing Ni content, the most wear loss has shown that ore has crushed until 100kg and decreased with increasing ore amount at ascast, the similar tendency has shown at heat treatment. Chang of hardness has shown high values that ore has been crushed until 300kg, both as cast and treatment added 2%Ni.

1. 서론

내마모용 재료로 널리 알려져 있는 고Mn강 주강품은 시멘트, 광산, 토목 등의 광석 및 암석파쇄기용 재료와 고로용 내마모재 및 레일 크로싱처럼 격렬한 충격하중이 작용하는 곳에 사용되고 있으며, 내마모성과 인성의 균형을 가진 특성을 발휘하고 있다.¹⁾ 고Mn강 주강품은 주방상태에서는 경질이나 일단 열처리를 하면 완전한 오스테나이트 조직으로 되어 인성이 풍부하고 내충격성이 향상되고 가공이 용이해진다.²⁾ 특히 재질개선을 위하여 합금원소를 첨가하는데, V, Ti, Zr 및 Ni의 단일 합금 원소첨가나 Cr과 Mo 또는 Mo와 미량의 V, Ti 등 복합 첨가가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 고Mn강 주강품 11종의 Hadfield 강³⁻⁵⁾에 오스테나이트를 보다 안정화시킴으로서 탄화물석출을 지연시키고 인성을 향상시키는 것으로 알려진 Ni을 단독 첨가하여 용해, 주조한 후 수인처리를 실시하여 주방상태와 수인처리한 시편의

내마모성과 기계적 성질에 미치는 Ni의 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시편 제작

본 실험에 사용된 재료는 강고철과 Fe-Mn을 실험실용 고주파 유도로(15kw, 10kg)에서 용해하고 여기에 금속Ni를 첨가하여 교반한 후 Fe-Si으로 탈산처리하고, 출탕하여 Fig.1에 표시한 크기의 시편을 CO₂형 주형에 주입, 제조하였다. 주조한 시편의 성분은 Table.1에 표시하였고, 사용한 마모 시험편의 형상 및 크기는 Fig.2와 인장시험편의 크기는 Fig.3에 나타내었다. 제작한 시편의 일부는 열처리를 위하여 Fig. 4에 표시한 바와 같이 700℃까지는 50℃ /hr로 승온시키고, 700℃에서 1100℃까지는 100℃ /hr로 승온한 후, 1hr동안 유지하여 수인처리를 실시하였다.

* 정하금속 (Jung Ha Co.)

** 동아대학교 공과대학 금속공학과 (Dept. of Metallurgical Engr., dong-A Univ.)

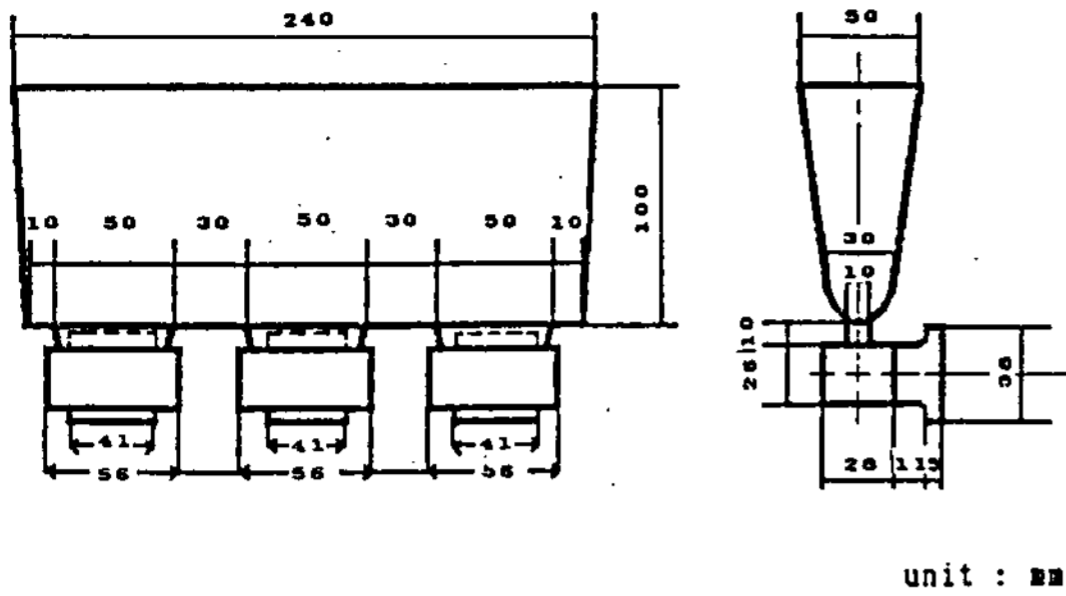


Fig. 1. Schematic diagram of specimen.

Table 1. Chemical composition of specimen. (wt%)

Heat No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
010	1.02	0.34	11.28	0.018	0.020	1.56	-
100	1.09	0.30	11.51	0.025	0.018	1.60	1.13
200	1.07	0.37	11.13	0.022	0.022	1.58	1.89
300	1.08	0.32	11.25	0.019	0.024	1.53	2.86
400	1.01	0.33	11.32	0.016	0.021	1.58	3.90

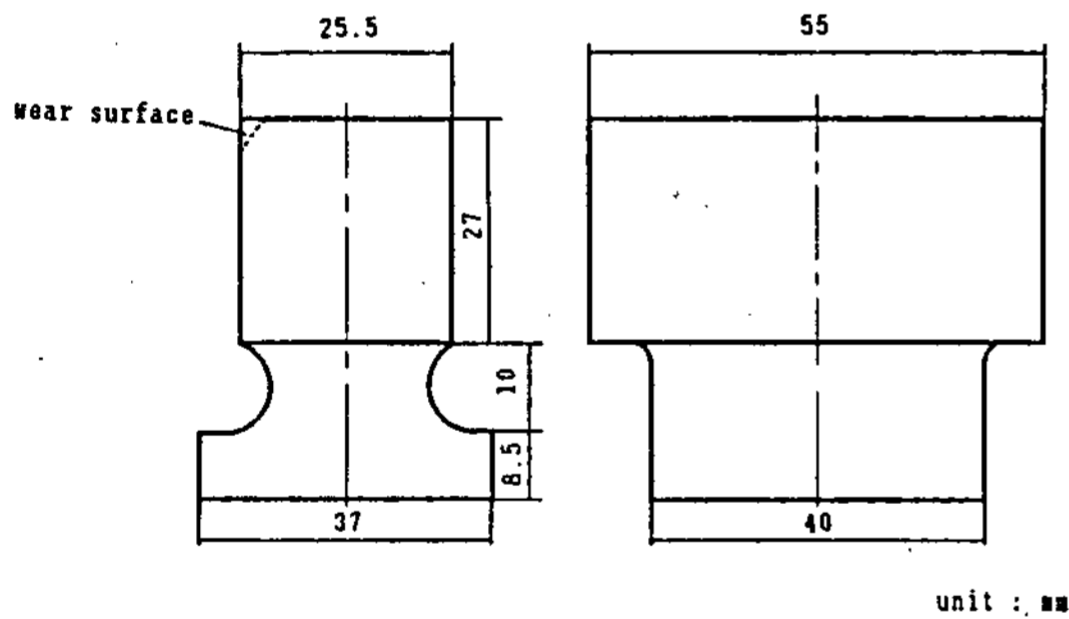


Fig. 2. Schematic of wear test specimen.

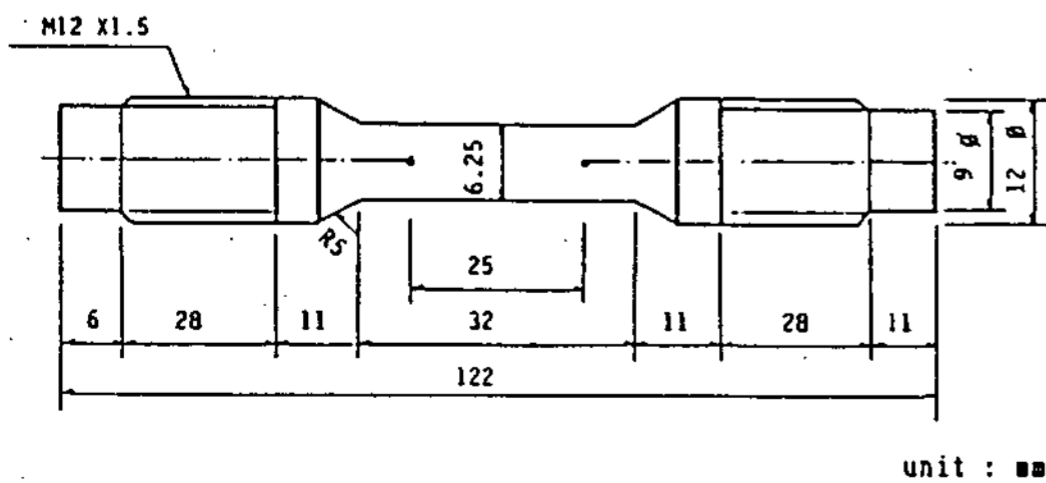


Fig. 3. Tensile test specimen.

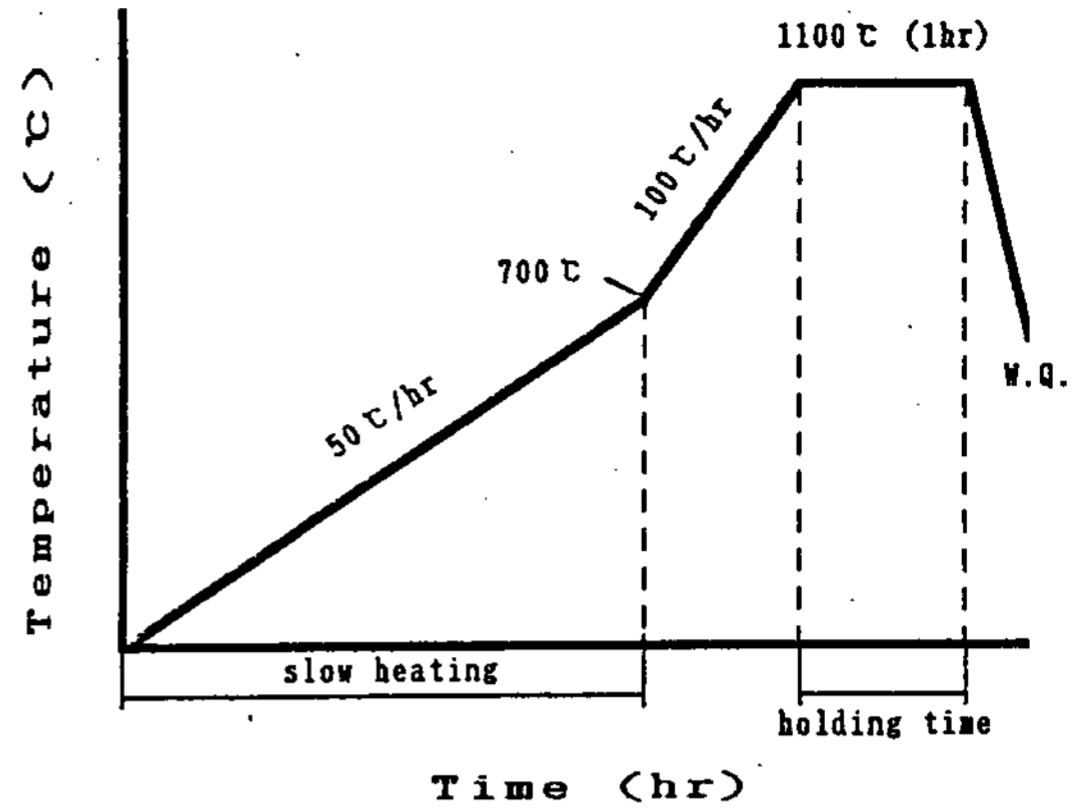


Fig. 4. Typical heat treatment (water toughening) cycle.

2.2 실험방법

주방상태와 열처리 한 시편의 조직을 관찰하였으며 또한 기계적 성질을 조사하기 위하여 인장강도, 항복강도 및 연신율을 측정하고 각 시료의 열처리전후 및 마모실험 전후의 경도를 비커스경도기(load 50kg)로 측정하였다.

마모실험은 Fig.5에 표시한 제작한 Impeller breaker형 마모시험기⁷⁾에 마모시편 4개를 부착하여, 6 mesh 이상의 규석광석을 100kg, 300kg 및 500kg으로 나누어 파쇄처리하고, 파쇄시 시편의 감량을 측정하였다. 또한 시편의 마모감량은 다음 식으로 산출하였다.

$$\Delta W_0 = \frac{W_w - W_b}{W_w}$$

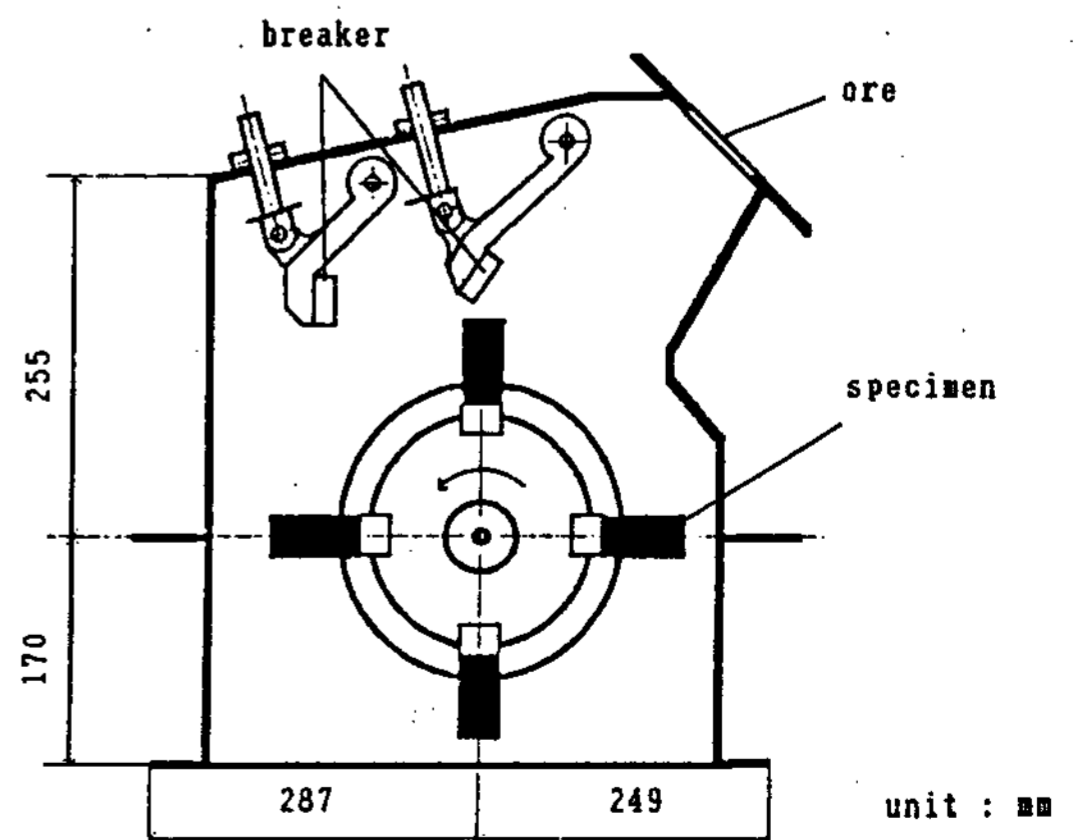


Fig. 5. Schematic of impeller breaker type wear test machine.

여기서 W_0 : 마모감량

W_w : 마모시험전 시편중량

W_b : 마모시험후 시편중량

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Ni 첨가량에 의한 기계적 성질의 변화

Fig.6은 열처리한 고Mn강 주강품의 Ni첨가량에 의한 인장강도, 항복강도 및 연신율의 관계를 나타내었다. Ni량이 증가할수록 기계적 성질은 대체로 증가하나 인장강도, 항복강도 및 연신율은 모두 3% Ni일때 가장 높은 값을 나타내었는데, 이는 고Mn강 주강품에 있어서 Ni이 오스테나이트 생성형 원소로서 인성을 향상시키기 때문이라 사료되었다. 그러나 3% 이상의 Ni량은 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

시편의 열처리 전후의 Ni량과 경도의 관계를 Fig.7에 나타내었다. 주방상태에서는 Ni량이 2% 일 때 가장 높은 경도값을 나타내었으나, 2% 이상

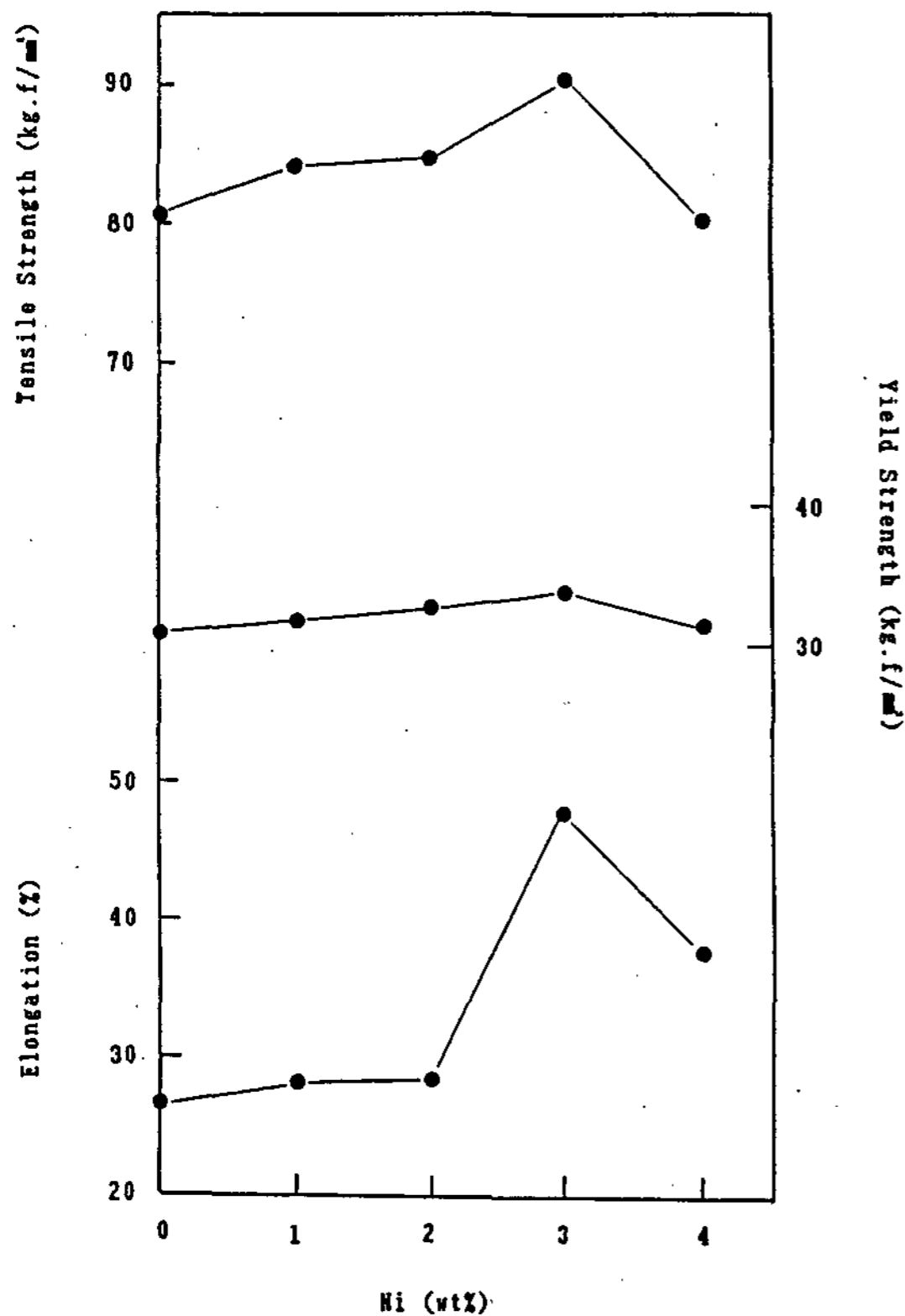


Fig. 6. Effect of Ni content on the mechanical properties of high Mn steel castings.

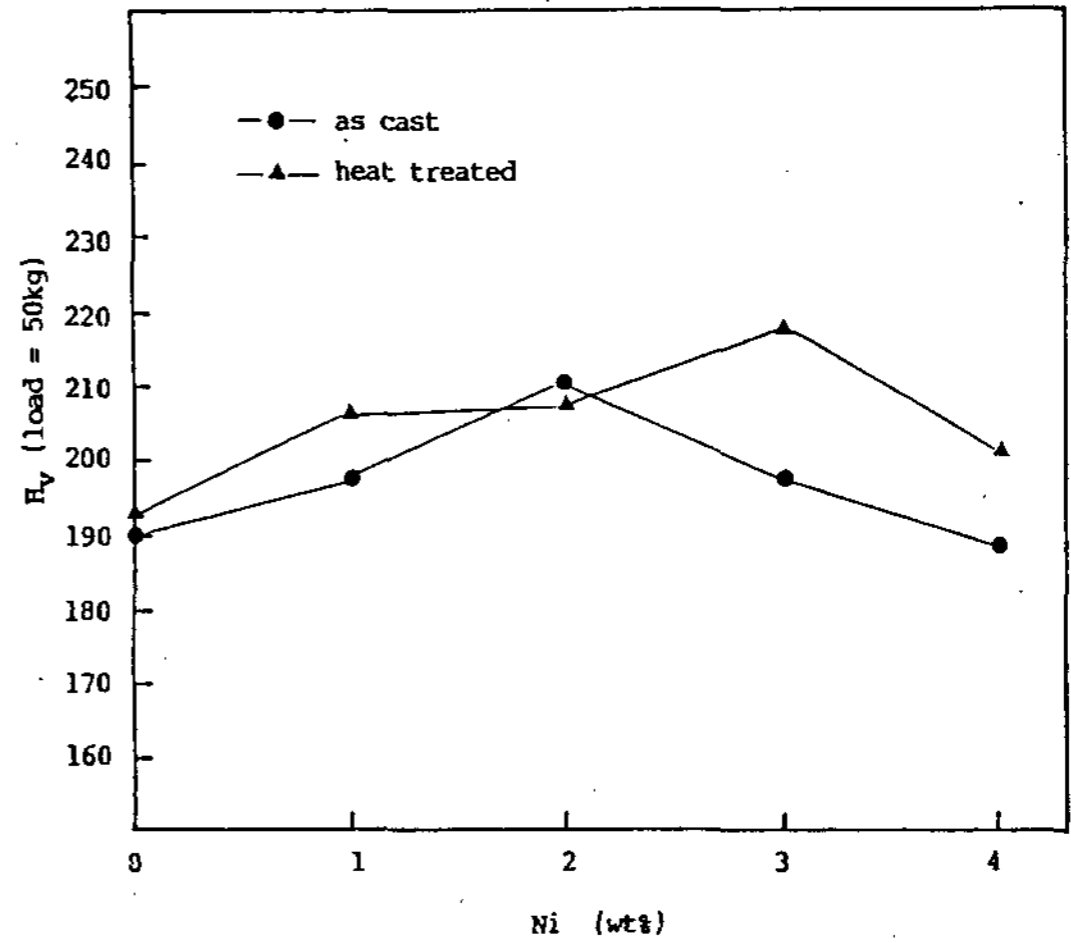


Fig. 7. Variation of Vickers hardness for high Mn steel castings with respect to Ni content.

으로 Ni량이 증가하면 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 열처리한 경우에는 Ni량이 3% 일 때 가장 높은 경도값을 나타내었다. 또한 고Mn강 주강품에 있어서 주방상태와 열처리 상태의 경도값을 비교하면 열처리한 상태가 다소 높은 경도값을 나타내었는데, 이는 주방상태의 고Mn강 주강품은 석출물이 결정립계에 석출하여 취성이 강해지는 것에 비해 열처리를 한 고Mn강 주강품은 오스테나이트 조직으로 성질이 점차 회복되어 인성을 부여하기 때문인 것으로 사료되었다.

3.2 Ni첨가량에 의한 조직변화

Ni을 1~4% 함유한 고Mn강 주강품의 주방상태 현미경 조직을 Photo.1에 나타내었다. Cell집단의 경계부에 해당하는 오스테나이트 결정 입계부에 공정 시멘타이트가 정출하고 있으며, 탄소량이 오스테나이트 최대고용한도보다 작은 1.3%에서 공정 시멘타이트가 정출한 것은 비평형응고에 의한 것으로, 초정 오스테나이트에 대한 분배계수가 1보다 작은 C, Mn이 잔액으로 농축하는 것과 응고과정에 있어서 이들 용질원소가 고상에서의 확산이 불충분한 것에 기인한 것으로 사료되었다. 초석 시멘타이트는 Fe-C계와 마찬가지로 응고 후의 온도저하와 함께 먼저 공정 시멘타이트상에 직접 석출하고 점차로 결정입계부에 망상 시멘타이트가 석출하며, 다음으로 공정 시멘타이트를 핵으로 하여 침상 시멘타이트(입체적으로는 판상 시멘타

이트)가 오스테나이트 입계로 향하여 석출하였으며 또한 입계에 석출한 망상 시멘타이트를 핵으로 입내로 향하는 판상 시멘타이트가 석출한 것으로 사료되었다. 따라서 이들 조직으로서는 오스테나이트강이라고 볼 수 없으므로 오스테나이트 조직을 얻기 위한 가열과 급냉과정으로 이루어진 수인처리에 의해 완전한 오스테나이트 조직으로 만들어서 사용해야 할 것으로 판단되었다.

Photo.2는 수인처리한 시편의 현미경 조직을 나타내었다. Ni함유량의 증가에 따라 결정립은 미세화되며, 입계탄화물도 다소 적어지는 경향을 나타

나는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 3% Ni 이상으로 첨가되는 경우에는 다시 입계에 입계탄화물이 관찰되었으며, 기계적 성질도 다소 떨어지는 경향이 나타남을 알 수 있었다. 이는 Ni이 오스테나이트를 보다 안정화시키므로 탄화물석출을 지연시키기 때문이라고 생각되었다. 또한 열처리를 실시한 경우 입계의 탄화물이 다소 감소하는 것이 관찰되었다.

3.3 파쇄량과 마모량과의 관계

일반적으로 마모형태는 여러가지 종류가 있으나

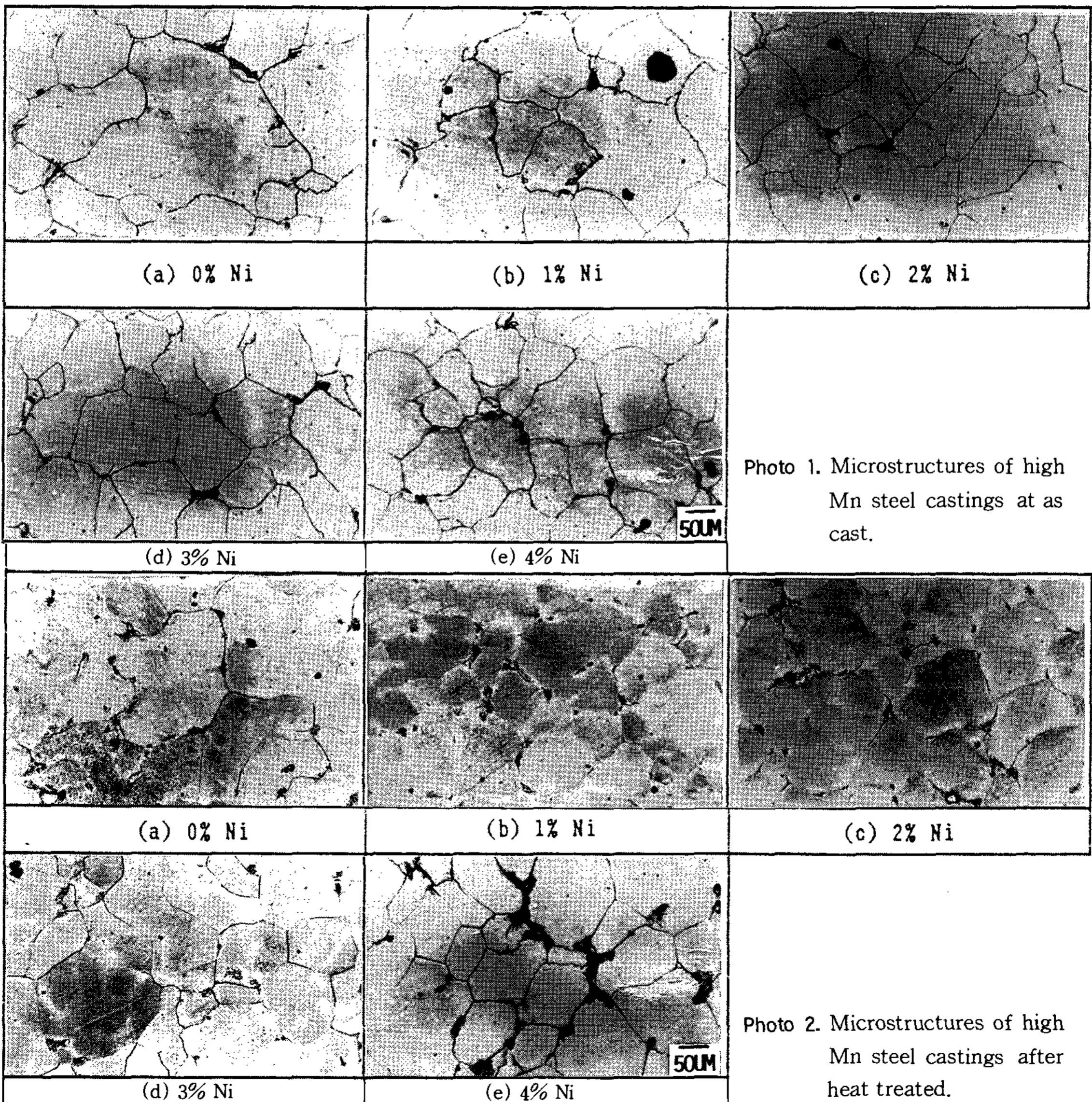


Photo 1. Microstructures of high Mn steel castings at as cast.

Photo 2. Microstructures of high Mn steel castings after heat treated.

고Mn강 주강품의 특성을 발휘할 수 있는 것은 abrasive 마모이다. Abrasive 마모는 특히 gauging abrasion, 고응력 grinding abrasion, 저응력 scratching abrasion 혹은 erosion으로 분류되며 8)9)10), 고Mn강 주강품은 특히 gauging abrasion에 대해 우수한 성질을 나타내는 것으로 알려져 있다. Fig.8은 광석과쇄구간별에 따른 마모량비(마모감량/마모시험편의 시험편의 중량)와 Ni량과의 관계를 나타내었다. 주방상태와 열처리한 경우 모든 마모량비는 광석 100kg과쇄시 가장 적게 나타났으며, 광석과쇄량이 증가할수록 마모량비가 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig.9는 광석 단위kg당 마모량과 Ni량의 관계를 표시하였다. 주방상태에서는 광석 100kg 과쇄시 가장 많은 마모량을 나타내고 있으며, 광석량이 증가할수록 마모량은 감소하는 경향을 나타내었다. 열처리한 경우에는 광석 100kg과쇄시 높은 마모량을 나타내고 있으나 300kg, 500kg의 광석을 과쇄했을 시는 거의 비슷한 마모량을 나타내었다.

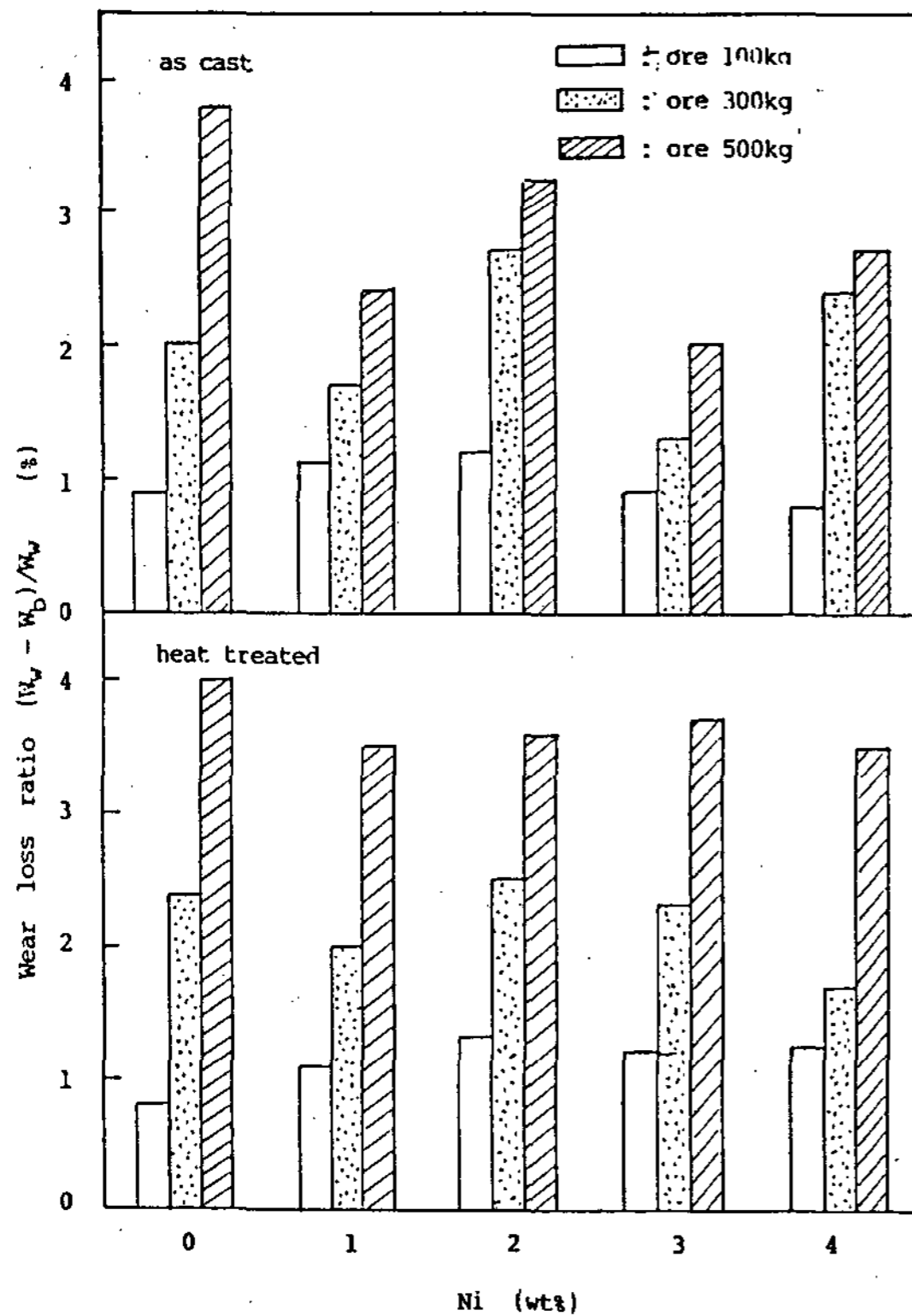


Fig. 8. Relation of between wear loss ratio and Ni content of high Mn steel castings with the crush amount.

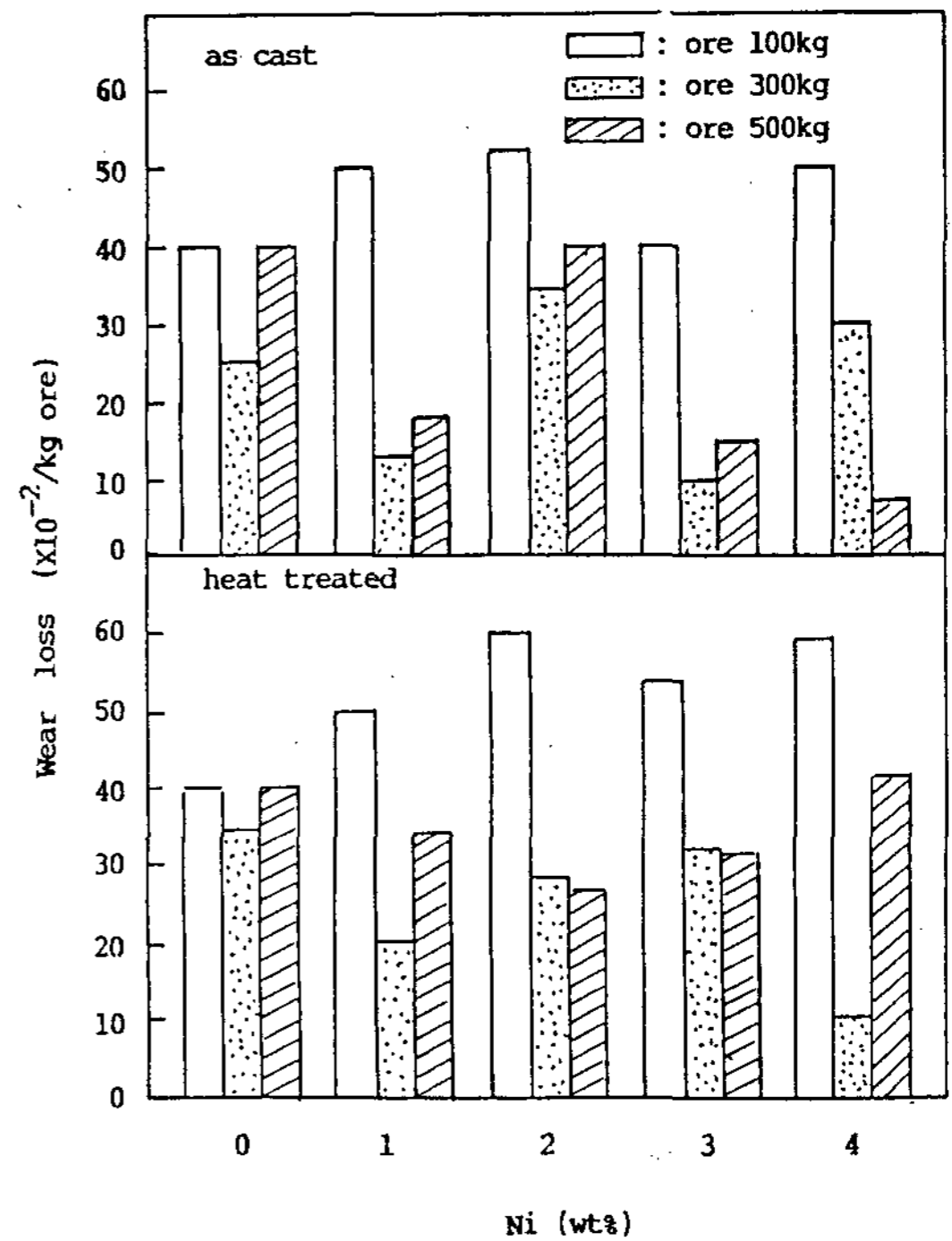


Fig. 9. Relation of between wear loss per ore weight and Ni content of high Mn steel castings with the crush amount

고 Mn강 주강품은 초기의 정도가 낮음으로, abrasive마모가 주로 일어나는 마모기구의 경우는 거의 가공경화가 일어나지 않는 상태에서 마모가 진행되는 것으로 알려지고 있다.

고Mn강 주강품의 가공경화현상은 큰 하중이 저속도로 가해지면 경화층은 깊은 곳까지 도달하지만 표면의 정도는 상승하지 않으며 역으로 적은 하중이라도 이것이 저속도로 많이 반복되는 경우 표면의 경도상승은 크지만 경화층은 얇은 것으로 판단되었다. 따라서 고Mn강 주강품은 가공경화성을 가지는 재료이므로 마모시험중 접촉면에 외력을 반복해서 받으므로 그 표층이 소성변형하여 슬립선이 생겨서 경화층이 수 mm 형성되어서 우수한 내마모성을 발휘하는 것으로 추정되었다. 또한 이 가공경화는 탄성한계 이상의 응력이 미치는 범위에서 항상 형성되므로 종래의 재료는 소입경화층이 마모되어서 점차 감소하는데 비하여 고Mn강 주강품에서는 새로운 경화층이 끊임없이 형성하므로 항상 우수한 내마모성을 유지할 수 있다고 사료되었다.

3.4 파쇄량에 의한 경도변화

Fig.10은 주방상태에서의 광석파쇄량에 의한 시편의 경도 변화를 Ni량으로 나타내었다. 2% Ni을 함유할 경우 가장 높은 경도값을 나타내었으며, 또한 파쇄량을 광석 300kg으로 하였을 때 모든 시편의 경도값이 극대를 나타냄을 알 수 있었다. Fig. 11은 열처리한 시편의 광석파쇄량에 의한 경도변화를 나타내었다. 이는 주상상태와 같은 경향을 나타내고 있으나, 주방상태와 비교하면 전체적으로 다소 높은 경도값을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 파쇄량을 광석 300kg으로 하였을 때 가장 높은 경도를 표시하므로 광석 300kg까지는 가공경화성에 의한 경도의 증가가 있었다고 판단되었다.

Fig.12는 고Mn강 주강품의 Ni함유량에 의한 주방상태와 열처리 상태에서 광석 파쇄량에 의한 경도 측정결과를 나타내었다. 주방상태보다 열처리 상태에 있어서 시편의 경도가 높은 값을 가지며 또한 모두 파쇄량을 광석 300kg으로 하였을 때 가장 높은 경도값을 나타내었다.

가공경화의 원인에 대해서는 오스테나이트계 고Mn강 주강품에 대해서 많은 연구결과가 발표되고 있으나 아직 확실한 결론을 얻지 못하고 있는 것으로 알려지고 있다. 그러나 가공에 의해 마르텐사이트가 유발된다는 설은 오래전부터 많이 보고되고 있으나 가공층에서 마르텐사이트가 확인된 보고는

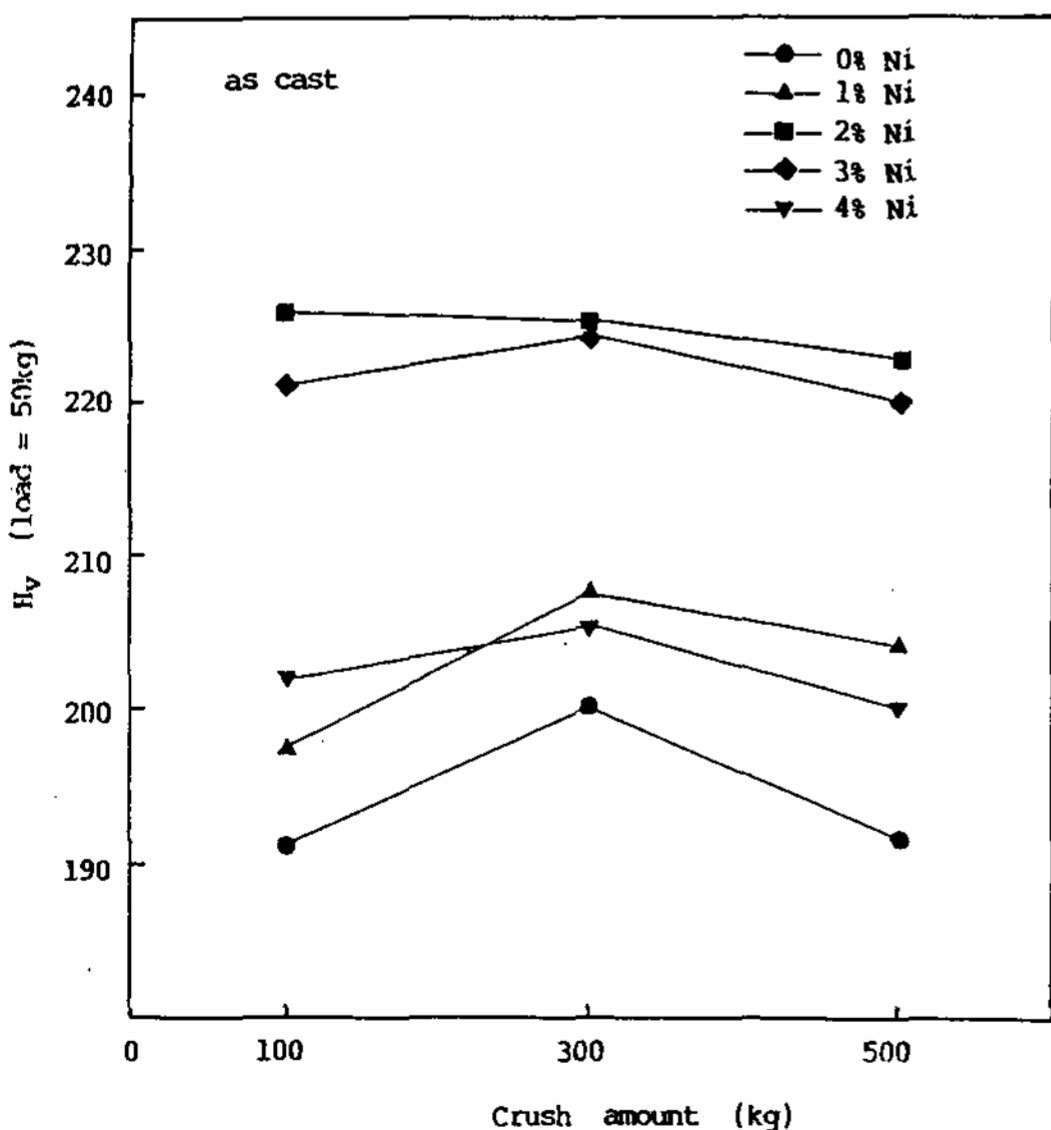


Fig. 10. Relation of between Vickers hardness and crush amount for high Mn steel castings at as cast.

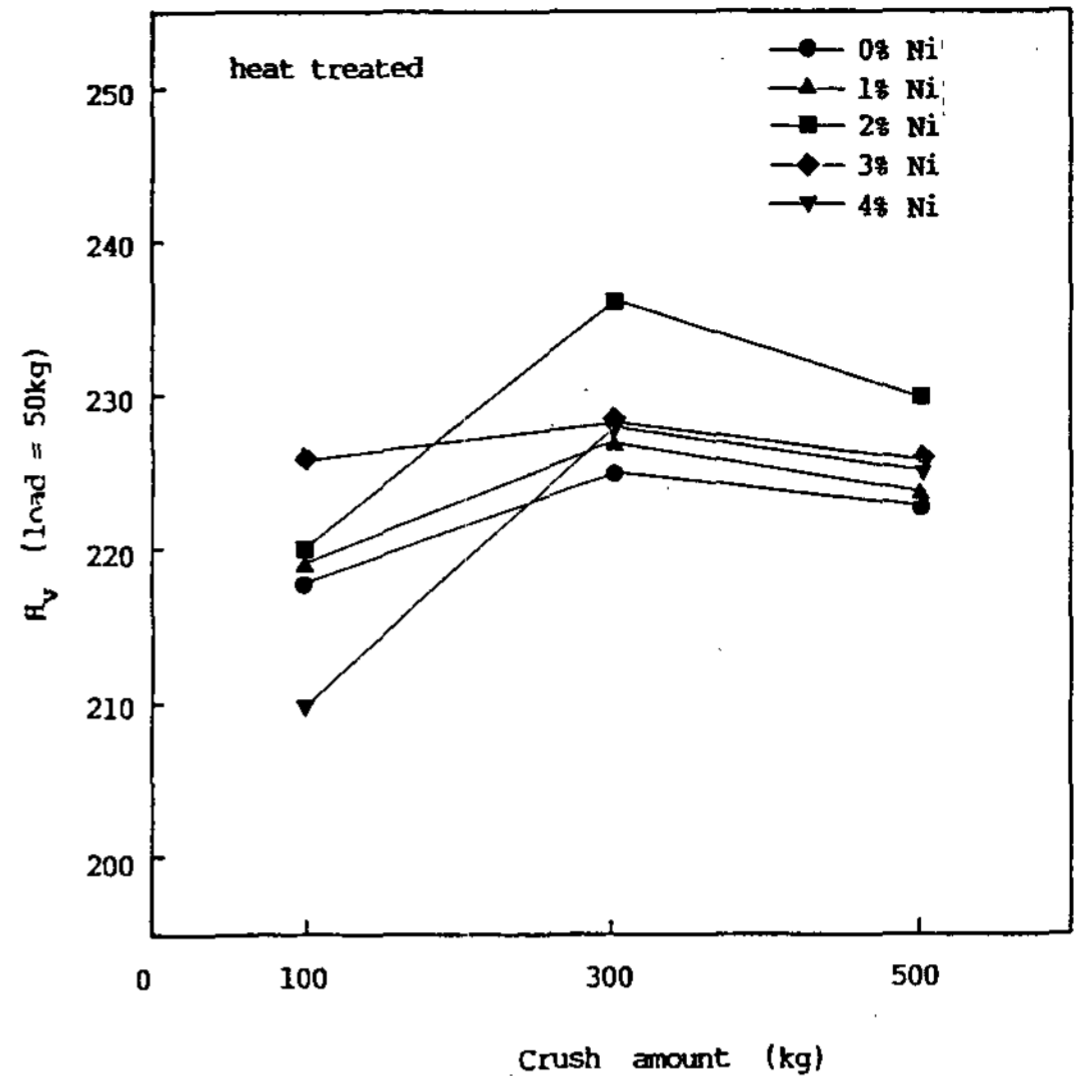


Fig. 11. Relation of between Vickers hardness and crush amount for high Mn steel castings after heat treated

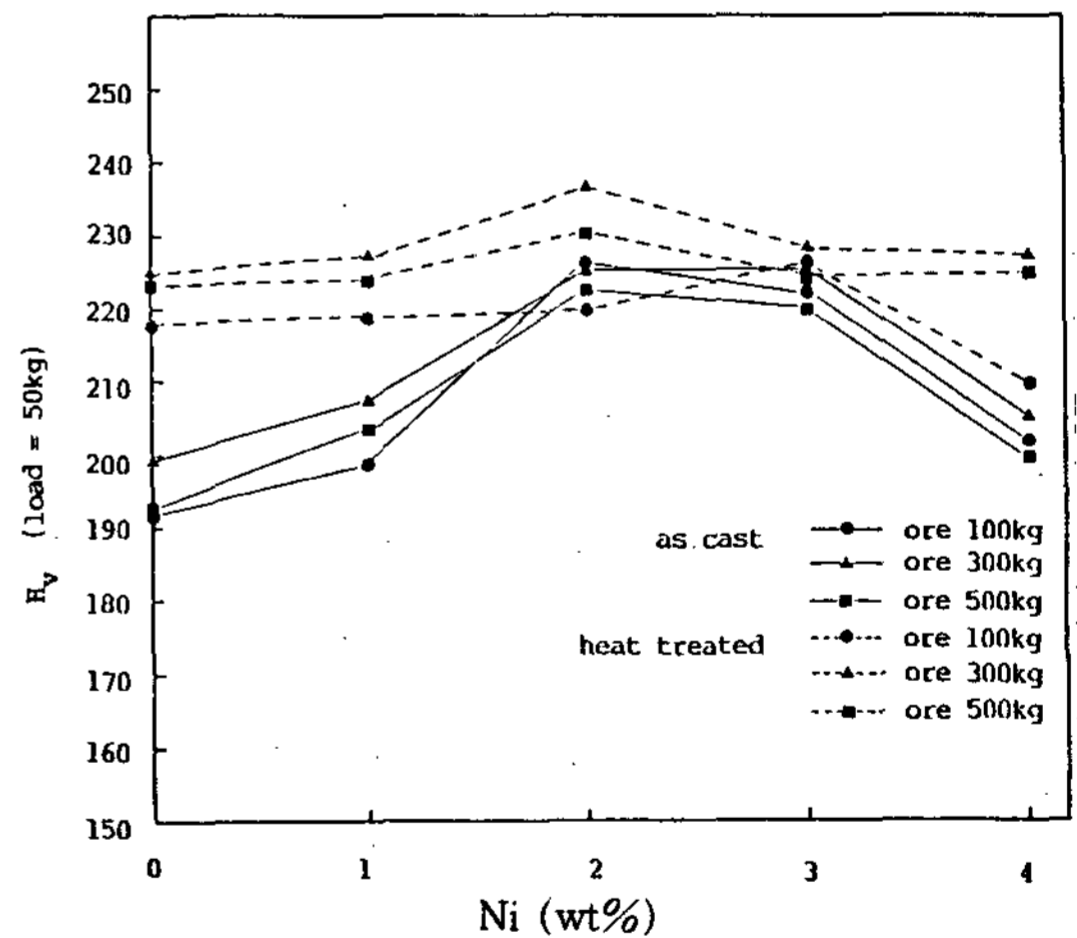


Fig. 12. Relation of between Vickers hardness and Ni content of high Mn steel castings with the crush amount.

없는 것으로 조사되었다.¹¹⁾¹²⁾, 자기측정에 의해 미세화 탄화물의 슬립면이나, 입계석출¹³⁾ 등도 보고되고 있다. 고Mn강 주강품의 가공조직의 X-선 및 전자선회절법등에 의하여 연구한 결과에 의하면 쌍정의 생성이 경화의 가장 큰 요인이 된다는 보고도 있다.¹⁴⁾¹⁵⁾

4. 결론

고Mn강 주강품에 Ni을 1~4% 범위로 첨가, 용해, 주조한 후 열처리 상태와 주방상태에서 내마모성과 기계적 성질에 미치는 Ni 합금원소의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고Mn강 주강품에 있어 Ni량의 증가에 따라 기계적 성질이 대체로 증가하나 인장강도, 항복강도 및 연신율은 3% Ni에서 가장 높은 값을 나타내며, 경도는 2% Ni에서 가장 높은 값을 나타내었다.
- 2) 고Mn강 주강품에 있어서 입내 및 입계의 판상 시멘타이트를 가진 주방상태의 조직을 수인처리에 의하여 완전한 오스테나이트 조직으로 변화가 가능하였다.
- 3) 고Mn강 주강품에 있어 Ni량 증가에 따라 주방상태에서는 광석 100kg을 파쇄할 때 가장 많은 마모량을 나타내며 광석량이 증가할수록 마모량은 다소 감소하는 경향을 나타내지만 열처리한 경우는 광석 100kg에서 높은 마모량을 나타내지만 광석량이 증가할수록 거의 유사한 마모량을 나타내었다.
- 4) 파쇄량에 따른 경도의 변화는 광석 300kg을 파쇄했을 때 가장 높은 경도값을 보이며 또한 2% Ni의 고Mn강 주강품이 주방상태와 열처리상태에서 가장 높은 경도값을 나타내었다.

후 기

본 연구는 1990년도 동아대학교 학술연구조성비

지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 和久芳春, 西正 : 熱處理, 28, 5(1988), 307
2. 佐藤健編 著 : 金屬の磨耗と對策, 3
3. Oliver and Boyd : Manganese steel Hadfield, Ltd, Sheffield Edindurgy & London (1956), 34
4. H.S.Avery : Metal Hand Book, I(1961), 834
5. W.H.Dennis : A. Hundred Year of Metallurgy, 283
6. I.T.Liuetal : Trans. AIME, 242(1986), 5135
7. D.Niconoff : Trans. ASM 29(1941), 591
8. T.E.Norman Giesserei, 46(1959), 471
9. H.S.Avery : Surface Protection Against Wear and Corrosion, ASM (1954), 22
10. 橋浦廣吉 : 日本金屬學會會報, 10(1977), 681
11. N.P.Gdss : Trans. ASM 34(1945), 630
12. R.H.Buhr, S.L.Gerfsmannd J.Reekie : Trans. ASM 49(1957), 49
13. H.C.Doepken : Trans. AIME 194(1952), 166
14. W.N.Roberts : Trans. Met. Soc. AIME, 230(1964), 372
15. 西山善次, 岡字雄, 日本金屬學會誌, 22(1958), 557