

3.9%C 회주철의 진동감쇠능 및 기계적 성질에 미치는 합금원소 첨가의 영향

김정철 · 손용철 · 한동운 · 백승한

(주)우진 측정기술연구소

Effects of Alloying Elements on the Damping Capacities and
Mechanical Properties in 3.9%C Gray Cast Iron

J.C.Kim, Y.C.Son, D.W.Han and S.H.Baik

Research Institute of Measuring Technology, WOJIN INC., Korea

ABSTRACT

Flake graphite cast irons with the high damping capacity have been used for the control of vibration and noise occurring in the members of various mechanical structures under vibrating conditions. However, the damping capacity which is morphological characteristics of graphite is one of the important factors in reducing the vibration and noise, but hardly any work has deal with this problem.

Therefore, the authors have examined the damping capacity of various cast irons with alloying elements and studied the influences of the matrix, mechanical properties and morphological characteristics of graphite.

The main results obtained are as follows:

Effects of Ni on the damping capacities and mechanical properties are investigated in 3.9%C-0.3% Cu gray cast iron. At 0.2% Ni content, specific damping capacity showed the maximum value, and decreased with further increase in Ni content, Graphite continuity also showed same behavior. This indicates that the specific damping capacity has a close relation with graphite continuity. On the other hand, the damping capacity in pearlite matrix showed superior to that in ferrite.

In contrast, with increasing the Ni content, both tensile strength and hardness increased due to the decrease of graphite length and eutectic cell size.

1. 서 론

현대사회를 들어서서 산업화가 됨에 따라 자원개발과 기술력 향상으로 인한 생태계 파괴, 건잡을 수 없는 지구 온난화, 인구집중과 도시화가 됨으로써 옛날 농경사회에서는 문제되지 않았던 소음 및 진동문제가 사회문제로 대두되고 있으며 일상생활에 큰 지장을

주고 있는 등 환경적 문제가 발생하게 되었다. 이러한 소음 진동문제는 인간에게 심리적 불안감과 난청 등의 질병을 유발시키며, 공업적 측면에서는 정밀기계의 정밀도 저하 및 부품의 조기피로파괴 등의 성능저하를 야기시킨다. 이러한 소음과 진동을 방지하기 위해서 종래에는 진동체에 오일댐퍼나 에어댐퍼를 설치하여 진동에너지를 흡수시키거나, 금속과 금속사이

에 점탄성이 큰 고분자재료를 끼워서 진동에너지를 흡수시키는 방법 등이 강구되어 왔었다. 이러한 구조적 방법에 의해서는 진동과 소음을 제거하는데 있어서 많은 문제점들이 내포되어 있을 뿐만 아니라, 공업적 이용면에서도 그 한계성을 벗어날 수가 없다. 따라서 최근에 와서는 금속재료 그 자체가 진동에너지를 직접 흡수케 하는 적극적인 방식(material damping)의 방진대책이 고려되어 제진재료의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1~8)} 이러한 제진재료 중 가장 일찍이 널리 사용되고 있는 것이 주철이다. 주철을 흑연형상으로 분류하면 구상흑연주철, CV흑연주철 및 편상흑연주철로 대별되고 이 중에서 편상흑연주철은 구상흑연주철에 비하여 경도 및 인장강도가 작으나 주조성, 열전도도 및 진동감쇠능이 우수하고^{9~12)}, 특히 편상흑연주철은 진동감쇠능이 크므로 반복 진동을 받는 자동차부품이나 공작기계 등의 부품에 많이 이용되고 있다.^{13~15)} 편상흑연주철이 구상흑연주철보다 진동감쇠능이 우수한 것은 흑연의 연속성이 크기 때문이며, 이에 비하여 구상흑연주철은 흑연이 불연속적으로 존재하여 진동감쇠능이 낮다^{16~19)}. 또한, 편상흑연주철은 흑연의 면적율이 크고 흑연편이 A형일 경우가 가장 진동감쇠능이 우수하다는 결과만 보고되고 있을 뿐, 흑연의 연속성과 진동감쇠능과의 정량적인 상관관계 및 진동감쇠기구에 대해서는 아직 보고된 바 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 편상흑연주철에서 흑연화 촉진 원소 첨가에 따른 흑연의 연속성과 진동감쇠능과의 상호 상관관계를 조사하기 위하여, 탄소량을 3.9wt%, 구리를 0.3wt%로 고정하고 니켈을 0, 0.2, 0.7, 1.5, 2.4wt%로 변화시키며 진동감쇠능을 측정하였으며, 이를 분석하기 위하여 Image Analyzer를 통한 흑연편의 길이 및 면적율을 계산하였다. 또한 기계적 성질을 알아보기 위하여 인장시험 및 경도 시험을 실시하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 방진주철은 고주파 유도로에서 용해하였다. 먼저 마그네시아 도가니에 3.9%C회주철 원재료를 장입하여 용해시킨 다음, 구리 및 니켈을 첨가하여 용해하였다. 용해된 후 용탕을 $\phi 30 \times 300\text{mm}$ 의 사형에 주입하여 잉곳트를 제조하였다. 용탕 주입온도는 약 1450℃였고, 냉각은 대기중에서 공냉하였다. 성분 분석은 잉곳트에서 바로 채취하여 C/S 분석 및 습식분석으로 하였고, 조직관찰은 성분 분석한 시험편을 사용하였다.

본 연구에 사용된 시험편의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of the specimens used.

Alloy No.	Chemical Composition (wt%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Fe
CN1	3.89	1.74	0.46	0.074	0.072	-	-	bal
CN2	3.90	1.79	0.46	0.080	0.065	0.29	-	bal
CN3	3.94	1.70	0.48	0.079	0.066	0.27	0.20	bal
CN4	3.91	1.81	0.46	0.074	0.065	0.28	0.67	bal
CN5	3.92	1.82	0.51	0.072	0.069	0.29	1.44	bal
CN6	3.92	1.76	0.49	0.072	0.076	0.29	2.39	bal

한편, 시험편의 진동감쇠능을 측정하기 위하여 Fig. 1의 비틀림 진자 진동 측정장치를 이용하였으며, 시험편은 Fig. 1의 형상으로 가공하였다. 또한 인장시험은 Instron 만능시험기를 사용하였으며, 시험편은 JIS 8호 C형 시험편을 제작하였다.

각 시험편에 존재하는 흑연편의 길이 및 면적율을 측정하기 위하여 광학현미경 조직사진을 Image Analyzer로 분석하였고, 기지조직은 광학현미경 및 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 기지조직 관찰을 위한 에칭액은 4% Nital을 사용하였고, 공정셀 관찰을 위해서는 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10g, HCl 10ml, 알콜 250ml의 혼합용액을 사용하였다. 또한, 경도 측정은 조직관찰 후의 시험편을 이용하였으며, Rockwell 경로 B scale로 측정하였다.

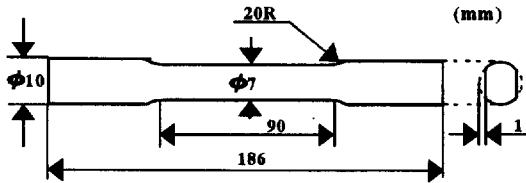
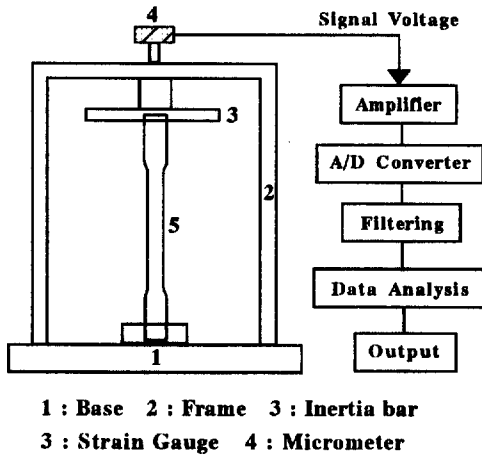


Fig. 1 Schematic diagram of damping measuring apparatus and dimension of its specimen.

한편, 진동감쇠능에 미치는 기지조직의 영향을 알아보기 위하여 열처리를 행하였다. 즉, 펄라이트에서 페라이트로 변태시키기 위하여 900℃에서 2시간 유지후, 700℃까지 냉각하여 다시 이 온도에서 4시간 유지후 상온까지 냉각하였다.

본 연구에 사용된 진동감쇠능 측정장치는 본 연구실에서 제작한 Föpple-Pertz형 비틀림 진자 시험장치⁵⁾로, 시편을 자유진동시켰을 때 시간의 경과에 따라 진동의 진폭이 점차 감소해 가는 것을 potentiometer로 감지하여, 증폭기를 거쳐 A/D converter를 통해 입력된 신호인 시간 대 진폭 변화 곡선으로부터 변형에 따른 진동감쇠능(Specific Damping Capacity)을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 합금설계

일반적으로 주철의 진동감쇠능은 편상흑연주철에

서, 특히 A형 흑연을 갖는 것이 우수한 것으로 알려져 있다^{13~15)}. 따라서 본 연구에서는 탄소당량을 4.5%로 설정하고 이에 보다 많은 A형 흑연을 생성시키기 위하여 흑연화 촉진원소를 첨가하기로 하였다. 흑연화 촉진원소로는 Si, Cu, Ni, Al, Ti, Co 등이 있다²⁰⁾. 이 중에서 Si이 가장 강력한 흑연화 원소이지만, 다량 첨가시에는 페라이트화 경향이 있어 제외하였다. 또한 합금원소 중에서 Fig. 2²¹⁾와 같이 공정온도 간의 간격을 넓혀 칠 발생을 억제하여야 하고, 경계성이 있어야 하기 때문에 최종적으로 Cu와 Ni을 선정하여 첨가하기로 하였다. Cu는 단독첨가에 의한 효과가 미약하기 때문에 본 연구에서는 Cu를 0.3%로 고정하고 Ni을 0, 0.2, 0.7, 1.5, 2.4%로 변화시키며 연구하였다.

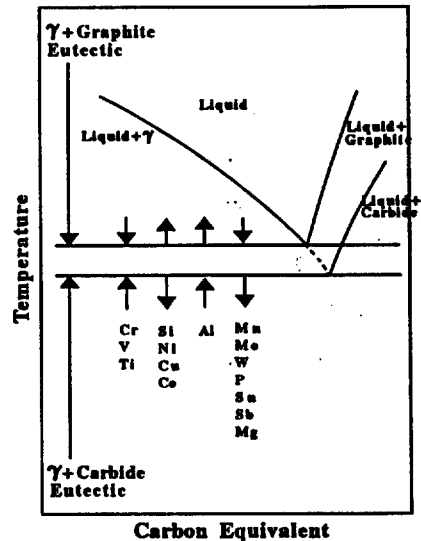


Fig. 2 Effect of alloying elements on eutectic temperature.

3.2 Ni 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변화

Fig. 3은 변형 = 8×10^{-4} 에서의 Ni 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변화를 나타낸 것이다. 진동감쇠능은 Ni 첨가량이 0.2%일 때 최대치를 나타내고, 그 이상의 첨가량에서는 점차로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 원인을 알아보기 위해 다음과 같이 고찰해 보았다.

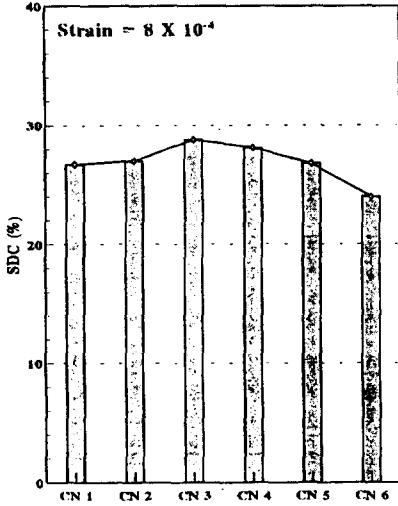


Fig. 3 Variation of SDC with Ni content in 0.3%Cu cast iron.

일반적으로 편상흑연주철은 흑연의 면적율이 크고 흑연편이 A형일 경우가 가장 진동감쇠능이 우수하다는 결과만이 보고되고 있는데, 본 연구에서는 보다 자세한 진동감쇠기구를 밝혀내고자 하였다.

Photo. 1은 Ni 첨가량에 따른 흑연편의 형상 및 길이의 변화를 보여주는 광학현미경 조직사진이다. Ni 첨가량이 증가함에 따라 A형의 흑연편의 길이가 점차 짧아지며 미세해지지만 면적율은 뚜렷한 변화를 관찰할 수 없었다. 이를 Image Analyzer를 이용하여 정량적으로 계산한 값을 Fig. 4에 나타내었다.

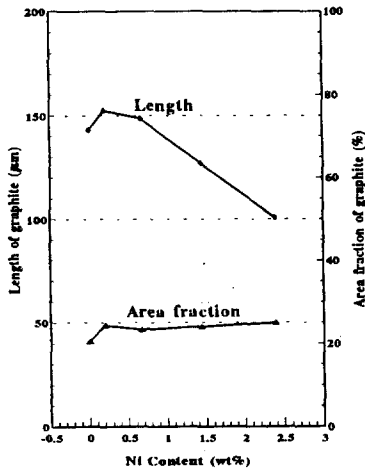


Fig. 4 Variation of length and area fraction of graphite with Ni content in 0.3%Cu cast iron.

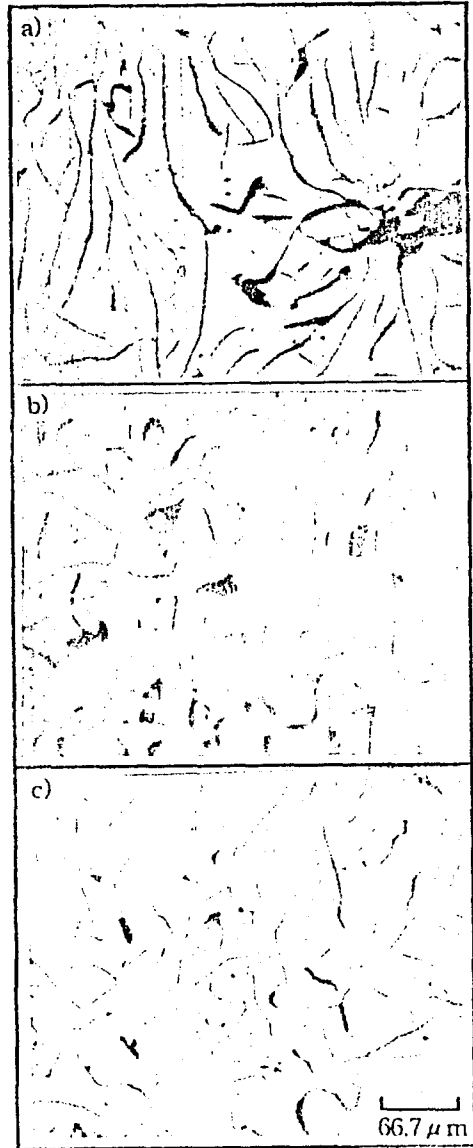


Photo. 1. Microstructures of 0.3%Cu-X%Ni cast iron.

- a) 0.3%Cu-0.2%Ni b) 0.3%Cu-1.5%Ni
- c) 0.3%Cu-2.4%Ni

Fig. 4에서 흑연의 면적율은 일정한 경향을 보이지 않지만, 흑연의 길이는 0.2%Ni에서 최대치를 보이다가 그 이상 첨가시에는 점점 짧아지는 경향을 보이고 있다. 한편, 흑연의 연속성 개념을 도입하여 흑연의 면적율과 길이의 곱으로 환산한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림에서 보듯이 진동감쇠능은 흑

연의 연속성과 비례적으로 잘 일치하고 있다. 즉 진동감쇠능은 흑연의 면적을보다는 흑연의 길이, 좀더 정확하게는 흑연의 연속성이 증가함에 따라 증가하고 있다.

따라서 본 방진주철에서의 연구결과를 고찰해 본 결과, 진동에너지는 흑연에 의해 흡수되는데, 이러한 흡수성은 흑연이 연속적으로 분포되어 있을 경우에 커져 진동감쇠능이 증가되었다고 생각된다. 한편, 기조직은 Photo. 2에서 보이는 바와 같이 모든 조성에서 완전 펄라이트조직을 보였다. 따라서, 본 연구에서는 진동감쇠능에 미치는 기조직의 영향은 없을 것으로 생각된다.

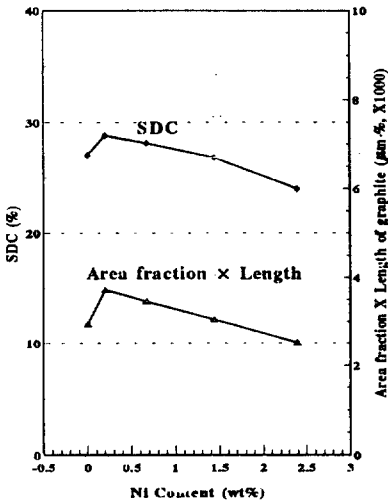


Fig. 5 Relation of SDC and graphite continuity in 0.3%Cu cast iron.

3.3 Strain에 따른 진동감쇠능의 변화

이력형 방진합금²²⁾은 외부에서 응력을 가할 때와 응력을 제거할 때의 응력-변형을 곡선의 경로가 서로 다름으로 인해 생기는 감쇠형태이다. 이때 이력손실에 해당하는 만큼의 에너지가 감쇠의 원인이 된다. 이 형태의 진동감쇠능은 진동수와는 무관하며 변형진폭에 크게 의존하는 특징이 있다.

Fig. 6은 변형의 변화에 따른 진동감쇠능의 변화를 나타낸 것이다. 모든 시험편이 변형이 증가할수록 진동감쇠능이 증가하고 있다. 이는 본 연구의 방진주

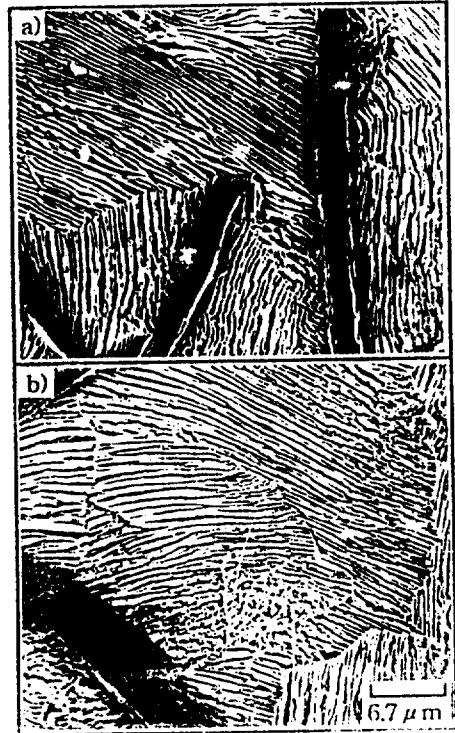


Photo. 2. Scanning electron micrographs 0.3%Cu-X%Ni cast iron.
a) 0.3%Cu-0.2%Ni
b) 0.3%Cu-2.4%Ni

철은 외부응력의 증가에 따라 이력손실이 증가하는 이력형 방진합금이라는 증거가 될 것이다.

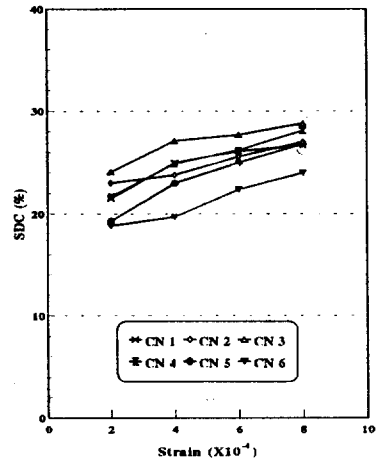


Fig. 6 Variation of SDC with maximum surface strain.

3.4 진동감쇠능에 미치는 기지조직의 영향

이러한 형에 속하는 방진합금의 감쇠기구로는 복합형, 강자성형, 전위형 및 쌍정형이 있다. 이중 복합형 방진합금²³⁾은 강하고 인성이 많은 기지에 연한 제2상이 있는 경우, 기지와 제2상과의 계면에서 소성유동 또는 점성유동이 생기기 쉽게 되어 외부의 진동에너지가 이들의 유동에 소비되기 때문에 진동감쇠가 발생한다.

Fig. 7은 열처리에 따른 진동감쇠능 및 경도의 감소를 보이고 있다. 이는 Fig. 8에서와 같이 열처리 후의 흑연편의 연속성은 크게 증대되었지만, Photo. 3에서 보이는 바와 같이 페라이트 기지의 생성에 의해 펄라이트 기지보다 연한 기지를 형성하였다. 따라서 기지의 영향이 흑연편의 영향보다 다소 우세하였기 때문에 진동감쇠능이 저하하였다고 생각된다. 또한 CN 3이 CN 5보다 많은 페라이트가 생성되어 경도의 감소폭도 훨씬 컸고, 진동감쇠능도 보다 더 감소한 것으로 생각된다.

3.5 Ni 첨가량에 따른 기계적 성질의 변화

Fig. 9는 Ni 첨가량에 따른 인장강도(UTS)와 공

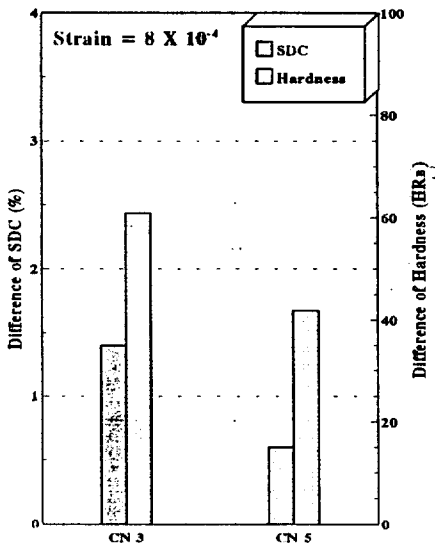


Fig. 7 Difference of SDC and hardness between as-cast and as-annealed in CN3 and CN5 cast iron.

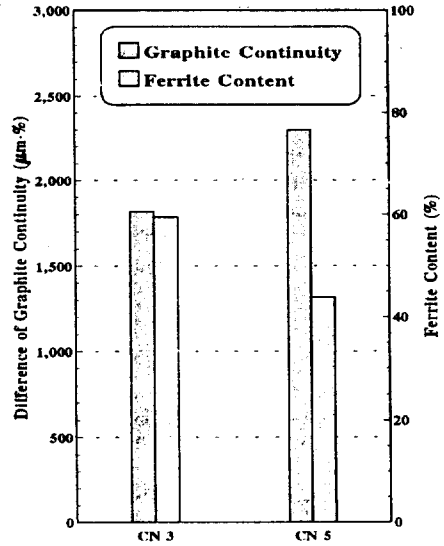


Fig. 8. Increasing amount of graphite continuity and ferrite content after annealing in CN3 and CN5 cast iron.

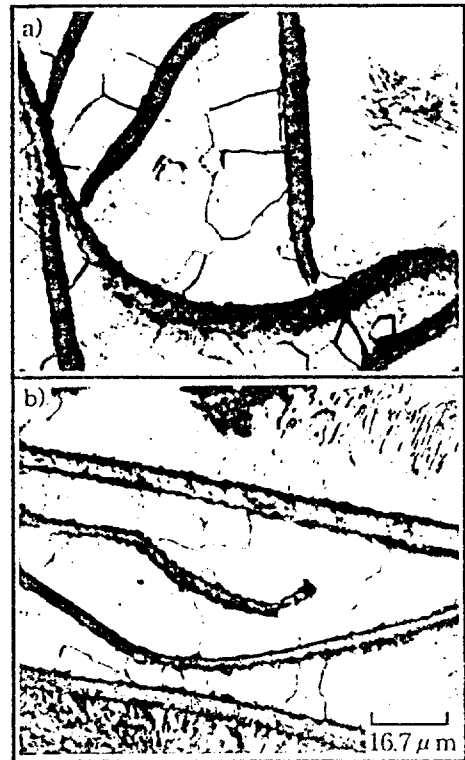


Photo. 3. Microstructures of 0.3%Cu-0.2%Ni and 0.3%Cu-1.5%Ni cast iron after annealing. a) 0.3%Cu-0.2%Ni b) 0.3%Cu-1.5%Ni

정셀 직경의 변화를 보여주고 있다. Ni 첨가량이 증가할수록 인장강도가 증가하였는데, 이는 Ni 첨가량이 증가함에 따른 흑연편 길이의 감소와 공정셀 크기의 감소에 기인한 것으로 생각된다. 한편, 모든 조성에서 완전한 펄라이트 조직을 보이고 있기 때문에 기지의 영향은 별로 없다고 생각된다.

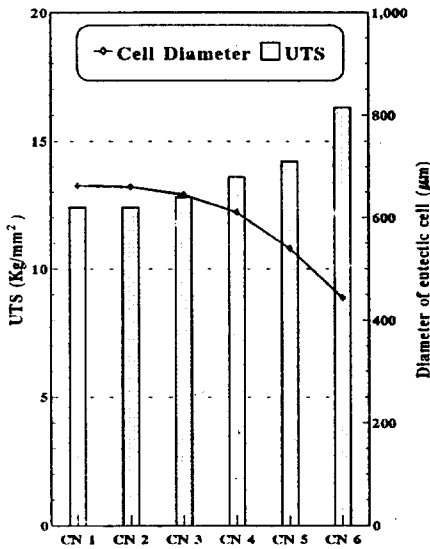


Fig. 9 Variation of tensile strength and eutectic cell size with Ni content in 0.3%Cu cast iron.

Fig. 10은 Ni 첨가량에 따른 경도값(HRB)의 변화를 보여주고 있다. Ni 첨가량이 증가할수록 경도도 증가하였는데, 이는 인장시험 결과에서 전술한 바와 같다. 그리고, 인장강도보다는 경도의 변화가 진동감쇠능의 변화와 완전히 반비례하는 경향을 보였다.

4. 결론

3.9%C-0.3%Cu 방진주철에 Ni 첨가량을 0, 0.2, 0.7, 1.5, 2.4wt% 첨가하여 주조상태에서의 진동감쇠능 및 기계적 성질에 대한 영향을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Ni 첨가량이 0.2%일 때, 가장 우수한 진동감쇠능을 나타내었고, 그 이상의 첨가량에서는 점차로 감소하였다.

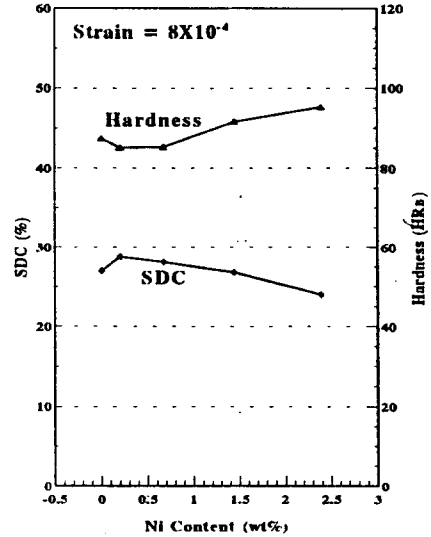


Fig. 10 Relation of SDC and hardness in 0.3%Cu cast iron.

- 2) 흑연의 연속성은 0.2%Ni에서 가장 컸고, 그 이상의 조성에서는 점차 줄어들었다. 이는 진동감쇠능의 변화와 비례적으로 일치하는 경향을 보였다.
- 3) 본 방진주철은 변형율이 증가함에 따라 진동감쇠능이 증가하는 이력형 방진합금이다.
- 4) 기지조직이 펄라이트인 경우가 페라이트일 때보다 진동감쇠능이 우수하였다.
- 5) 인장강도와 경도는 Ni 첨가량이 증가할수록 증가하였고, 이는 진동감쇠능의 경우와 반비례하는 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. 杉本孝一:鐵と鋼, 14(1974), 127
2. 川邊尚志, 梨原改造:日本金屬學會誌, 44 (1980), 776
3. X. W. Wang:Scripta Metallurgica, 23 (1989), 507
4. S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee, M. C. Shin and C. S. Choi: "Effects of carbon content and cold working on damping capacity and

- mechanical property of Fe-17wt%Mn martensitic alloy”, JOURNAL DE PHYSIQUE IV, Vol.5, C8-391~C8-396, 1995
5. 백승한, 김정철, 지광구, 최종술 : 열처리공학회지, Vol.8, No.2(1995), 113
 6. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술 : 열처리공학회지, Vol.8, No.3(1995), 197
 7. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술 : 열처리공학회지, Vol.9, No.1(1996), 53
 8. 백승한, 오영선, 지광구, 최종술 : 대한금속학회지, Vol.34, No.5(1996)
 9. B. K. Dhindaw, J. D. Verhoeven : Trans. Jap., 2(1983), 71
 10. C. M. Dunks, K. B. Turner : AFS. Trans., 89(1981), 575
 11. G. F. Sergeant, E. R. Evans : Brit. Found. Soc., 1987, 115
 12. R. D. Adams and M. A. O. Fox : Journal of The Iron and Steel Institute, January 1973, 37
 13. 旗手稔, 中村幸吉 : 鑄物, 58(1986), 12
 14. 小林俊郎, 新家光雄 : 鑄物, 58(1986), 4
 15. P. A. Green : AFS. Trans., 79(1971), 569
 16. 松野亮, 木津文生 : 日本金屬學會誌, 40(1976), 10
 17. 松井啓 : 鑄物, 45(1973), 508
 18. 草川隆次 : 鑄物, 32(1960), 446
 19. 杉本孝一 : 金屬材料, 15(1975), 11
 20. 최창옥 : 한국주조공학회지, 7권 1호, 1987. 3., 22
 21. 박홍일, 김명호 : 한국주조공학회지, 8권 2호, 1988. 6., 14
 22. D. W. James : “High Damping Metals for Engineering Applications”, Mater. Sci. Eng., 4(1969), 1
 23. K. Nuttall : “The Damping Characteristics of a Superplastic Zn-Al Eutectoid Alloy”, J. Inst. Metals, 99(1971), 266