

3.6%C 회주철의 진동감쇠능 및 기계적 성질에 미치는 주입온도 및 합금원소 첨가의 영향

김정철 · 백승한 · 최종술*
(주)우진 측정기술연구소
* 연세대학교 금속공학과

Effects of Pouring Temperature and Alloying Elements on Damping Capacity and Mechanical Properties in 3.6%C Grey Cast Iron

J. C. Kim, S. H. Baik and C. S. Choi*

Research Institute of Measuring Technology, Woojin Inc., Korea
*Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University, 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 structures, mechanical properties and morphological characteristics of graphite. The main results obtained are as follows: Effects of pouring temperature on the damping capacities and mechanical properties were investigated in 3.6%C cast iron. At 1400°C, specific damping capacity showed the maximum value, and decreased with increase pouring temperature. Mechanical properties showed opposite trend with the damping capacity. And then, effects of Ni on the damping capacities and mechanical properties have been investigated in 3.6%C gray cast iron. At 0.2%Ni content, specific damping capacity showed the maximum value, and decreased with further increase in Ni content. Graphite length also showed same behavior. This indicates that the specific damping capacity has a close relation with graphite length. In case of Mo addition in 3.6%C-0.2%Ni cast iron, specific damping capacity and tensile strength was 27% and 20 kgf/mm² at 3.6%C-0.2%Ni-0.3%Mo cast iron respectively.

(Received April 27, 2000)

Key words: Specific damping capacity(SDC), Graphite length, Pouring temperature, Mechanical property

1. 서 론

재료연구자들은 기계류, 자동차 및 기타 제품들의 금속부품들에서 발생하는 소음과 진동을 줄이고자 노력해 왔다. 한가지 해결책은 소음과 진동을 최소화하기 위하여 부품제조에 높은 진동감쇠능을 갖는 재료를 적용하는 것이다[1~7].

일반적으로 회주철은 가장 진동감쇠능이 좋은 일반 구조재료 간주되어 왔다[8~11]. 높은 진동감쇠능을 갖는 편상흑연주철은 여러 기계 구조물에서 발생하는 진동과 소음을 줄이는데 사용되어 왔다. 그러나, 흑연의 형상학적 특성으로 생기는 진동감쇠능에 관한 연구가 거의 다루어지지 않은 실정이다. 회주철에서의 내부 진동감쇠기구는 큰 편상흑연입자와 관련이 있는데, 이는 에너지

흡수에 매우 효과적이다.

Fig. 1을 보면, GC15 주철은 뛰어난 진동감쇠능을 갖지만, 인장강도가 상당히 낮다. 그래서, GC15는 거의 사용되지 않는다. 반면에 GC20과 GC25는 적당한 강도를 갖기 때문에 널리 사용되고 있지만, 진동감쇠능이 떨어진다.

본 연구의 목적은 GC20 이상의 인장강도를 갖는 동시에 GC15 정도의 높은 진동감쇠능을 갖는 방진주철을 개발하는 것이다.

따라서, 본 연구진은 전보[12]에 발표하였던 3.9%C 회주철의 연구에 이어 보다 현실적이고 제조가 용이한 주철을 개발하기 위하여 탄소함량을 낮추어 3.6%C 회주철에 대한 연구를 수행하고자 한다. 우선 3.6%C 주철의 진동감쇠능 및 기계적 성질에 미치는 주입온도의 영향을 조사한 후, Ni, Mo 등의 합금원소 첨가에 따른 진동감쇠

능 및 기계적 성질의 변화를 조사하였고, 이에 대한 기저 조직 및 흑연형상의 영향에 관한 연구를 수행하였다.

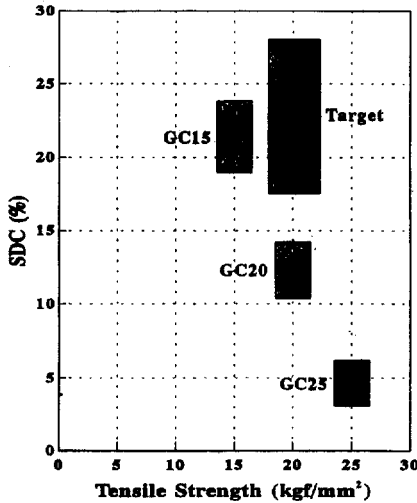


Fig. 1. Comparison of damping capacity and tensile strength in gray cast irons.

2. 실험방법

2.1. 실험순서

본 연구에서의 실험순서는 다음과 같다. 우선 주입은

도에 따른 진동감쇠능을 측정하여, 가장 높은 진동감쇠능을 보이는 주입온도를 결정하였다. 그 다음에 진동감쇠능을 개선시키기 위하여 흑연화 촉진원소인 Ni를 0~1.2wt%로 변화시키며 첨가하여 진동감쇠능이 가장 우수한 조성을 결정하였다. 마지막으로 기계적 성질을 향상시키기 위하여 펄라이트 미세화 원소인 Mo를 0~0.9wt%로 변화시키며 첨가하였다. 이상의 실험을 통하여 본 연구목표에 부합하는 진동감쇠능과 기계적 성질이 모두 우수한 합금계를 개발하였다.

2.2. 용해 및 주조

본 연구에 사용된 회주철의 화학조성을 Table 1에 표시하였다. Ni는 3.6%C 회주철에 0에서 1.2wt%까지 변화시키며 첨가하였고, Mo는 3.6%C-0.2%Ni 회주철에 0에서 0.9wt%까지 첨가하였다.

용해는 고주파 유도용해로를 사용하였으며, 3.6%C 회주철을 용해후 Ni 및 Mo를 첨가하였다. 잉곳트의 형상은 직경 30 mm, 길이 300mm의 환봉으로 주조하였다. 1500°C에서 용해하여 1400°C에서 주입한 후 공냉하였다.

2.3. 실험내용

진동감쇠능은 Fig. 2의 Föpple-Pertz 비틀림 시험장치[13]를 이용하여 비감쇠능(Specific Damping Capacity,

Table 1. Chemical composition of the specimens used

Alloy No.	Chemical Composition (wt%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Fe
T1300	3.61	2.32	0.79	0.032	0.078	-	-	bal.
T1350	3.62	2.43	0.74	0.033	0.079	-	-	bal.
T1400	3.54	2.41	0.71	0.035	0.077	-	-	bal.
T1450	3.56	2.24	0.74	0.033	0.079	-	-	bal.
T1500	3.60	2.36	0.74	0.035	0.078	-	-	bal.
T1550	3.62	2.38	0.81	0.034	0.079	-	-	bal.
Ni0	3.64	2.37	0.73	0.035	0.055	-	-	bal.
Ni1	3.60	2.39	0.74	0.033	0.076	0.10	-	bal.
Ni2	3.63	2.38	0.76	0.033	0.077	0.24	-	bal.
Ni4	3.62	2.36	0.73	0.034	0.080	0.36	-	bal.
Ni6	3.63	2.38	0.75	0.035	0.083	0.58	-	bal.
Ni8	3.64	2.40	0.78	0.035	0.085	0.75	-	bal.
Ni12	3.65	2.40	0.76	0.034	0.082	1.16	-	bal.
Mo0	3.64	2.40	0.76	0.034	0.078	0.26	-	bal.
Mo1	3.60	2.38	0.78	0.036	0.082	0.25	0.11	bal.
Mo3	3.61	2.39	0.77	0.035	0.080	0.24	0.29	bal.
Mo7	3.59	2.41	0.79	0.034	0.079	0.25	0.70	bal.
Mo9	3.62	2.42	0.77	0.034	0.081	0.27	0.91	bal.

SDC)을 계산하였다. 인장시험편은 JIS No.8 C-type으로 가공하였고, SEM 시험편은 4% Nital로 에칭하였다. 흑연편의 길이와 면적률은 SEM으로 관찰한 이미지를 화상분석기를 이용하여 측정하였다.

2.4. 진동감쇠능(SDC) 측정방법[14]

재료의 진동감쇠능은 Fig. 3에 보이는 바와 같이 한 사이클당 손실되는 에너지를 백분율로 나타내는 비감쇠능(SDC)을 이용하여 나타내었다.

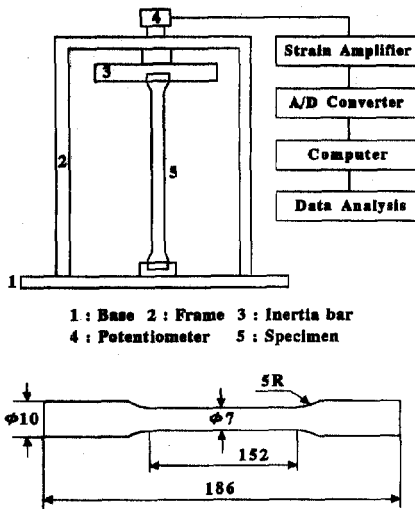
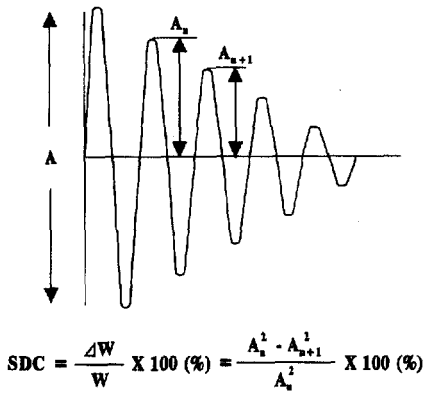


Fig. 2. Schematic diagram of damping measuring apparatus and dimension of its specimen.



W : vibration energy
 ΔW : vibration energy that is dissipated per cycle
 A_n, A_{n+1} : Amplitude of vibration curve

Fig. 3. Calculation of specific damping capacity from free vibrational curve.

진동의 진폭이 감소해 가는 것을 시간의 함수로 나타낸 것으로, Fig. 3의 식과 같이 SDC가 계산된다. 이 관계식을 보면, SDC는 한 사이클당 손실되는 에너지를 백분율로 나타낸 것으로, 변형 에너지가 진폭에 비례한다는 가정에 근거를 두고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 합금설계

일반적으로 주철 중에서 A형의 흑연 형상을 갖는 회주철이 뛰어난 진동감쇠능을 갖고 있다[15~17]. 따라서 본 연구에서는 탄소당량을 4.5%로 고정하고, A형의 흑연의 양을 증가시키기 위하여 Si, Cu, Ni, Al, Ti, Co 등의 흑연화 원소[18]를 첨가하고자 하였다. 이들 원소 중에서 Si가 가장 강력한 흑연화 원소이지만, 탄소당량이 너무 높아지기 때문에 제외시켰다. 또한 Fig. 4[19]를 보면, Ni은 공정온도의 간격을 넓힘으로써 칠 발생을 억제하고, 다른 첨가원소들에 비해 저렴하다. 그래서 Ni을 흑연화 촉진원소로서 선택하였다. 한편, 기계적 성질을 향상시키기 위하여 펄라이트 미세화 원소인 Mo을 첨가하였다.

3.2. 주입온도의 영향

Fig. 5는 3.6% C 회주철의 주입온도 변화에 따른 진동감쇠능의 변화를 보여주고 있다. 진동감쇠능은

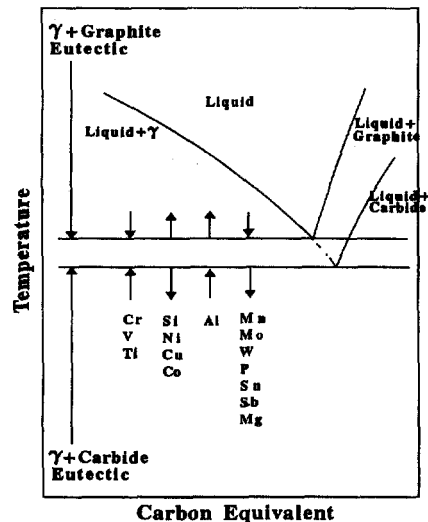


Fig. 4. Effect of alloying elements on eutectic temperature.

1400°C에서 최대값을 보였고, 그 이상의 온도에서는 서서히 감소하였다.

Fig. 6은 3.6%C 주철의 주입온도 변화에 따른 미세 조직의 변화를 보이고 있는데, 1400°C에서 흑연편의 길이가 가장 길었다. 이 사진에서 화상분석기를 이용하여 흑연편의 길이를 측정한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6과 마찬가지로 1400°C에서 흑연편의 길이가 가장 길었고, 그 이상의 주입온도에서는 감소하였다. 이는 1400°C 이하에서는 흑연이 성장하는 시간이 짧았고, 1400°C 이상에서는 흑연의 핵이 과도하게 생성되어 성장이 억제된 것으로 생각된다[20].

주입온도 변화에 따른 흑연편의 길이의 변화는 진동감쇠능의 변화와 매우 비슷한 양상을 보였다. 이는 본 연구에 사용된 회주철의 진동감쇠능이 흑연편의 길이와 매우 밀접한 관계에 있음을 암시한다.

Fig. 8은 주입온도에 따른 인장강도의 변화를 보여주는 데, 진동감쇠능의 경우와 정반대의 경향을 보였다. Fig. 6, 9에서 보인 바와 1400°C 이하에서는 페라이트의 존재와 조대한 펄라이트로 인하여 인장강도가 낮아지고, 1400°C 이상에서는 흑연편 길이의 감소와 펄라이트 미세화에 기인하여 인장강도가 다시 상승한 것으로 생각된다.

Fig. 10은 주입온도에 따른 SDC 및 경도의 변화를 보여주는데, 인장강도와 유사한 양상을 보였다.

3.3. Ni 첨가의 영향

3.6%C 주철에서 Ni 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변

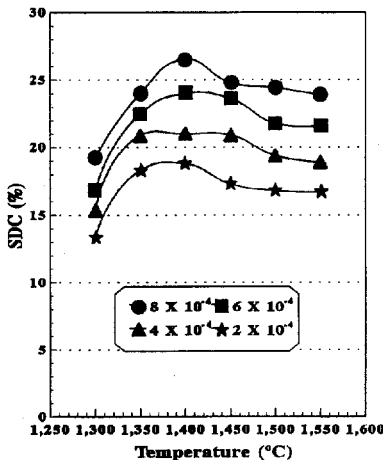


Fig. 5. Variation of damping capacity with pouring temperature in 3.6%C cast iron.

Fig. 6. Variation of graphite morphology with pouring temperature in 3.6%C cast iron.

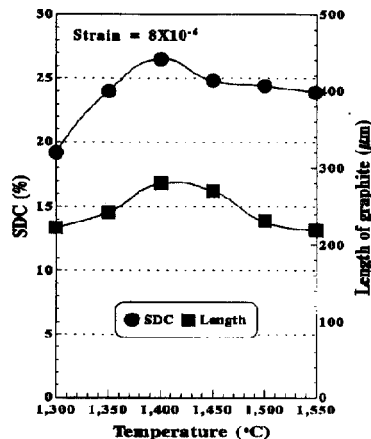


Fig. 7. Variation of graphite length with pouring temperature in 3.6%C cast iron.

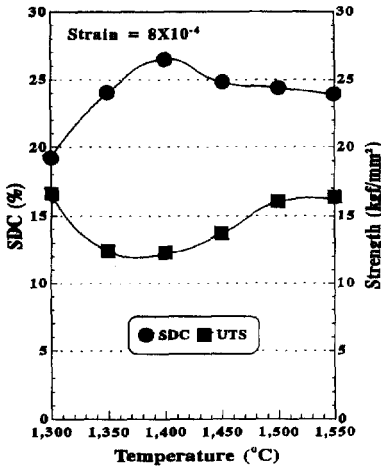


Fig. 8. Variation of tensile strength with pouring temperature in 3.6%C cast iron.

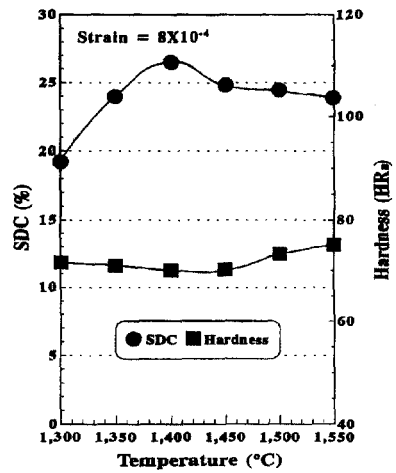


Fig. 10. Variation of hardness with pouring temperature in 3.6%C cast iron.

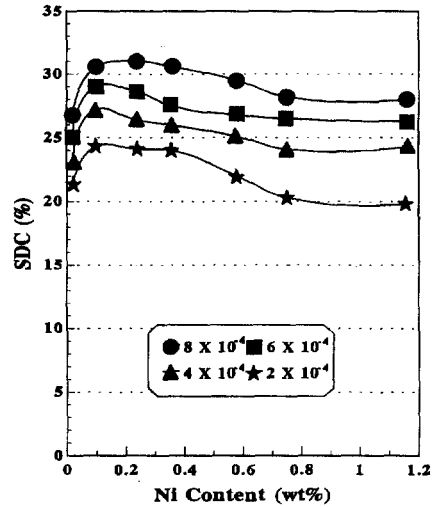


Fig. 11. Variation of damping capacity with Ni content in 3.6%C cast iron.

화를 Fig. 11에 나타내었다. 진동감쇠능은 0.2%Ni를 첨가하였을 때 최대값을 보이다가 그 이상의 첨가 시에는 감소하는 경향을 보였다.

한편 Fig. 12에 나타난 것과 같이 흑연편의 길이는 0.2%Ni 조성에서 가장 길었고 그 이상의 조성에서는 감소하였다. 이는 Ni이 흑연화 촉진원소이기 때문에 0.2%까지는 흑연편의 길이가 성장하다가, 0.2% 이상의 조성에서는 과도한 흑연핵이 생성되어 서로 성장을 방해하였기 때문이라고 생각된다. 즉 흑연편의 길이가 가장 길었을 때 최고의 진동감쇠능을 나타내었다.

Fig. 9. Scanning electron micrographs according to pouring temperature in 3.6%C cast iron.

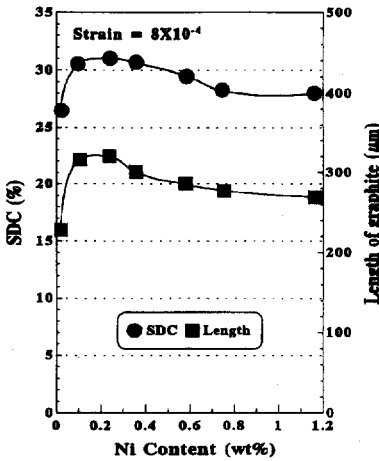


Fig. 12. Variation of graphite length with Ni content in 3.6%C cast iron.

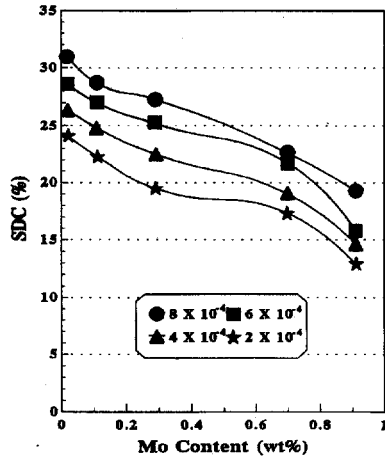


Fig. 14. Variation of damping capacity with Mo content in 3.6%C-0.2%Ni cast iron.

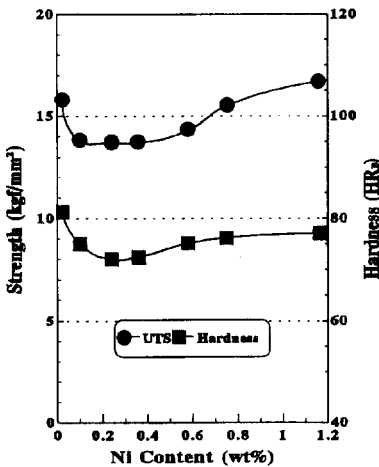


Fig. 13. Variation of mechanical properties with Ni content in 3.6%C cast iron.

Fig. 13은 Ni 함량에 따른 기계적 성질의 변화를 나타내고 있는데, 인장강도와 경도가 변화하는 경향이 Fig. 11의 진동감쇠능의 경우와 반대의 양상을 보였다.

3.4. Mo 첨가의 영향

Fig. 14는 3.6%C-0.2%Ni 주철의 Mo 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변화를 보여주고 있는데, Mo 함량이 증가할수록 진동감쇠능은 감소하는 경향을 보였다. Mo는 펄라이트화 원소로서 탄소가 펄라이트 생성에 소모되기 때문으로 생각된다.

Fig. 15를 보면 흑연편의 길이가 Mo 함량이 증가함

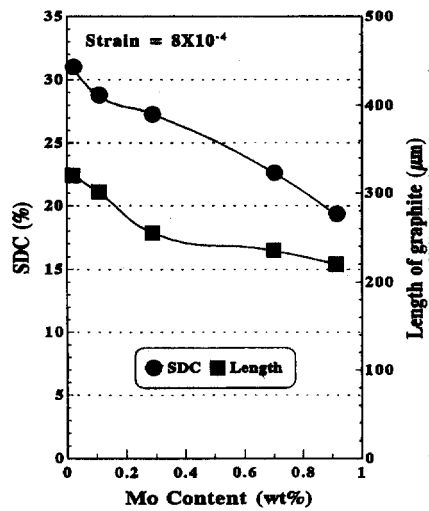


Fig. 15. Variation of graphite length with Mo content in 3.6%C-0.2%Ni cast iron.

에 따라 짧아지고 있다. 즉 흑연편의 길이가 짧아짐에 따라 진동감쇠능도 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 16은 변형량에 따른 진동감쇠능의 변화를 나타내고 있는데, 변형량에 증가함에 따라 진동감쇠능도 증가하였다. 즉 본 연구에 사용된 방진주철은 외부용력의 증가에 따라 이력손실이 커지는 전형적인 이력형 방진합금[21]이라 생각한다.

한편 Mo 함량에 따른 3.6%C-0.2%Ni 주철의 기계적 성질의 변화를 Fig. 17에 나타내었는데, Mo 함량이 증가할수록 인장강도와 경도 모두 증가하였다. Fig. 18,

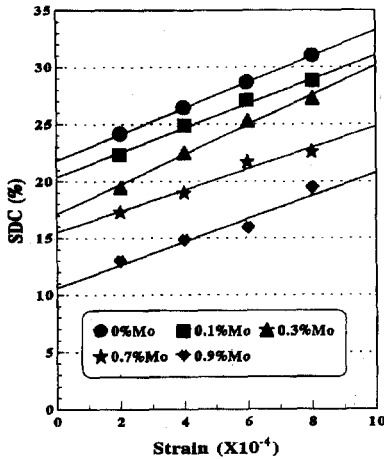


Fig. 16. Variation of damping capacity with strain amplitude in 3.6%C-0.2%Ni-X%Mo cast irons.

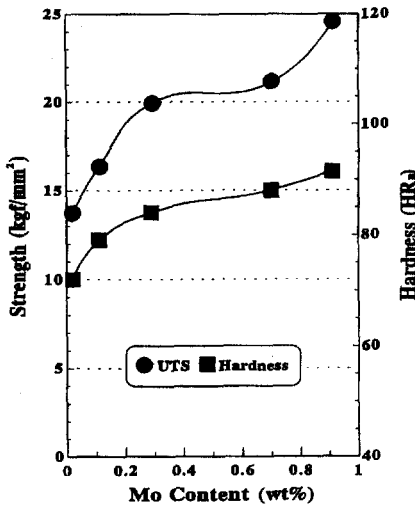


Fig. 17. Variation of mechanical properties with Mo content in 3.6%C-0.2%Ni cast iron.

19에 나타난 것과 같이 흑연편 길이의 감소, 페라이트량의 감소 및 펄라이트 미세화에 기인하여 기계적 성질이 개선되었고, 0.9%Mo에서는 완전한 베이나이트 조직이 생성되어 더욱 개선된 것으로 생각된다.

4. 결 론

3.6%C 주철을 이용하여 주입은도, Ni 및 Mo 첨가량의 변화에 따른 진동감쇠능 및 기계적 성질의 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

Fig. 18. Variation of graphite morphology with Mo content in 3.6%C-0.2%Ni cast iron.

1. 주입은도를 변화시킨 경우, 1400°C에서 흑연편의 길이가 가장 길었기 때문에 진동감쇠능이 최고값을 보였다.
2. Ni를 첨가한 경우, 진동감쇠능은 0.2%Ni에서 최고값을 보이다가 그 이상의 함량에서는 서서히 감소하였다. 반면에, 기계적 성질은 반대의 양상을 보였다.
3. 3.6%C-0.2%Ni에 Mo를 첨가한 경우, Mo 첨가량이 증가할수록 진동감쇠능은 감소하였고, 인장강도는 정반대의 경향을 보였다.
4. 외부응력이 증가할수록 진동감쇠능이 증가하였다. 즉 방진주철이 이력형 방진합금임을 입증하였다.
5. 3.6%C-0.2%Ni-0.3%Mo 방진주철이 본 연구목표에 부응하는 조성으로 결정되었다. 진동감쇠능(SDC)은 27%, 인장강도는 20 kgf/mm²을 나타내었다.

참고문헌

1. 杉本孝一: 鐵と鋼, 14(1974) 127.
2. 川邊尙志, 桑原改造: 日本金屬學會誌, 44(1980) 776.
3. X. W. Wang: Scr. Metall., 23(1989) 507.
4. S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee, M. C. Shin and C. S. Choi: Journal de Physique IV, Vol.5(1995) C8-391.
5. 백승한, 김정철, 지광구, 최종술: 한국열처리공학회지, 8(1995) 113.
6. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술: 한국열처리공학회지, 8(1995) 197.
7. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술: 한국열처리공학회지, 9(1996) 53.
8. B. K. Dhindaw and J. D. Verhoeven: Trans. Jap., 2(1981) 71.
9. C. M. Dunks and K. B. Turner: AFS. Trans., 89(1981) 575.
10. G. F. Sergeant and E. R. Evans: Brit. Found. Soc., (1987) 115.
11. R. D. Adams and M. A. O. Fox: ISIJ, January (1973) 37.
12. 김정철, 손용철, 한동운, 백승한: 한국열처리공학회지, 10(1997) 47.
13. A. W. Cocharde: Trans. AIME, 226(1956) 1295.
14. L. M. Schetky and J. Perkins: Machine Design, April 6(1978) 202~206.
15. K. K. Nakamura: J. of Cast, 58(1986), 12.
16. T. R. Kobayashi: J. of Cast, 58(1986), 4.
17. P. A. Green: AFS. Trans., 79(1971), 569.
18. 최창욱: 한국주조공학회지, 7(1987) 22.
19. 박홍일, 김명호: 한국주조공학회지, 8(1988) 14.
20. 박익민, 정원섭, 최내영: 주철주물의 기초와 실무, 37.
21. D. W. James: Mater. Sci. Eng., 4(1969) 1.

Fig. 19. Scanning electron micrographs of 3.6%C-0.2% Ni-X%Mo cast irons.