

회주철의 진동감쇠능과 기계적 성질에 미치는 오스템퍼링처리의 영향

韓東運 · 金正赫 · 孫龍哲 · 白承翰
 (주)우진 계측기술연구소

Effect of Austempering Treatment on Damping Capacity and Mechanical Properties in Gray Cast Iron

D. W. Han, J. C. Kim, Y. C. Son and S. H. Baik
 Research Institute of Measuring Technology, WOJIN INC., Korea

ABSTRACT Gray cast iron with a high damping capacity has been used for controlling the vibration and noise in various mechanical structures. Nevertheless, its usage has been often restricted due to its poor tensile strength. Therefore, it is necessary to improve tensile strength at the expense of a loss in damping capacity. This study is aimed at finding the best combination of tensile strength and damping capacity by varying austempering time and temperature range from 320°C to 380°C after austenization at 900°C for 1hr. The effect of austempering condition on hardness and the volume fraction of retained austenite is investigated as well.

The results obtained are summarized as follows : (1) With an increase in austempering temperature, both tensile strength and hardness decrease while damping capacity improves. (2) Austempering at 350°C, resulting in a mixture of upper and lower bainite with partially retained austenite, exhibits the optimum combination of tensile strength and damping capacity.

Key words : *Gray cast iron, Austempering, Damping capacity, Tensile strength, Hardness, retained austenite, bainite*

1. 서 론

최근, 소음과 진동에 대한 사회적, 기술적 규제가 엄격해 지고 있기 때문에 고감쇠능을 갖는 재료에 대한 관심이 높아지고 있으며 또한 방진합금에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다¹⁻⁷⁾. 일반적으로 방진합금이라 불리는 것은 내부마찰이 매우 커서 외부로부터 가해진 진동에너지의 대부분을 열로 변화시키는 합금을 말하는 것으로, 흔히 제진합금, 흡진합금 또는 고감쇠능합금 등으로 불려

지고 있다. 이와 같이 진동에너지를 열로 변환시키는 능력을 진동감쇠능이라고 하며, 그 단위로는 비감쇠능(specific damping capacity), 대수감쇠(logarithmic decrement), 내부마찰(internal friction) 등으로 표현하고 있다.

현재까지 여러 가지 방진합금이 개발되어 졌지만 여러 가지 단점을 가지고 있기 때문에 제한적인 경우를 제외하고는 범용재료로 사용되지 못하고 있는 현실이다⁸⁻¹¹⁾. 그러나, 이러한 방진재료중에서 주철, 특히 회주철은 강과 달리 기지에 흑연

이 정출되어 있기 때문에 진동감쇠능이 우수하며, 또한 가격이 저렴하기 때문에 많은 분야에 사용되어 지고 있다. 그러나 회주철은 우수한 진동감쇠능을 갖고 있는 반면에 인장강도가 약하여 그 사용에 많은 제약이 따르고 있다¹²⁻¹⁵⁾. 따라서 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 인장강도와 진동감쇠능을 동시에 향상시키는 연구가 절실한 현실이다.

따라서, 본 연구에서는 이미 보고한 연구결과¹⁶⁾를 기초로 해서 인장강도와 진동감쇠능을 더욱 향상시키고자 오스템퍼링처리를 실시하였으며, 이때 오스템퍼링 처리온도와 유지시간에 따른 진동감쇠능과 인장강도의 상호관계를 조사함과 동시에 최적 열처리 조건을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

용해는 고주파유도로(15kg)를 사용하였으며 용해된 후 용탕을 $\phi 30 \times 300\text{mm}$ 의 시험편에 주입하여 잉곳트를 제조하였다. 성분분석은 잉곳트에서 바로 시료를 채취하여 C/S분석 및 습식분석을 하였으며 조직관찰은 성분분석에 사용한 시험편을 사용하였다. 잉곳트로부터 진동시험편과 인장시험편을 가공한 후 오스템퍼링 온도와 유지시간을 변화시켜 가며 오스템퍼링처리를 행하였다. 그후 얻어진 시험편으로부터 조직관찰, 인장강도, 경도, 잔류오스테나이트량, 진동감쇠능 등을 측정하였다.

본 실험에 사용된 시험편의 성분을 Table 1에 나타내었으며, 오스템퍼링 처리조건은 Fig. 1에 나타내었다. 먼저, 기조직을 완전 오스테나이트화하기 위하여 900°C에서 1시간정도 유지시킨 후 320, 350, 380°C의 질산염계(KNO₃-NaNO₂)염욕에 바로 급냉하여 10, 30, 60, 90분 항온변태후에 공냉을 하였다. 이 때 급냉시 시험편 주위의 온도상승을 방지하기 위하여 교반을 실시하였다. Fig. 2는

시험편의 진동감쇠능을 측정하기 위해서 본 연구실에서 제작한 Föpple-Pertz형 비틀림 진자 시험장치⁶⁾와 시험편의 형상을 나타내었다. 시험편을 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 strain에 따른 진동감쇠능을 측정하였다. 또한 인장시험은 Instron 만능시험기를 사용하였으며, 시험편은 JIS 8호 C형 시험편을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig. 3은 오스템퍼링처리전의 기조직과 흑연조직을 나타낸 것으로 기조직은 펄라이트와 페라이트가 혼재되어 있는 것을 알 수 있으며, 흑연의 형상은 균일한 C형임을 알 수 있다.

Fig. 4의 (a), (b)는 320°C에서 오스템퍼링 처리 후의 유지시간에 따른 기조직의 변화를 보인 것으로, 유지시간이 10분인 경우는 하부베이나이트와 잔류오스테나이트로 구성되어 있음을 알 수 있으

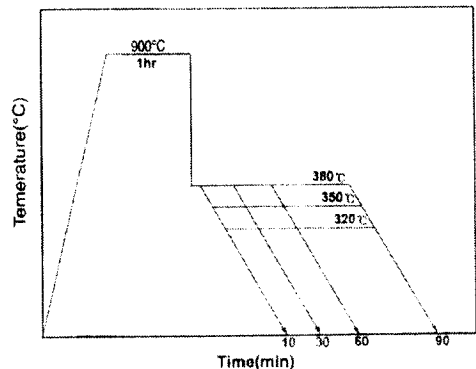


Fig. 1. Heating cycle of austempering treatment.

Table 1. Chemical composition of alloy used.

Chemical composition (wt%)							
C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Fe
3.74	2.18	0.75	0.038	0.08	0.23	0.31	Bal.

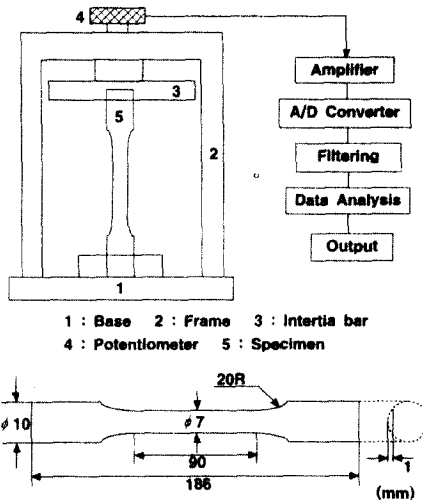


Fig. 2. Schematic diagram of damping capacity measuring instrument and dimensions of specimen.

나, 유지시간이 90분으로 증가함에 따라 잔류오스테나이트가 분해하여 더욱 치밀한 하부베이나이트로 변태하는 것을 알 수 있었다. 또한, Fig. 4의 (c), (d)는 380°C에서 오스템퍼링 처리후의 유지시간에 따른 기지조직을 보인 것인데, 320°C와는 달리 베이나이트 레스(lath)가 크고, 그 간격도 넓은

상부베이나이트가 관찰되었고 잔류오스테나이트량도 증가함을 관찰할 수 있었다.

3.2 인장강도 변화

Fig. 5는 오스템퍼링 처리온도와 유지시간에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 오스템퍼링 처리온도가 낮아질수록 인장강도가 증가함을 알 수 있었는데 이와 같은 인장강도의 변화 원인은 앞의 Fig. 4의 기지조직 사진을 통하여 확인하였듯이 오스템퍼링 처리온도가 낮을 경우에는 경한 하부베이나이트와 적은 양의 잔류오스테나이트가 관찰되어 인장강도가 증가하였고, 오스템퍼링 처리온도가 높아지면 상대적으로 약한 상부베이나이트와 많은 양의 잔류오스테나이트가 관찰되기 때문에 인장강도가 감소하는 것이라 사료된다.

또한, 유지시간이 길어져도 인장강도가 증가하였는데 이것은 베이나이트 변태가 더욱 진전되어 치밀한 조직으로 바뀌었기 때문이라고 사료된다. 그러나 350, 380°C 온도에서 90분 유지한 경우에는 인장강도가 약간 감소하였는데 이것은 베이나이트 변태의 1단계 반응($\gamma_0 \rightarrow \beta\alpha + \gamma_{HC}$)이 종료되고 2단계 반응($\gamma_{HC} \rightarrow \alpha + Fe_3C$)이 일어나 고탄소 잔류오

Fig. 3. Prior microstructures of the specimen.

Fig. 4. Optical micrographs of various austempering treatment conditions.

스테나이트가 페라이트와 탄화물로 분해되기 때문
이라 사료된다^{17~19)}.

3.3 경도변화

Fig. 6은 오스템퍼링 처리온도와 유지시간에 따
른 경도의 변화를 나타낸 것이다. 오스템퍼링 처리
온도에 따라서는 앞의 인장강도의 변화와 마찬가지로
처리온도가 낮을수록 경도가 증가함을 알 수
있었다. 또한, 유지시간에 따른 경도변화는 유지시
간이 10분인 경우, 잔류오스테나이트가 냉각시에
마르텐사이트로 변태되어 경도가 약간 증가하였으

며, 유지시간이 90분인 경우는 베이나이트변태의 2
단계반응이 일어나 경도가 증가한 것으로 사료된다.

3.4 잔류오스테나이트

Fig. 7은 320, 350, 380°C 오스템퍼링 처리온도에
서 30분간 유지한 경우, 잔류오스테나이트량을 측
정한 결과를 보인 것이다.

오스템퍼링 처리온도가 높을수록 γ 피크 (111),
(200)가 증가함을 알 수 있었다. Fig. 8은 앞의 X
선 회절결과를 정량적으로 나타낸 것으로, 오스템
퍼링 처리온도가 높아지면 잔류오스테나이트량이

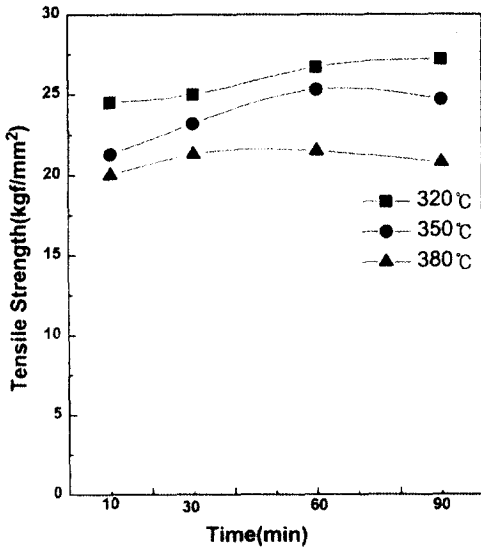


Fig. 5. Variation of tensile strength with austempering temperature and holding time.

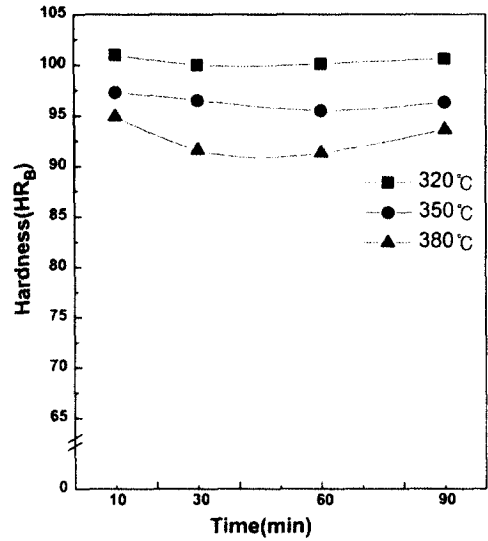


Fig. 6. Variation of hardness with austempering temperature and holding time.

증가함을 알 수 있는데, 이는 앞의 인장강도와 경도의 변화와 반비례함을 알 수 있었으며, 유지시간에 따른 잔류오스테나이트량의 변화는 본 실험의 유지시간내에서는 뚜렷한 경향을 관찰할 수 없었다.

3.5 진동감쇠능 변화

이력형 방진합금²⁰⁾은 외부에서 응력을 가할 때와 응력을 제거할 때의 응력-변형률 곡선의 경도가 서로 다름으로 인해 생기는 감쇠형태이다. 이때 이력손실에 해당하는 만큼의 에너지가 감쇠의 원인이 된다. 이 형태의 진동감쇠능은 주파수와는 무관하며 변형진폭에 크게 의존하는 특징을 가지고 있다. Fig. 9는 350°C에서 각각 10, 30, 60, 90분 오스텸퍼링 처리한 시편의 진폭 변화에 따른 진동감쇠능의 변화를 나타낸 것이다. 진폭이 증가함에 따라 진동감쇠능이 증가함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 주철은 외부응력이 증가함에 따라 이력손실도 증가하는 전형적인 이력형 방진합금임을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 오스텸퍼링 처리온도와 유지시간에 따른 진동감쇠능의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 진동감쇠능과 인장강도는 반비례하는 경향을 가지므로 오스텸퍼링 처리온도 380°C에서 가장 낮은 인장강도를 갖기 때문에 진동감쇠능이 가장 우수할 것으로 생각되지만, 350°C온도에서 오스텸퍼링처리한 경우와 비교해 거의 같은 진동감쇠능을 보임을 알 수 있었다.

일반적으로 회주철의 진동감쇠능에 미치는 인자로 알려진 것으로는 흑연의 형상과 분포, 기지조직에 의한 감쇠, 그리고 흑연과 기지조직의 마찰 등으로 보고되고 있으나, 회주철의 조직과 기구가 복잡하여 아직까지 어느것이 지배적인 인자인지 규명되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 10의 진동감쇠능 변화 원인을 조사하기 위해서, 오스텸퍼링처리 전·후에 동일 위치의 흑연조직을 Fig. 11에 비교해 보았다.

오스텸퍼링처리 전·후에 흑연의 형상과 분포는 거의 변화가 없으므로 흑연의 형상과 분포는 진동감쇠능에 큰 영향을 미치지 못한다고 사료된다.

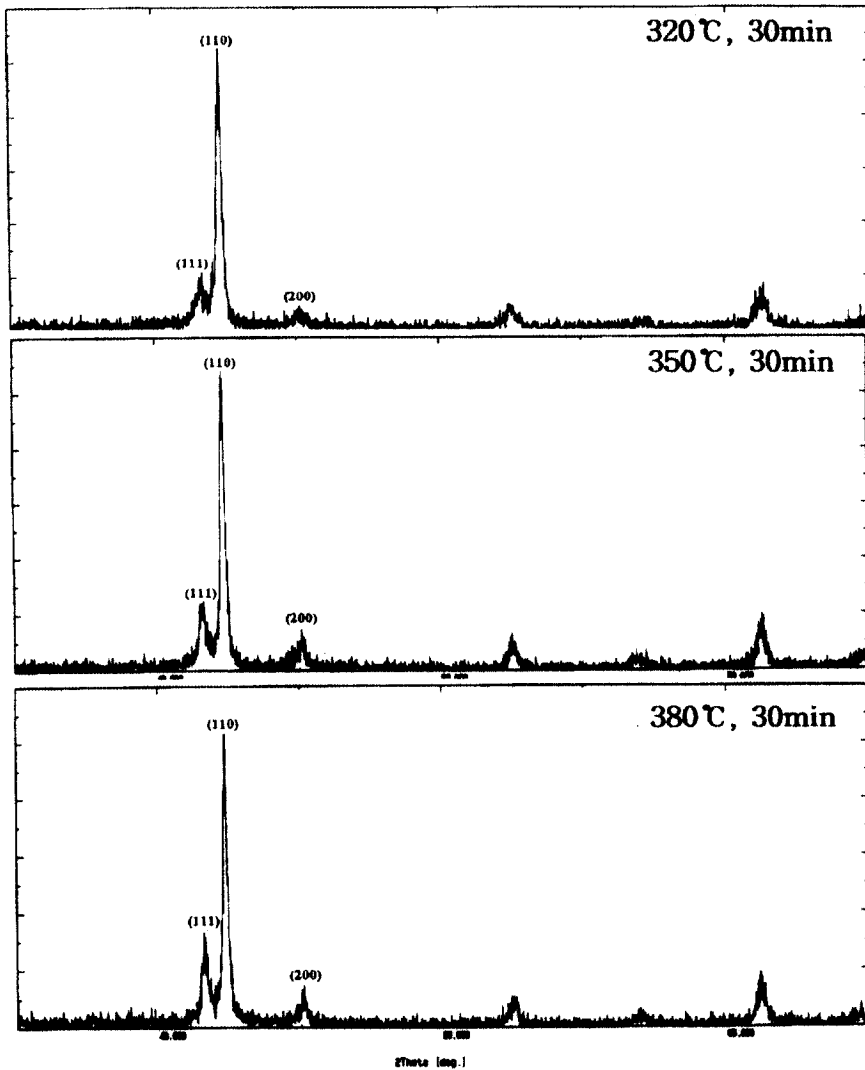


Fig. 7. X-ray diffraction patterns at different austempering conditions.
 (a) 320°C x 30min (b) 350°C x 30min (c) 380°C x 30min

따라서 본 연구에서는 진동감쇠능의 지배 인자가 흑연과 기지조직의 마찰이라 생각되며, 이를 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 기지조직을 관찰한 결과를 Fig. 12에 보였다. 380°C의 기지조직은 상부베이나이트와 잔류오스테나이트로 구성되어 있으나 진동감쇠능이 가장 우수했던 350°C의 기지조직은 상·하부베이나이트와 적당량의 잔류오스테나이트가 혼재하고 있음을 알 수 있으므로, 이

와 같은 복합조직이 흑연과 기지조직의 마찰이 가장 크다고 생각할 수 있다.

따라서 회주철의 진동감쇠능과 인장강도를 동시에 향상시키기 위해서는 오스템퍼링 처리후에 기지조직이 상·하부 베이나이트와 잔류오스테나이트가 혼재하는 350°C부근이 최적의 처리온도임을 알 수 있었다.

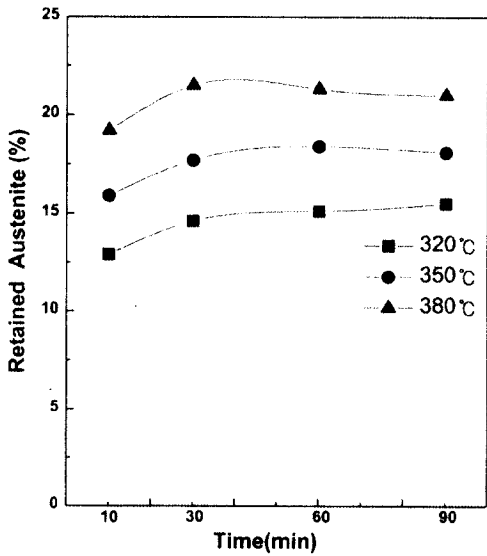


Fig. 8. Variation of the volume fraction of retained austenite with austempering temperature and holding time.

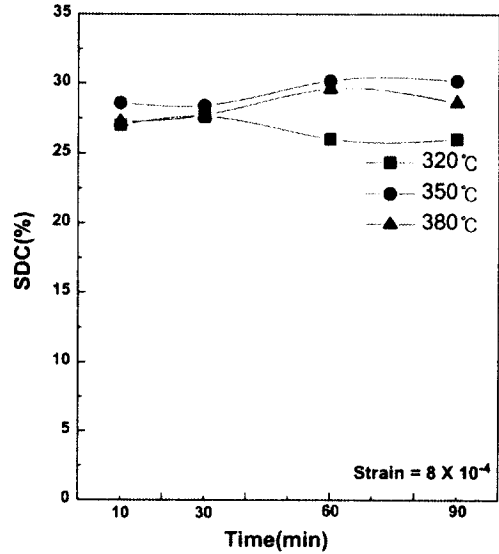


Fig. 10. Variation of SDC with austempering temperature and holding time.

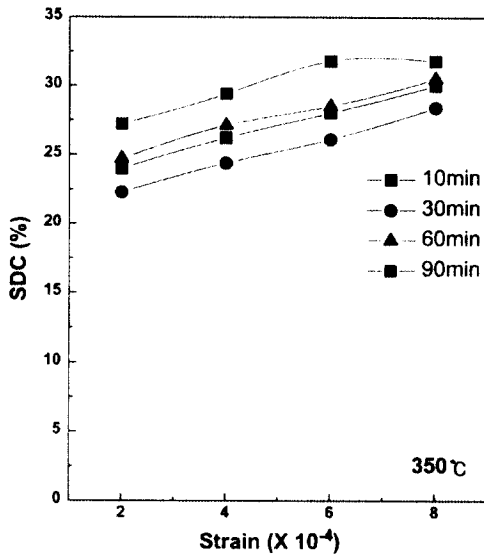


Fig. 9. Variation of SDC with maximum surface strain.

4. 결론

회주철의 진동감쇠능과 기계적 성질에 미치는 오스템퍼링처리의 영향을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 오스템퍼링처리온도가 낮아지면, 높은 인장강도와 경도를 얻을 수 있었으나, 진동감쇠능은 감소하였다.

2) 오스템퍼링처리 후에 기지조직은 배이나이트 조직으로 변화하였으며 특히, 350°C의 경우 상·하부배이나이트와 잔류오스테나이트를 갖는 복합조직이 관찰되었다.

3) 오스템퍼링처리를 통해 회주철의 진동감쇠능과 인장강도를 동시에 향상시키기 위해서는, 기지조직이 상·하부배이나이트와 잔류오스테나이트가 혼재하여, 흑연과 기지조직의 마찰이 증가하는 350°C부근이 최적의 열처리온도라 생각된다.

Fig. 11. The change of graphite morphology with austempering treatment conditions.

2. 杉本孝一 : 鐵と鋼, 14 (1974) 127.
3. 川邊尚志, 繁原改造 : 日本金屬學會誌, 44 (1980) 776.
4. X. W. Wang : Scripta Metallurgica, 23 (1989) 507.
5. 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, 5 (1995) C8-391.
6. 백승한, 김정철, 지광구, 최종술 : 열처리공학회지, 8 (1995) 113.
7. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술 : 열처리공학회지, 8 (1995) 197.
8. E. Plenard : Modern Casting, 41 (1963) 144.
9. I. G. Ritchie and Z. L. Pan : Metall. Trans., A22 (1991) 607.
10. W. Patterson, H. Supmann and F. W. Haptvogel : Gisserei 17 (1965) 151.
11. B. V. Kovac : AFS Trans., 85 (1977) 113.
12. 栗熊 勉 : 鑄造工學, 68 (1996) 1069.
13. 松井啓, 松野亮, 木津文生, 高橋睦, 菅野秀雄 : 日本金屬學會誌, 40 (1976) 1062.
14. M. A. O. Fox and R. D. Adams : Journal of Mechanical Engineering Science, 15 (1973) 81.
15. R. D. Adams and M. A. O. Fox : Journal of the Iron and steel Institute, 211 (1973) 37.
16. 김정철, 손용철, 한동운, 백승한 : 열처리공학회지, 10 (1997) 47.
17. P. A. Blackmore and R. A. Harding : ASM Trans., 3 (1984) 310.
18. B. Kovacs : 2nd International Conference on ADI, Univ. of Michigan, Rackham school (1986) 291.
19. J. F. Janowak and R. B. Gundlach : AFS Trans., 83 (1975) 377.
20. D. W. James : Mater. Sci. Eng., 4 (1969) 1.

Fig. 12. SEM micrographs of the austempered specimens.

참고문헌

1. R. D. Adams : Journal of Sound and Vibration, 23 (1972) 199.