

오스템퍼링 처리한 구상흑연주철의 기계적 성질 및 감쇠능에 미치는 Cu의 영향

Effect of Cu on the mechanical properties and damping capacity of austempered ductile cast iron

이광희 · 강창룡

K. H. Lee and C. Y. Kang

Key Words : Austempered Ductile Cast Iron(오스템퍼드 구상흑연주철), Damping Capacity(감쇠능), Retained Austenite(잔류오스테나이트), Austempering(오스템퍼링)

Abstract : This study was investigated to know the effect of Cu addition on austempered ductile cast iron at various temperatures and times. Test results showed that the volume fraction of retained austenite and the carbon contents of retained austenite showed the greatest value at 400°C. Also, in case of specimens having more Cu contents, the volume fraction of retained austenite and the carbon contents of retained austenite showed the lower value. After austempering treatment, tensile strength and impact value increased, but elongation decreased. With increasing austempering treatment temperature, tensile strength, elongation, and impact value decreased. In case of specimen having more Cu contents, tensile strength showed the higher value, but elongation showed the lower value. Damping capacity was decreased by austempering treatment and was not affected on austempering temperature and time. In case of specimen having more Cu contents, damping capacity showed the higher value.

1. 서 론

구상흑연주철을 오스템퍼링 처리하여 제조하는 오스템퍼드 구상흑연주철(austempered ductile cast iron)은 베이나이트 조직 외 비교적 많은 량의 잔류 오스테나이트 조직으로 되어 있다. 때문에 단조 강에 필적할만한 높은 강도와 우수한 인성을 지니고 있을 뿐만 아니라 복잡한 형상의 부품도 제조가 가능하여 조질강 및 단조강의 대체 재료로서 크랭크 샤프트 등과 같은 자동차 부품 및 건설 산업기기 등에도 폭넓게 사용되고 있다¹⁻³⁾.

오스템퍼드 구상흑연주철은 베이나이트 조직 외 많은 잔류오스테나이트 조직을 갖기 때문에 기계적 성질 및 감쇠능은 베이나이트 조직뿐만 아니라 잔류오스테나이트 조직에도 영향을 받게된다⁴⁾. 또한 베이나이트 및 잔류오스테나이트 조직은 오스템퍼

링 처리 조건뿐만 아니라⁵⁾, 첨가되는 합금 원소에 따라서도 달라질 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 점들을 규명하기 위하여 Cu함량이 다른 구상흑연주철을 만든 후 오스템퍼링 처리조건을 달리하여 미세조직을 변화시킨 다음 기계적 성질 및 감쇠능에 미치는 오스템퍼링 처리 및 Cu의 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료 및 열처리

시료는 큐폴라에서 용해 후 Y형 블록(KSD4302-A호)에 주입하여 제작하였다. 이때 얻어진 두 시료 모두 93% 이상의 구상화율을 나타내었으며 최종 시료의 화학조성과 조직분석 결과를 각각 Table 1 과 2에 나타내었다. 또한 시료의 열처리는 880°C로 유지된 염욕에서 1시간 오스테나이트화 처리 한 다음 350~550°C사이로 유지된 염욕 중에 투입하였고 최대 2시간까지 유지시간을 달리하는 오스템퍼링 처리 후 공랭하였다.

접수일 : 2008년 3월 25일, 채택확정 : 2008년 6월 21일
강창룡(책임저자) : 부경대학교 신소재공학부
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346
이광희 : 부경대학교 대학원

Table 1 Chemical composition of specimens (wt.%)

Spec.	Fe	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu
A	Bal.	3.4	2.5	0.21	0.01	0.01	0.05	0.15
B	Bal.	3.6	2.6	0.23	0.02	0.01	0.04	0.56

Table 2 Microstructure analysis of ductile cast iron

Spec.	Ferrite(%)	Perlite(%)	Graphite(%)	Mean diameter of graphite module(μm)
A	67.9	22.2	9.8	17.8
B	44.2	44.3	11.5	21.5

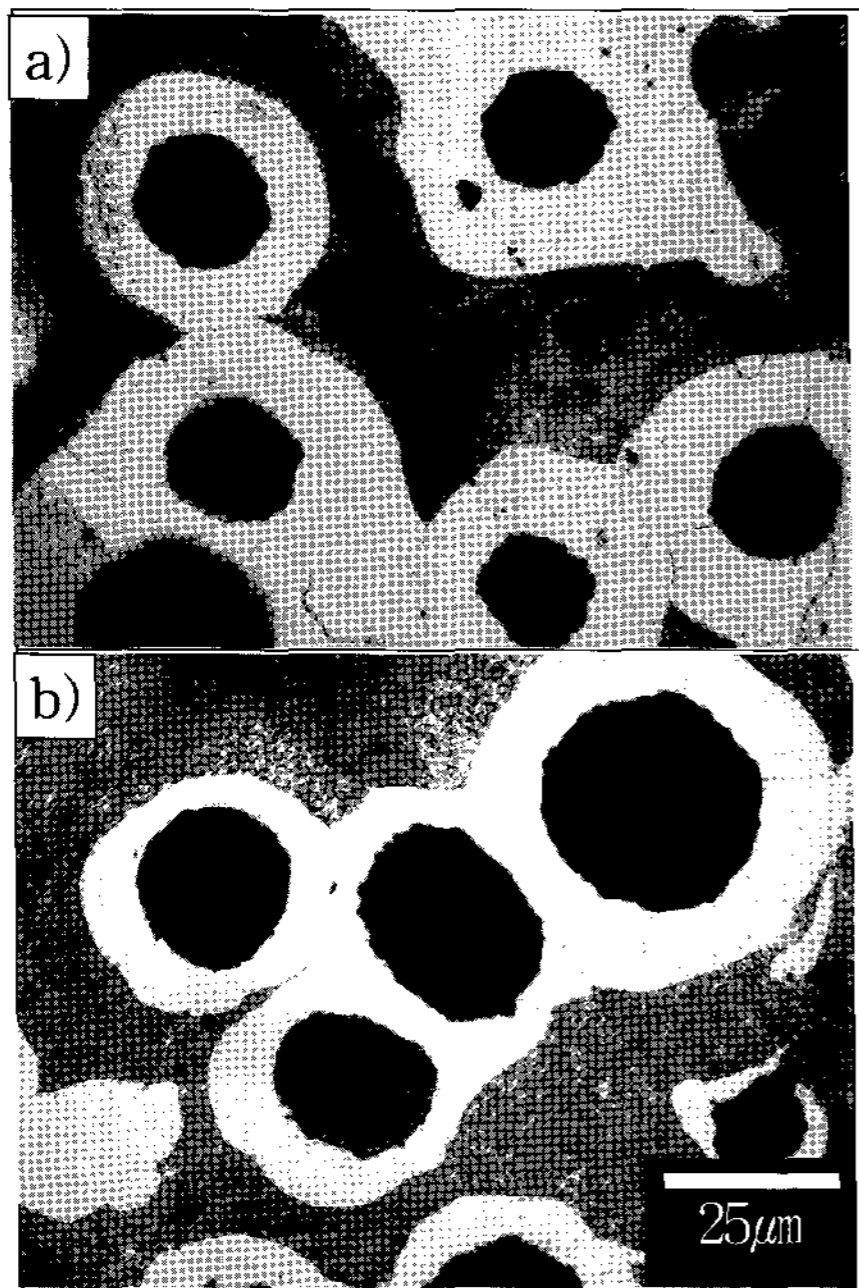


Photo. 1 Optical micrographs of ductile cast iron
a) A specimen, b) B specimen

2.2 미세조직의 정성 및 정량 분석

주조 상태 조직과 오스테퍼링 처리에 따른 미세조직을 광학 현미경에 의해 관찰하였고 각상의 체적 분율은 화상분석시험기를 사용하여 구하였다. 또한 오스테퍼링 처리한 시료에 존재하고 있는 잔류 오스테나이트 량과 잔류오스테나이트 조직 내 존재하는 탄소량은 X-선(Co-K α) 회절실험에서 얻은 회절선도로부터 구하였다⁶⁾.

2.3 기계적 성질 측정

Cu함량이 다른 주방 상태의 시료와 오스테퍼링 처리한 시료의 인장시험은 cross head speed를

1mm/min으로 하여 상온에서 시험 하였다. 충격시험은 2mm V 노치를 갖는 샤르피 충격 시험편을 제작한 다음 오스테퍼링 처리 후 상온(20°C)에서 실시 하였다.

2.4 감쇠능 측정

진동감쇠능 측정은 1.0×10×120mm(두께×폭×길이) 크기로 시편을 제작한 다음 오스테퍼링 처리후 횡형 내부 마찰 측정 장치(Internal Friction Measurement Machine : 진공이화학, IFT-1500)를 이용하여 대수감쇠율을 측정하였다. 이 방법은 진동을 가하는 전극과 진동을 검출하는 전극 위에 시료를 2개의 평행한 세선으로 전극에 접촉되지 않게 배열한 다음 진동을 가하는 전극으로 강제 진동시킨 후 자유 감쇠시켜 감쇠할 때까지의 파수를 측정하여 대수감쇠율($\delta=1/n \ln A_0/A_n$, n : 파수, A_0 : 최초파의 진폭, A_n : n번째 파의 진폭)을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Photo. 1은 Cu함량이 다른 두 구상흑연주철의 주방 상태 조직을 광학 현미경에 의해 나타낸 것이다. 두 시료 모두 페르라이트와 페라이트 조직에 구상의 흑연이 존재하고 있고, 흑연이 93%이상 구상화 되어있는 구상 흑연 주철의 전형적인 황소 눈(Bull's eyes)조직임을 알 수 있다. 또한 Cu 함량이 많은 시료가 페라이트 조직의 량은 적고, 페르라이트 조직의 량은 많으며 흑연의 직경이 크고 량도 많은 것을 알 수 있다.

Photo. 2는 Cu함량의 차이와 오스테퍼링 온도 차이에 따른 조직변화를 알아보기 위하여 Cu함량이 다른 두 시료를 880°C에서 1시간 오스테나이트화 처리 후 우수한 기계적 특성을 나타낼 것으로 예상되는 350, 400, 450°C에서 오스테퍼링 처리 하였을 때의 미세조직을 광학 현미경으로 나타낸 것이다.

두 시료 모두 오스테퍼링 처리에 의해 기지 조직이 베이나이트 조직으로 변태되어 있음을 알 수 있으나 Cu함량의 차이 및 오스테퍼링 처리온도 차이에 따른 큰 조직변화는 알 수 없다.

Photo. 3은 주방 상태의 두 시료를 880°C 에서 1시간 오스테나이트화 처리 후 400°C에서 30, 60, 120min으로 시간을 달리하는 오스테퍼링 처리 하였을 때의 미세조직을 조사하여 나타낸 것이다.

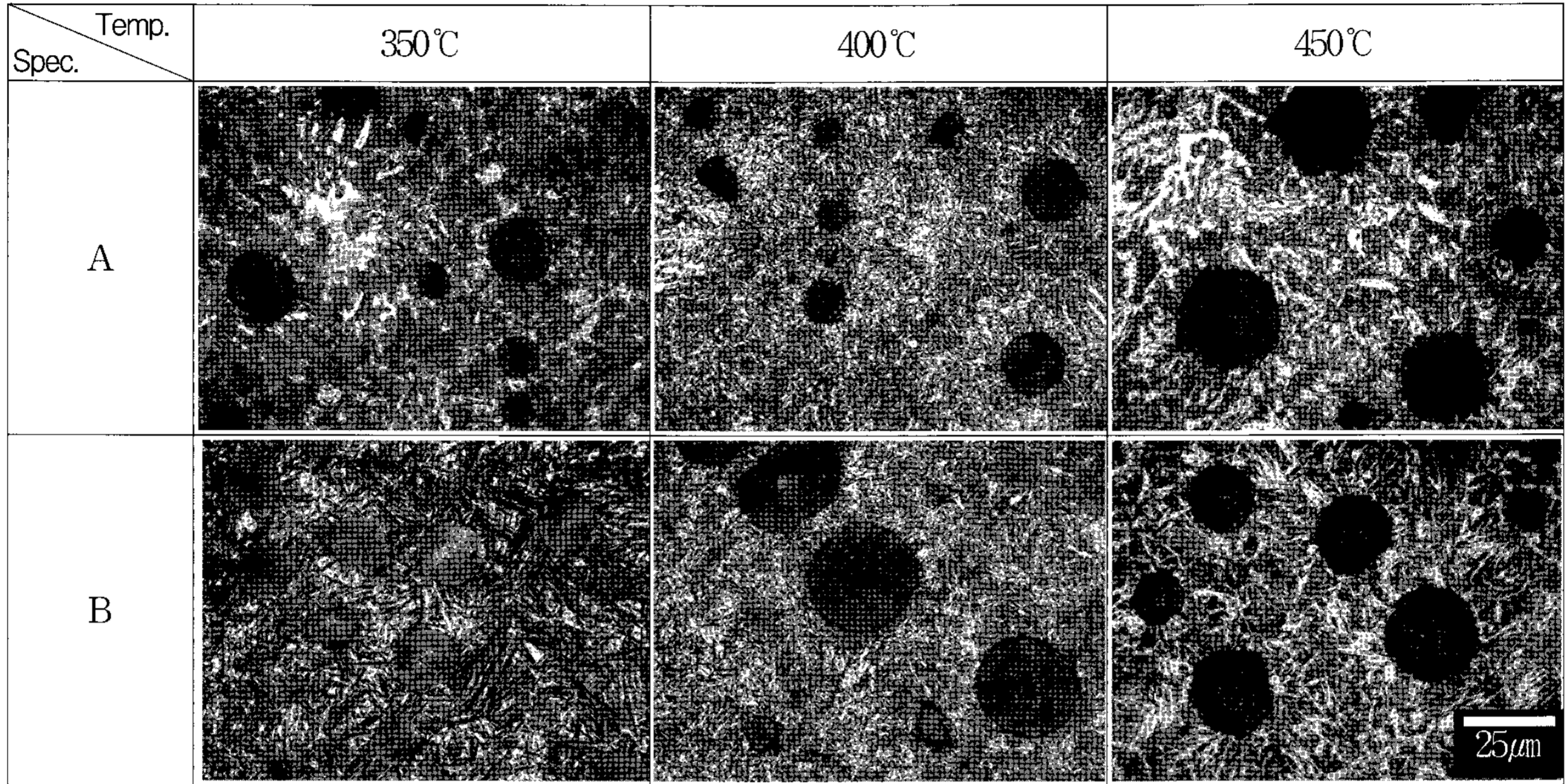


Photo. 2 Optical micrographs obtained by austempering treatment at various temperatures of ductile cast iron

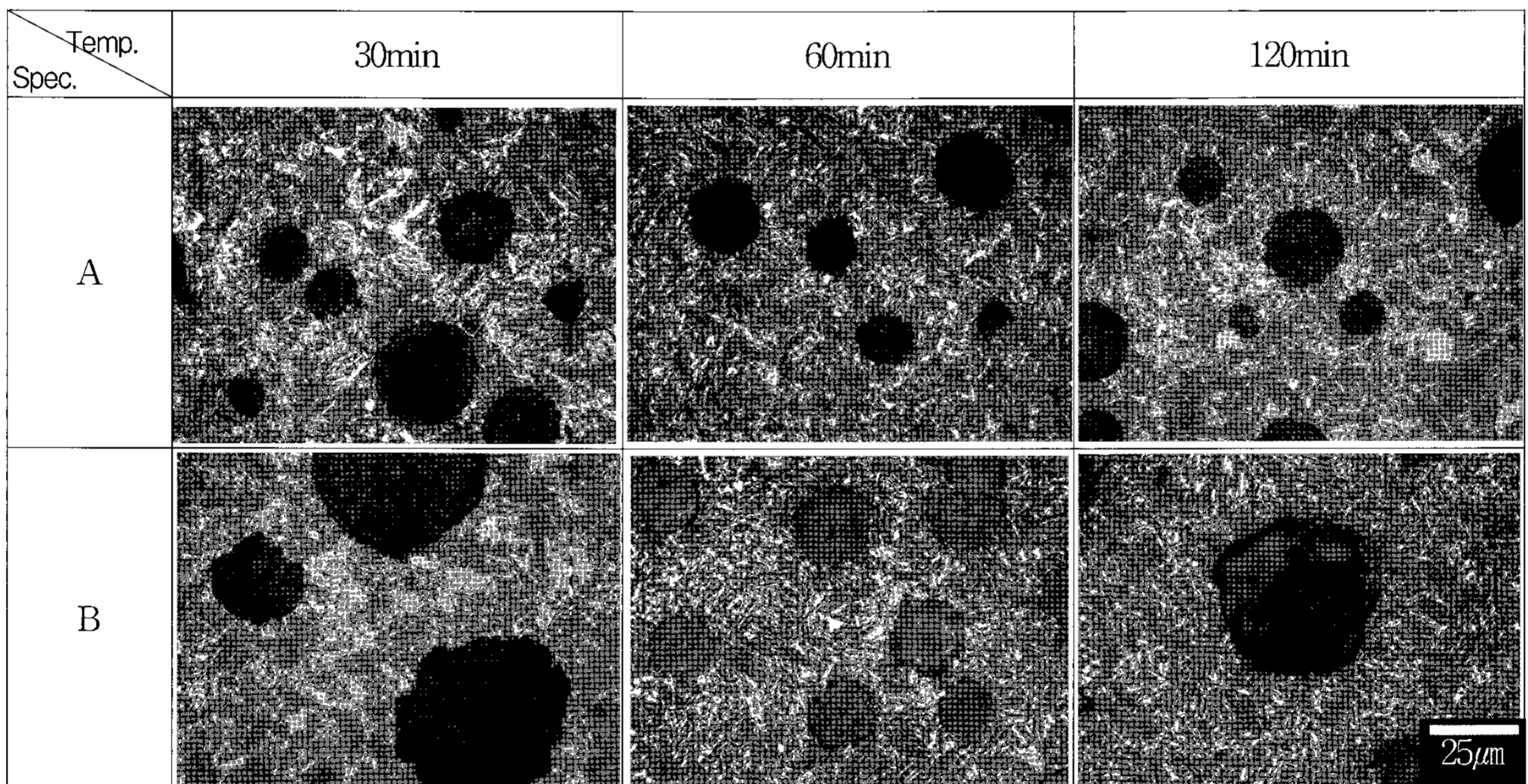


Photo. 3 Optical micrographs obtained by the effect of austempering time on the ductile cast iron

모든 오스테퍼링 처리 시간에서 동일하게 베이나이트 조직으로 변태되어 있음을 알 수 있지만, 오스테퍼링 처리 시간 변화 및 Cu 함량 차이에 따른 조직 변화는 광학 현미경으로는 알 수 없다.

이상의 결과로부터 주방상태에서는 Cu함량 차이에 따른 미세조직의 차이는 알 수 있지만, 오스테퍼링 처리에 의해 기지 조직이 베이나이트 조직과 잔류오스테나이트 조직으로 바뀌어지면 Cu함량의 차이뿐만 아니라 오스테퍼링 처리조건 변화에 따른 조직의 변화도 알 수 없다.

3.2 잔류오스테나이트 및 잔류오스테나이트 내 탄소 농도에 미치는 오스테퍼링 처리의 영향

Fig. 1은 오스테퍼링 처리 온도변화에 따른 잔류오스테나이트 량 및 잔류오스테나이트 내 탄소농도 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 두 시료 모두 400°C에서 오스테퍼링 처리 하였을 때 잔류오스테나이트의 량과 잔류오스테나이트 내 탄소 농도가 가장 높게 나타났다.

이와 같이 오스테퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질 및 감쇠능에 영향을 미치는 잔류오스테나이트의

량이 400°C에서 가장 많은 이유는 400°C에서 오스템퍼링 처리한 경우가 잔류오스테나이트 내 탄소 농도가 가장 높는데 기인되어 잔류오스테나이트의 안정도가 높아지게 된다. 따라서 템퍼링 처리 후 냉각 시 다른 조직으로 변태가 잘 일어나지 않기 때문이라 생각된다. 한편 Cu의 첨가량이 많은 시료가 잔류오스테나이트의 량 뿐만 아니라 잔류오스테나이트 내 탄소농도도 낮게 나타났다.

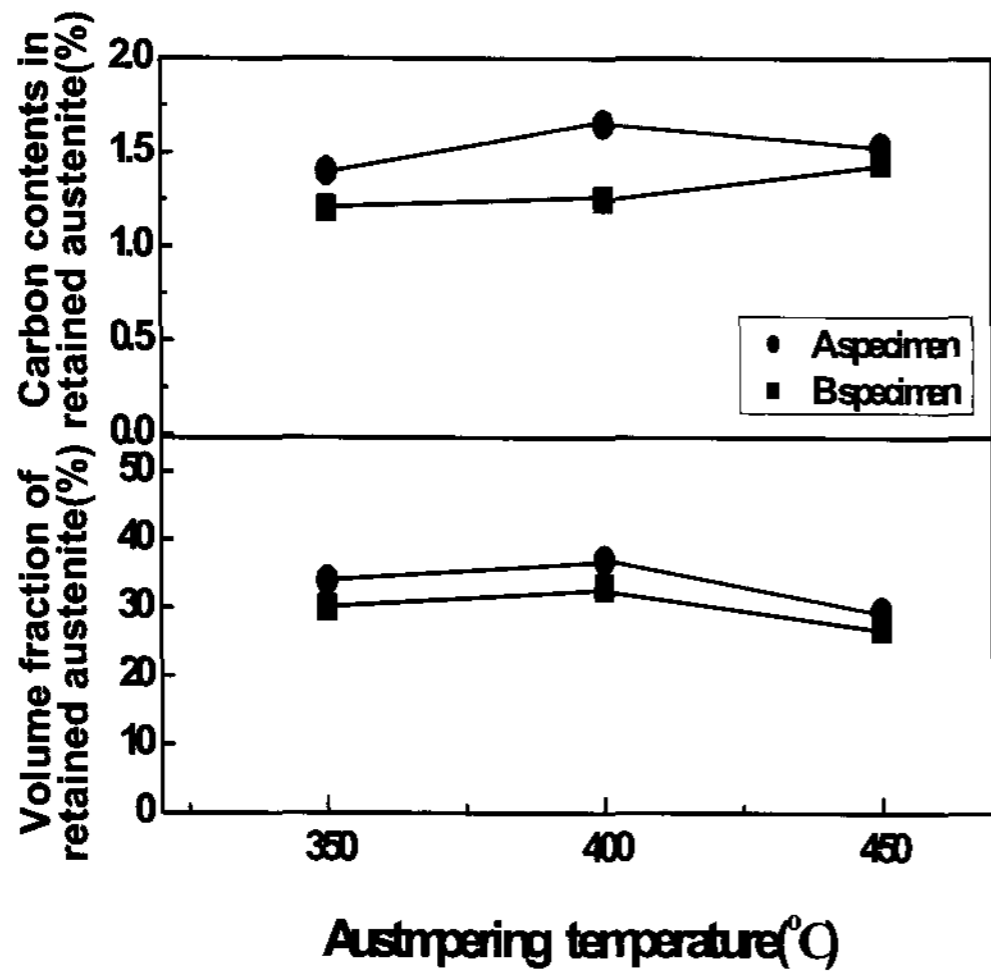


Fig. 1 Effect of austempering temperature on the carbon contents in retained austenite and volume fraction of retained austenite in austempered ductile cast iron

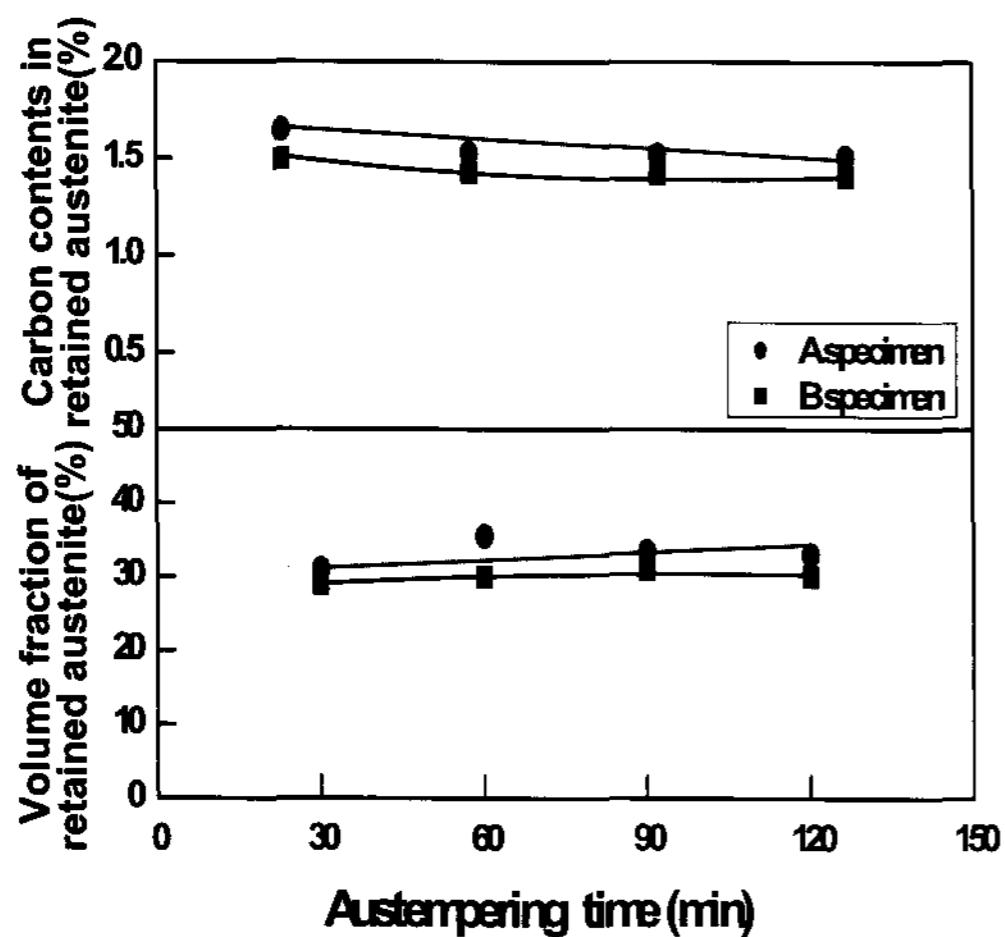


Fig. 2 Effect of austempering time on the carbon contents in retained austenite and volume fraction of retained austenite in austempered ductile cast iron

Fig. 2는 잔류오스테나이트 량 및 잔류오스테나이트

트 내 탄소 농도에 미치는 오스템퍼링 처리 시간의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 두 시료 모두 오스템퍼링 처리 시간이 길어짐에 따라 잔류오스테나이트의 량과 잔류오스테나이트 내 탄소 농도는 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

3.3 기계적 성질에 미치는 오스템퍼링 처리의 영향

Fig. 3은 두 시료의 인장성질에 미치는 오스템퍼링 처리 온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 주방상태의 시료를 오스템퍼링 처리 하게 되면 기지조직인 펄라이트 및 페라이트 조직이 베이나이트 조직으로 변태되는데 기인되어 인장강도는 증가하고 연신율은 낮아지고 있음을 알 수 있다. 또한 오스템퍼링 처리 온도가 증가함에 따라 인장강도는 서서히 낮아지는 데 반하여, 연신율은 400°C까지는 큰 변화가 없다가 그 이상의 온도가 되면 낮아지고 있음을 알 수 있다.

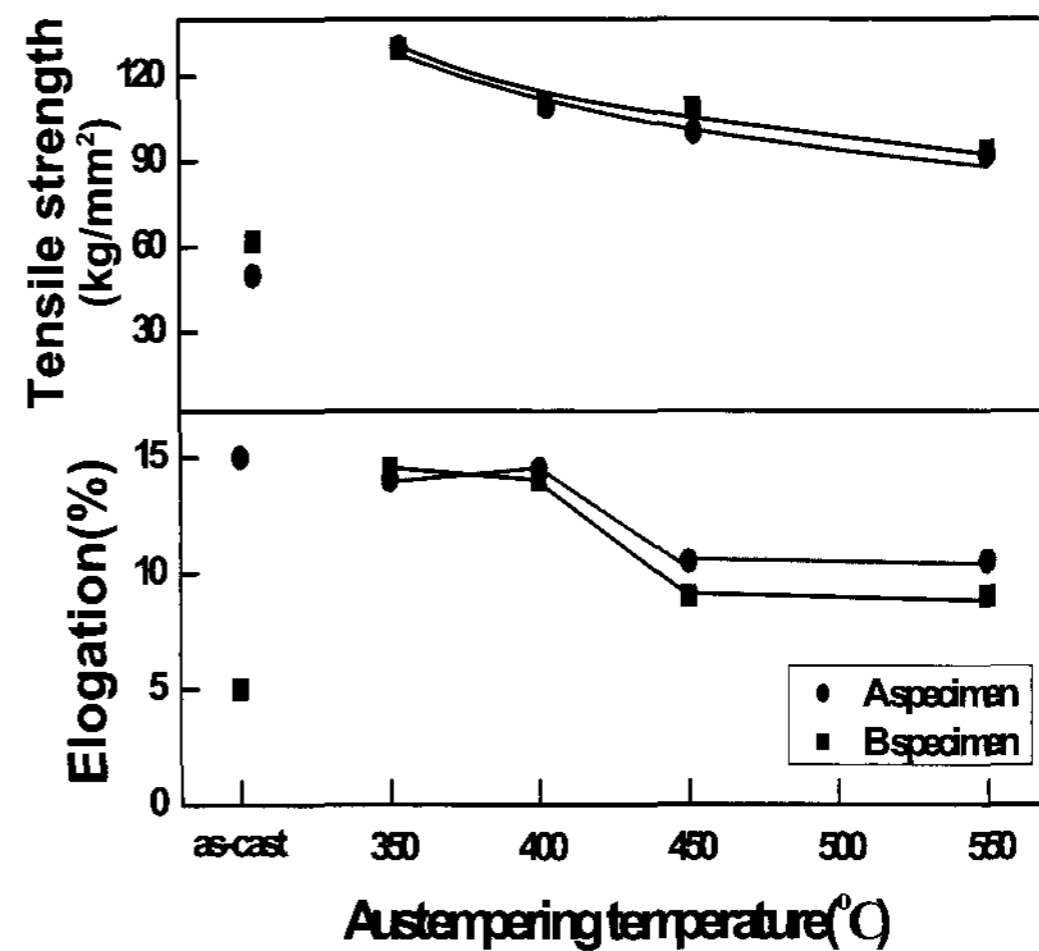


Fig. 3 Effect of austempering temperature on tensile and elongation properties of austempered ductile cast iron

오스템퍼링 처리 온도가 증가함에 따라 강도가 낮아지는 이유는 온도가 증가하면 오스템퍼링 처리 시 생성되는 베이나이트 조직이 하부 베이나이트 조직에서 상부 베이나이트 조직도 일부 생성되기 때문이라 판단된다⁵⁾. 이에 반하여 연신율이 큰 변화가 없다가 400°C 이상의 온도에서 낮아지는 이유는 오스템퍼링 처리 온도가 높아짐에 따라 상부 베이나이트 조직이 생성되기 시작하지만 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 400°C에서는 잔류오스테나이트

의 량이 많은데 기인되어 연신율이 감소하지 않지만 450°C 이상이 되면 상부 베이나이트가 생성되는데 기인되어 낮아진다고 생각된다. 한편 Cu가 첨가된 량이 많은 시료가 Cu의 고용강화 및 잔류오스테나이트 량이 적는데 기인되어 인장강도는 약간 높고 연신율은 약간 낮게 나타났다⁵⁾.

Fig. 4는 오스템퍼링 처리 온도 변화에 따른 충격 성질 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리하게 되면 충격값은 크게 증가하고, 오스템퍼링 처리 온도가 증가함에 따라 충격 성질 또한 연신율과 마찬가지로 400°C까지는 큰 변화가 없다가 400°C 이상이 되면 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 구상 흑연 주철을 오스템퍼링 처리 하게 되면 기지 조직은 강인한 베이나이트 조직으로 변태되지만 많은 량의 잔류오스테나이트가 생성되기 때문에 충격값은 높아진다고 생각된다.

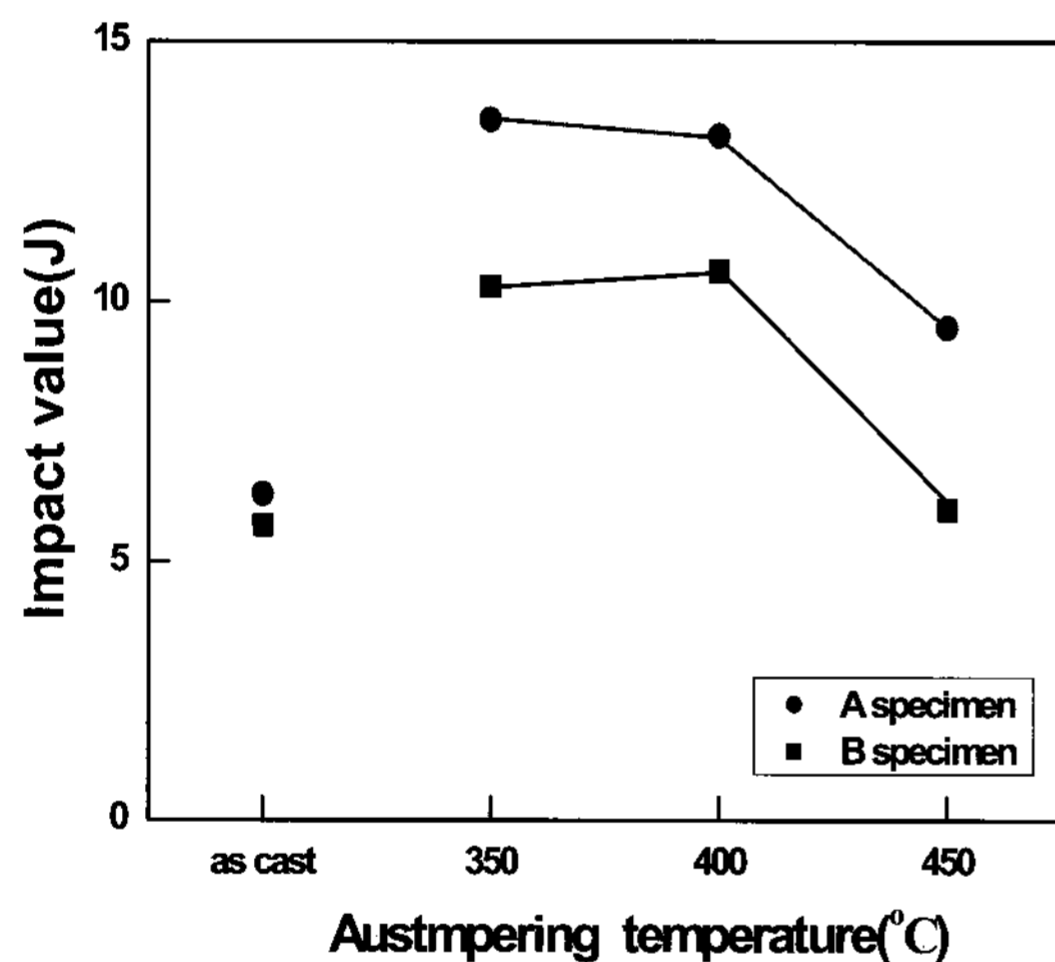


Fig. 4 Effect of austempering temperature on the impact value in ductile cast iron

오스템퍼링 처리 온도가 증가하면 충격값이 낮아지는 것은 상부 베이나이트 조직이 생성되기 시작 하는데 기인되어 충격값이 낮아지는 것으로 생각되며 400°C까지 충격값이 낮아지지 않는 이유는 400°C에서는 잔류오스테나이트 조직이 많이 생성되기 때문이라 생각된다. 한편 첨가된 Cu가 많은 시료가 충격값이 낮게 나타났다. 이와 같은 이유는 Table. 2 및 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 페라이트의 량은 적고 퍼얼라이트의 량이 많으며 또한 오스템퍼링 처리 시 생성되는 잔류 오스테나이트의 량도 적을 뿐만아니라 Cu의 고용강화 효과에 기인되기 때문이라 생각된다.

3.4. 감쇠능에 미치는 오스템퍼링 처리의 영향

Fig. 5는 두 시료의 감쇠능에 미치는 오스템퍼링 처리 온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 주방 상태의 시료를 오스템퍼링 처리하게 되면 두 시료 모두 감쇠능이 크게 감소하고 있다. 또한 오스템퍼링 처리 온도가 증가함에도 불구하고 감쇠능은 큰 변화 없이 비슷한 값을 나타내고 있다.

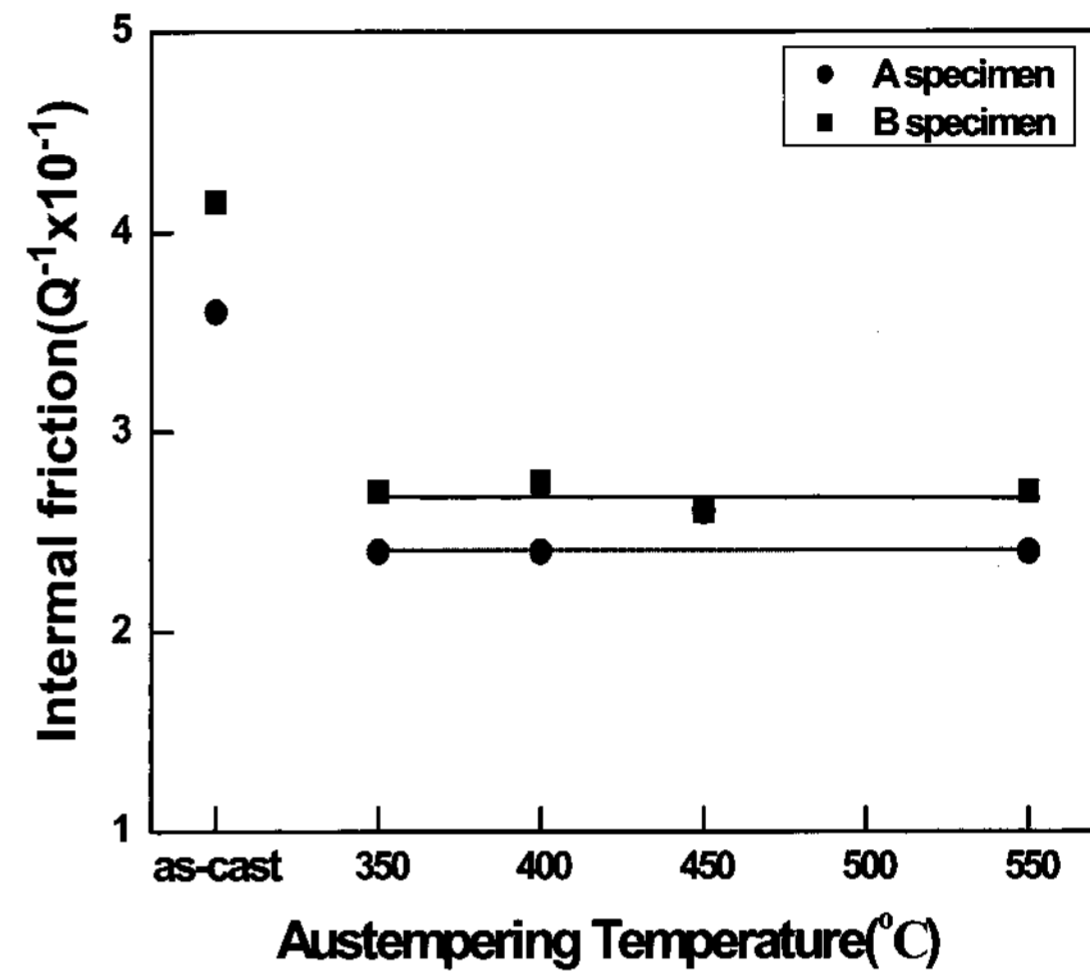


Fig. 5 Effect of austempering temperature on the damping capacity in austempered ductile cast iron

구상흑연주철이 오스템퍼링 처리에 의해 감쇠능이 낮아지는 이유는 구상흑연주철의 감쇠 기구는 주로 흑연과 페라이트 조직의 계면에서 일어나는 소성 및 소성 유동에 의해 진동에너지가 소모되는데 기인된다고 알려져 있다⁷⁾. 그러나 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리를 하면 흑연 주위 페라이트 조직이 강한 베이나이트 조직으로 변태되어 흑연과 베이나이트 조직의 계면에서 소성유동이 일어나기 어렵게 되어 감쇠능은 크게 낮아진다고 생각된다. 한편 오스템퍼트 구상 흑연 주철은 잔류오스테나이트 조직을 가지고 있기 때문에 잔류오스테나이트 조직 내에 존재하는 쌍정 경계가 진동 에너지에 의해 이동하는 기구 등에 의해 진동 에너지를 소모함으로써 감쇠능이 증가 할 것으로 예상된다.

때문에 오스템퍼링 처리온도가 변화되면 잔류오스테나이트 조직의 량이 변화되는데 기인되어 감쇠능도 변화 되어야 하지만 오스템퍼링 처리온도가 변화되어도 감쇠능은 크게 변화되지 않고 있다. 이 같은 이유는 일반적으로 쌍정이 감쇠능에 영향을 미치는 경우는 마르텐사이트 변태 시 수반되는 미

세한 변태 쌍정의 경우에 국한된다고 알려져 있다⁸⁾.

따라서 본 실험의 경우는 어닐링쌍정이기 때문에 잔류 오스테나이트의 량은 변화되어도 감쇠능은 크게 변화되지 않는다고 판단된다. 한편 Cu가 많이 첨가된 시료의 경우가 오스테퍼링 처리온도에 관계 없이 감쇠능은 약간 높게 나타났다.

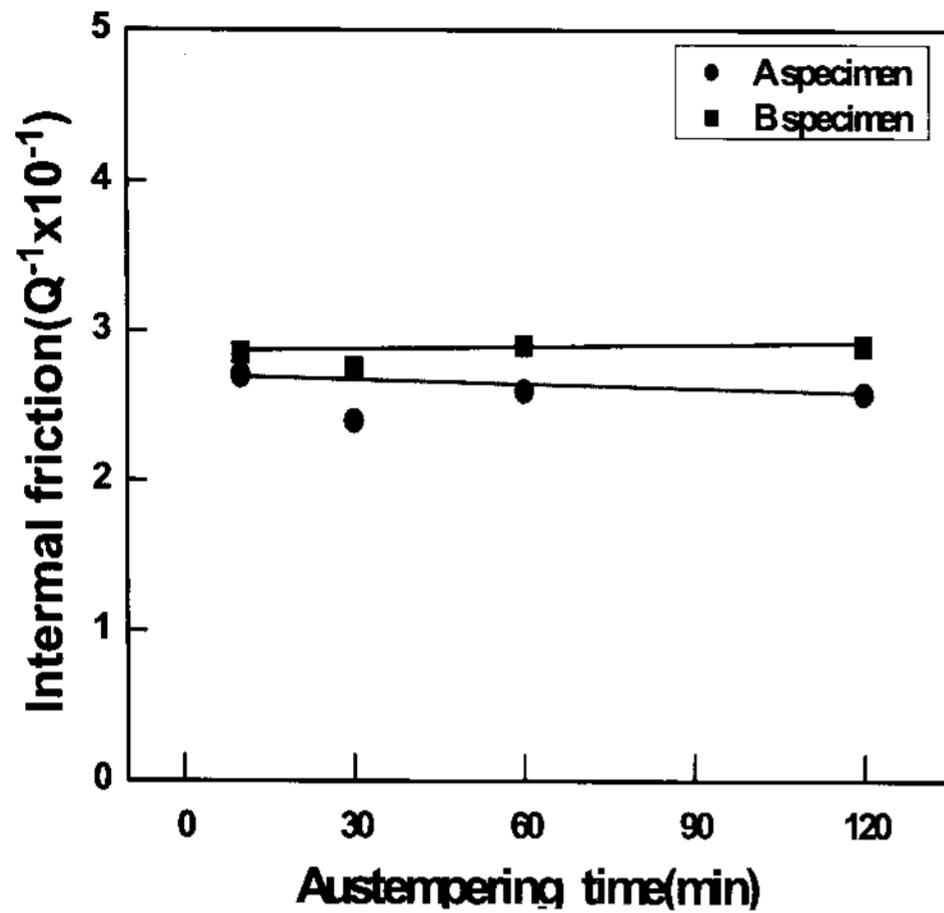


Fig. 6 Effect of austempering time on the damping capacity in austempered ductile cast iron

Fig. 6은 감쇠능에 미치는 오스테퍼링 처리시간의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 오스테퍼링 처리시간이 길어짐에 따라 감쇠능은 큰 변화 없음을 알 수 있다. 이와 같은 이유 역시 오스테퍼링 처리에 의해 기지조직이 강한 베이나이트 조직으로 변태되기 때문에 구상흑연과 베이나이트 조직의 계면에서 소성유동이 일어나기 어렵기 때문에 감쇠능은 큰 변화가 없다고 생각된다. 한편 Cu가 많이 첨가된 시료의 경우가 오스테퍼링처리 시간에 관계없이 감쇠능은 약간 높게 나타났다.

4. 결 론

Cu의 함량이 다른 구상흑연주철을 오스테퍼링 처리 한 다음 오스테퍼링 처리에 따른 기계적 성질 및 감쇠능 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 잔류오스테나이트 및 잔류오스테나이트 내 탄소 농도는 오스테퍼링 처리온도가 400℃일 때 가장 높게 나타났다. 또한 Cu의 첨가량이 많은 시료가 잔류오스테나이트의 량 및 잔류 오스테나이트 내탄소 농도는 낮다.

2. 구상흑연 주철을 오스테퍼링 처리하면 인장강도, 연신율, 충격값은 증가하였다. 또한 오스테퍼링 처리온도가 높아질수록 인장강도, 연신율 및 충격값은 감소하였다.

3. 감쇠능은 오스테퍼링 처리에 의해 낮아지지만, 오스테퍼링 처리온도 및 시간에 크게 영향을 받지 않았다.

4. Cu 첨가량이 많은 시료가 강도 및 감쇠능은 높고 연신율과 충격값은 낮게 나타났다.

참고 문헌

1. 日本鑄物協會, 1993, 研究報告63"球狀黑鉛鑄鐵高性能高機能化に開發研究".
2. H. Mayer and B. Barbezat, 1986, "Austempered Ductile Iron ", 2nd Int. Conf., 99.
3. S. L. Choi, K. H. Yun, W. J. Moon, C. Y. Kang, H. G. Kim, 1998, "ADI의 조직특성에 미치는 2단 오스테나이트화 처리조건의 영향", J. of the Korean Society for Heat Treatment. V. 11, No. 1, pp. 46~53.
4. C. Y. Kang, W. J. Moon, J. H. Seng, 1997, "Retained Austenite Formation and Tensile Properties in Fe-Si-Mn-P Steel", J. Kor. Inst. & Mater. V. 35, No. 3, p. 10.
5. C. Y. Kang, 2003, "Effect of Cu on the Mechanical properties of Subzero treatment Austempered Ductile Cast Iron", J. Kor. Inst & Mater. V. 41, No. 1, pp. 8~12.
6. K. K. Jee, J. H. Han and W. Y. Jang, 2004, "Measurement of volume fraction of ε martensite in Fe-Mn based alloys", Materials Science and Engineering A 378, pp. 319~322.
7. S. Koichi, 1974, "Recent Advances in High Damping Alloys", 鐵と鋼 第60年 第14号, pp. 127~144.
8. J. H. Jun, Y. K. Lee and C. S. Choi, "Fe-(17~23)%Mn 마르텐사이트 합금의 진동감쇠능에 관한 연구", J. Kor. Inst & Mater. V. 34, No. 11, pp. 1399~1406.