

오스템퍼드 구상흑연주철의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 서브제로처리의 영향

Effect of Subzero Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Cast Iron

이광희 · 강창룡

K. H. Lee and C. Y. Kang

Key Words : Austempered Ductile Cast Iron(오스템퍼드 구상흑연주철), Subzero Treatment(서브제로처리), Retained Austenite(잔류 오스테나이트)

Abstract : This study was investigated the effect of subzero treatment in austempered ductile cast iron. Retained austenite transformed to martensite by subzero treatment and strain. With decreasing subzero treatment temperature and increasing strain, retained austenite transformed more to martensite and transformed 30% above by subzero treatment at -196°C . With decreasing subzero treatment temperature, the value of strength and ratio of increasing of strength, hardness and ratio of increasing of hardness increased but the value of elongation and ratio of decreasing of elongation decreased. With decreasing subzero treatment temperature, impact value and ratio of decreasing of impact value decreased. In case of subzero treatment at -196°C , hardness value increased about 18% and impact value decreased above 20%. We could find that in subzero treated specimens had a little of effect on the tensile properties but had very much effect on the hardness and value of the impact.

1. 서 론

오스템퍼드 구상흑연주철(austempered ductile cast iron)은 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리하여 제조하기 때문에 기지조직인 베이나이트조직외 비교적 많은 량의 잔류 오스테나이트 조직을 지니고 있다. 따라서 단조강에 필적할만한 높은 강도와 우수한 인성을 지니고 있고, 복잡한 형상의 부품도 제조가 용이하여 자동차 부품 및 산업기기 부품 등에 폭넓게 사용되고 있다^{1,2)}.

여러분야에 폭 넓게 사용되고 있는 오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질은 오스템퍼링 처리 시 생성되는 베이나이트 조직에 의해 크게 지배를 받게 되지만, 오스템퍼드 구상흑연주철 내 존재하고 있는 잔류 오스테나이트 조직은 인장, 압연 등과 같은 변형에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태될 뿐

만 아니라 Ms 점 이하의 온도로 냉각을 하면 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문에^{3, 4)} 잔류 오스테나이트 조직의 체적분율 및 안정성 등에도 큰 영향을 받게 된다³⁾. 때문에 오스템퍼드 구상흑연 주철을 보다 다양한 분야에 폭넓게 사용하기 위해서는 이에 대한 정성 및 정량적인 자료가 필요하다.

따라서 본 연구는 이러한 점들을 규명하기 위해 구상흑연주철을 사용하여 오스템퍼링 처리에 의해 오스템퍼드 구상흑연주철을 만든 다음, 심랭 처리하여 심랭 처리 조건 변화에 따른 미세조직과 기계적 성질변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료 및 열처리

본 연구에서 사용된 시료는 용선로에서 용해 후 Y형 블록(KSD4302A호)에 주입하여 제작하였다. 이때 얻어진 시료는 93% 이상의 구상화율을 나타내었고, 이 시료의 화학조성은 Table 1에, 조직의 분석 결과를 Table 2에 나타내었다.

접수일 : 2007년 9월 11일, 채택확정 : 2007년 10월 9일
강창룡(책임저자) : 부경대학교 신소재공학부
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-620-1479
이광희 : 부경대학교 신소재공학부

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

Table 2 Microstructure analysis of ductile cast iron for as cast

Spec.	Struc.	Ferrite(%)	Perlite(%)	Graphite(%)	Mean diameter of graphite module(μm)
A		67.9	22.2	9.8	17.8

시료의 열처리는 880°C로 유지된 염욕에서 1시간 오스테나이트화 후 즉시 400°C로 유지된 염욕 중에 투입하여 30분 오스템퍼링 처리를 한 다음 공랭 하였다.

한편 심랭처리는 오스템퍼링 처리한 시료 중 일부를 메칠 알콜, 드라이아이스 및 액체 질소를 단독 또는 혼합하여 조절한 -40°C, -70°C 및 -196°C의 온도로 유지된 매체에서 30분 유지하였다.

2.2 미세조직의 정성 및 정량 분석

구상흑연주철의 주조 조직과, 오스템퍼링 처리 및 심랭 처리한 시료의 미세조직을 광학 현미경에 의해 관찰하였고, 흑연의 체적분율은 화상분석시험기를 사용하여 측정하였다. 또한, 오스템퍼링 처리한 시료의 잔류오스테나이트 량과 심랭 처리한 시료의 마르텐사이트의 량은 Co-K α 선을 이용한 X-선 회절 실험에서 얻은 회절 선도로부터 구하였다⁵⁾.

2.3 기계적 성질 측정

주방 상태의 시료와 오스템퍼링처리 및 심랭처리한 시료의 인장시험은 cross head speed를 1mm/min 으로 정하여 상온에서 실시 하였다. 경도 시험은 로크웰 경도 시험기를 사용하여 1kg의 하중으로 5회 이상 측정한 다음 평균하여 구하였다. 충격시험은 2mm V 노치를 갖는 샤르피 충격 시험편을 제작한 다음 오스템퍼링 처리와 심랭처리를 한 다음 상온에서 실시하였다

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 구상흑연주철의 주방 상태 조직을 광학 현미경으로 조사하여 나타난 것이다. 주방 상태에서는 펄라이트와 페라이트 조직에 구상의 흑연이 존재하고 있는 황소 눈(Bull's eyes) 조직을 나타내고

있다.

Fig. 2는 Fig. 1의 조직을 갖는 시료를 880°C에서 1시간 오스테나이트화 처리 후 400°C에서 오스템퍼링 처리하였을 때 얻은 미세조직을 광학 현미경에 의해 나타난 것이다. 오스템퍼링 처리에 의해 기지 조직이 베이나이트 조직으로 변태 되어 있음을 알 수 있다.

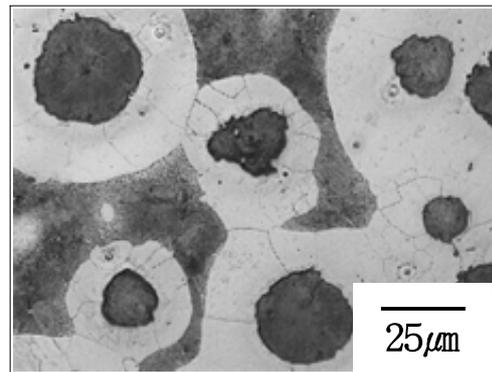


Fig. 1 Optical micrograph of ductile cast iron

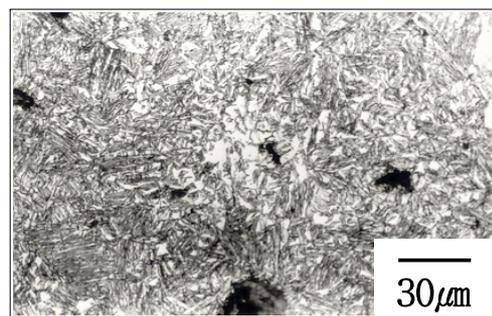


Fig. 2 Optical micrograph showing the effect of austempering at 400°C after austenitizing

Fig. 3은 800°C에서 오스테나이트화 처리 후 400°C에서 오스템퍼링 처리 한 다음 -196°C에서 30분 심랭처리 하였을 때의 미세 조직을 광학 현미경으로 나타난 것이다. 오스템퍼링 처리 후 심랭 처리

하게 되면 오스템퍼링 처리 시 생성된 잔류 오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되지만⁶⁾, 광학 현미경 조직 상 마르텐사이트 조직을 확인 할 수는 없고, 오스템퍼링 처리한 조직과 유사한 조직을 나타내고 있다.

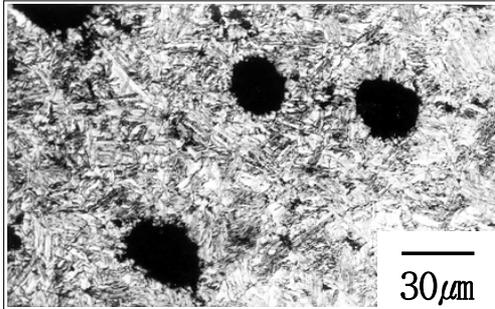


Fig. 3 Optical micrograph showing the effect of subzero treatment at -196°C

3.2 미세조직에 미치는 오스템퍼링처리의 영향

Fig. 4는 오스템퍼드 구상흑연주철의 잔류 오스테나이트조직 내 존재하는 탄소농도와 잔류 오스테나이트의 체적분율에 미치는 오스템퍼링 처리 온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다.

오스템퍼링처리 한 시료 내 존재하는 잔류 오스테나이트 조직의 체적분율 및 잔류 오스테나이트 내 존재하는 탄소의 양은 400°C에서 오스템퍼링처리 한 시료가 가장 높게 나타났다. 이와 같은 이유는 400°C에서 오스템퍼링 처리한 시료가 오스테나

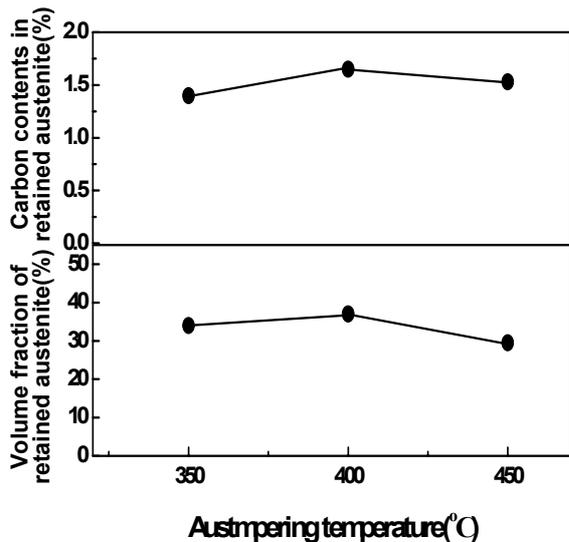


Fig. 4 Effect of austempering temperature on the carbon contents in retained austenite and volume fraction of retained austenite in ductile cast iron

이트 내 존재하는 탄소의 양이 가장 많은데 기인되어 오스테나이트의 안정도가 높아지기 때문이라 생각된다.

Fig. 5는 오스템퍼드 구상흑연주철의 잔류 오스테나이트조직내 존재하는 탄소농도와 잔류 오스테나이트의 체적분율에 미치는 오스템퍼링처리 시간의 영향을 조사하여 나타낸 것이다.

오스템퍼링처리 시간이 길어짐에 따라 잔류 오스테나이트 조직내 탄소농도와 잔류 오스테나이트의 체적분율이 빠른 속도로 증가하다 1200초 이상이 되면 큰 변화가 없는 비슷한 값을 나타내고 있다.

이상의 결과로부터 오스템퍼드 구상흑연주철 내 존재하는 잔류 오스테나이트의 체적분율은 잔류 오스테나이트조직내 존재하는 탄소농도에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

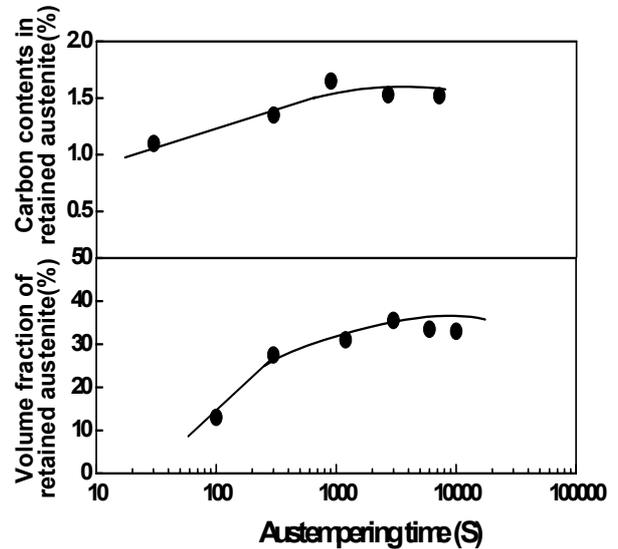


Fig. 5 Effect of austempering time on the carbon contents in retained austenite and volume fraction of retained austenite in austempered ductile cast iron

3.3 미세조직에 미치는 심랭처리 및 변형의 영향

Fig. 6은 오스템퍼드 구상흑연주철 내 존재하는 잔류 오스테나이트 조직이 심랭처리에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태하는 정도를 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로 처리에 의해 잔류 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되고 있고, 서브제로처리 온도가 낮아질수록 마르텐사이트 조직이 많이 생성되고⁴⁾, 한편 서브제로 처리 온도가 -40°C에서는 잔류 오스테나이트의 약 13%정도가 마르텐사이트 조직으로 변태되지만, -196°C에서는 30% 이상이 마르텐사이트 조직으로 변태되었다.

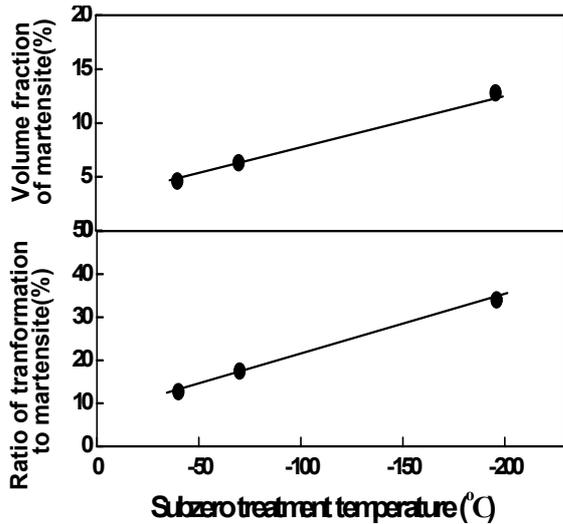


Fig. 6 Effect of subzero treatment on the volume fraction of martensite and ratio of transformation to martensite in austempered ductile cast iron

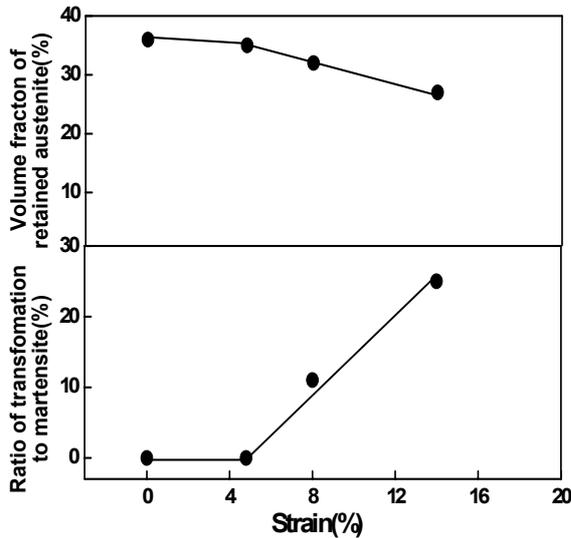


Fig. 7 Effect of strain on the ratio of transformation to martensite and volume fraction of retained austenite in austempered ductile cast iron

오스템퍼드 구상흑연주철내 존재하는 잔류 오스테나이트 조직은 인장, 압연 등과 같은 변형에 의해서도 마르텐사이트로 변태하고, 이러한 변태 거동은 기계적 성질에도 큰 영향을 미치게 된다고 알려져 있다³⁾. 따라서 본 연구에서도 잔류 오스테나이트 조직이 변형에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태되는 거동을 조사하였고, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 변형량이 증가함에 따라 잔류 오스테나이트의 체적분율이 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 변형에 의해 잔류 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되는 정도는 변형초기에는 서서히 변태되지만,

변형량이 5%를 넘어서게 되면 빠른 속도로 변태되고 시료가 파단 될 때까지 약 25% 정도의 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되었다.

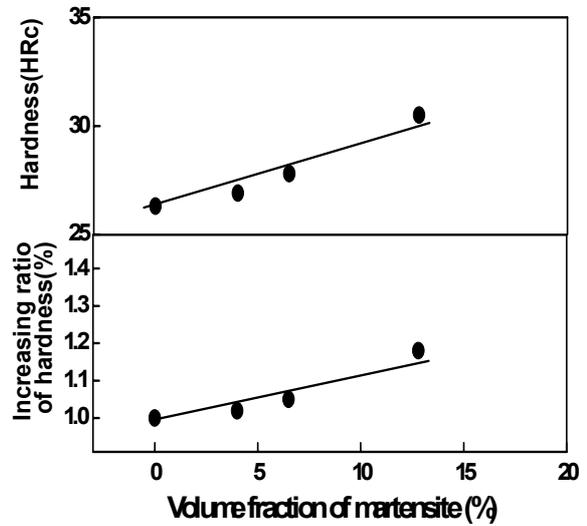


Fig. 8 Change in hardness and increasing ratio of hardness in austempered ductile cast iron obtained by subzero treatment after austempering

3.4 기계적 성질에 미치는 심랭처리의 영향

Fig. 8은 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로처리 하였을 때 생성된 마르텐사이트 조직의 체적분을 변화에 따른 경도 값과 경도 값의 증가 비율을 조사하여 나타낸 것이다. 마르텐사이트 체적분율이 증가함에 따라 경도 값과 경도 값의 증가비율은 직선적인 비례관계로 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 경도 값이 증가하는 정도는 -196°C에서 서브제로 처리 한 경우 18%이상 증가하고 있다.

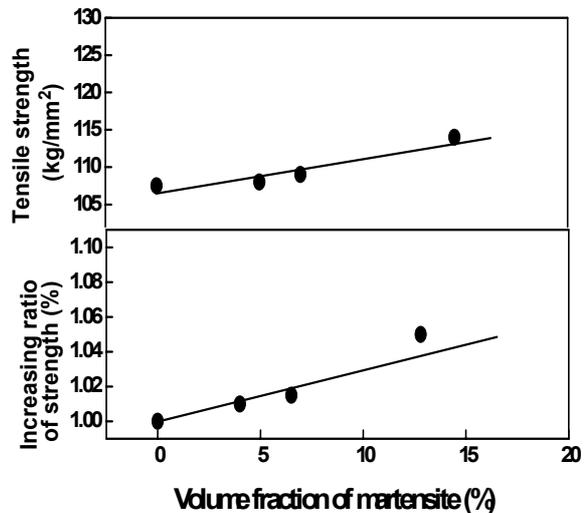


Fig. 9 Change in tensile strength and increasing ratio of strength in austempered ductile cast iron obtained by subzero treatment after austempering

Fig. 9는 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로 처리 하였을 때 생성된 마르텐사이트 조직의 체적분을 변화에 따른 인장강도와 인장강도의 증가 비율을 조사하여 나타낸 것이다.

마르텐사이트의 체적분율이 증가함에 따라 인장강도와 인장강도가 증가하는 비율이 직선적인 비례관계로 증가하고 있고, 마르텐사이트의 체적분율이 13%(서브제로 처리 온도가 -196°C 인 경우)일 때 인장강도 값이 4%정도 증가하였다.

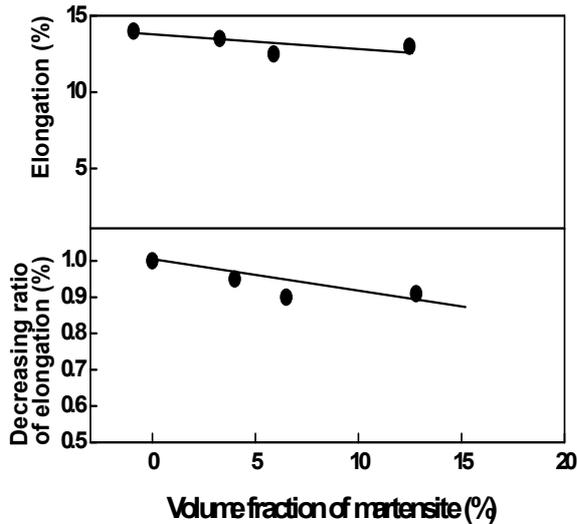


Fig. 10 Change in elongation and decreasing ratio of elongation in austempered ductile cast iron obtained by subzero treatment after austempering

Fig. 10은 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로처리 하였을 때 생성된 마르텐사이트 조직의 체적분을 변화에 따른 연신율과 연신율의 감소 비율을 조사하여 나타낸 것이다. 마르텐사이트 체적분율이 증가함에 따라 연신율과 연신율이 감소하는 비율이 직선적인 비례 관계로 감소하고 있다. 이상에서와 같이 마르텐사이트 조직의 체적분율이 증가할수록 직선적인 비례관계로 경도와 인장강도 및 경도와 인장강도의 증가 비율이 증가하고, 연신율과 연신율의 증가비율이 감소하는 이유는 서브제로 처리에 의해 잔류오스테나이트 조직이 자신보다 경도가 높은 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문이라 생각된다⁷⁾

Fig. 11은 오스템퍼드 구상흑연주철을 심랭처리 하였을 때 생성된 마르텐사이트 조직의 체적분율 변화에 따른 충격값과 충격값의 감소 비율을 조사하여 나타낸 것이다. 마르텐사이트 조직의 체적분율

이 증가함에 따라 충격값과 충격값의 감소하는 비율이 급격하게 감소하다 마르텐사이트 조직의 체적분율이 5%보다 많아지게 되면 큰 변화 없이 서서히 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 충격값은 마르텐사이트의 체적분율이 13%일 때 20% 이상 감소하고 있음을 알 수 있다.

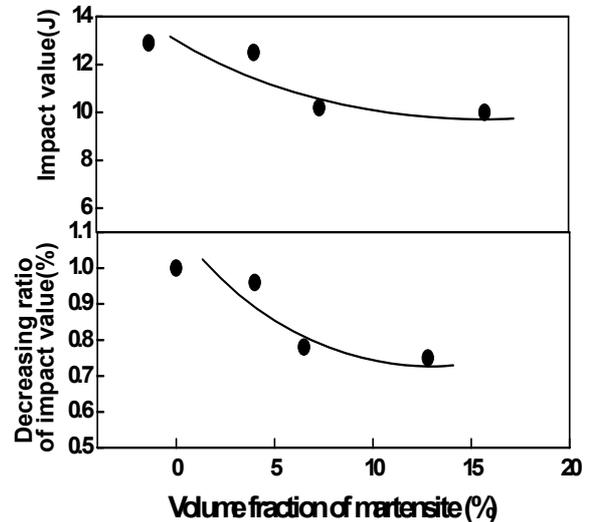


Fig. 11 Change in impact value and decreasing ratio of impact value in austempered ductile cast iron obtained by subzero treatment after austempering

4. 결 론

오스템퍼드 구상흑연주철의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 서브제로처리의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서브제로처리 및 변형에 의해 잔류 오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되었다. 또한, 서브제로처리 온도가 낮아질수록, 변형량이 많아질수록 마르텐사이트 조직으로 변태되는 비율이 높고, -196°C 심랭처리에 의해 30%이상이 마르텐사이트 조직으로 변태 되었다.
2. 서브제로처리 온도가 낮아질수록 직선적인 비례 관계로 인장강도와 인장강도의 증가 비율 및 경도와 경도값의 증가 비율은 증가하고, 연신율과 연신율의 감소 비율은 감소하였다. 또한 -196°C 에서의 서브제로 처리에 의해 경도 값이 약 18%까지 증가 하였다.
3. 서브제로처리온도가 낮아질수록 충격값은 감소하고, -196°C 에서의 서브제로처리에 의해 충격값은 20%이상 감소하였다.

4. 서브제로 처리는 경도 및 충격값에는 크게 영향을 미치고 있지만, 인장성질에는 크게 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 日本鑄物協會, 1993, 球狀黑鉛鑄鐵高性能 高機能化に開發研究」, 研究報告63.
2. H. Mayer and B. Barbezat, 1986, "Austempered Ductile Iron ", 2nd Int. Conf., 99.
3. 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, N. 3. pp. 10.
4. C. Y. Kang, 2003, "Effect of Cu on the Mechanical properties of Subzero treatment Austempered Ductile Cast Iron", J. Kor. Inst & Mater. V. 41, N. 1.
5. K. K. Jee, S. H. Baik, B. J. Lee and C. S. Choi : "Measurement of volume fraction of stress-induced ϵ martensite in Fe-Mn-Si alloy", Scripta Metallurgica et Materialia, Vol. 33, No. 12, pp. 1901.
6. E. Nagy, V. Mertinger, F. Tranta, J. Solyom, 2004. "Deformation Induced Martensitic Transformation in stainless steels", Mater. Sci. and Engine. A379. pp. 308.
7. 강창룡, 문원진, 김익수, 김현주, 김기돈, 성장현, 1997, "냉각제어된 Fe-Si-Mn-P 고장력 강판의 미세조직 및 기계적 성질", 열처리공학회지. 제10권, 2호, pp. 109~120.