

오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질 및 감쇠능에 미치는 서브제로처리의 영향

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

이광희 · 권민기 · 김창규 · 강창룡

K. H. Lee, M. K. Kwon, C. G. Kim and C. Y. Kang

Key Words : Austempered Ductile Cast Iron(오스템퍼드 구상흑연주철), Subzero Treatment(서브제로처리), Retained Austenite(잔류 오스테나이트), Austempering(오스템퍼링), Damping Capacity(감쇠능)

Abstract : This study was investigated to know the effect of subzero treatment in austempered ductile cast iron. Retained austenite transformed to martensite by subzero treatment. With decreasing subzero treatment temperature, more volume fraction of retained austenite transformed to martensite and transformed to martensite above 30% by subzero treatment temperature at -196°C . With decreasing subzero treatment temperature, the value of strength and hardness increased but the value of elongation and impact value decreased. In case of subzero treatment at -196°C , hardness value increased about 18% and impact value decreased by above 20%. We could find that 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 잔류오스테나이트 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 구상흑연주철의 기계적 성질과 감쇠능은 오스템퍼드 구상흑연주철 내 존재하고 있는 잔류오스테나이트 조직은 인장, 압연 등과 같은 변형에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태될 뿐만 아니라 Ms 점 이하의 온도로 냉각을 하는 서브

제로처리를 하면 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문에^{3~4)} 잔류오스테나이트 조직의 체적분율 및 안정성 등에도 큰 영향을 받게 된다³⁾. 때문에 오스템퍼드 구상흑연주철을 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, 서브제로 처리하여 서브제로 처리 조건 변화에 따른 기계적 성질 및 감쇠능 변화를 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 결과는 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, 권민기, 김창규 : 부경대학교 금속공학과 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

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℃로 유지된 염욕에서 1시간 오스테나이트화 후 즉시 400℃로 유지된 염욕 중에 투입하여 30분 오스템퍼링 처리를 한 다음 공랭 하였다. 한편 서브제로처리는 오스템퍼링 처리한 시료 중 일부를 메칠 알콜, 드라이아이스 및 액체 질소를 단독 또는 혼합하여 조절한 -40℃, -70℃ 및 -196℃의 온도로 유지된 매체에서 30분에서 최대 120 분 유지하였다.

2.2 미세조직의 정성 및 정량 분석

구상흑연주철의 주조 조직과, 오스템퍼링 처리 및 서브제로처리한 시료의 미세조직을 광학 현미경에 의해 관찰하였고, 미세조직의 정량적 분석은 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 서브제로 처리한 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

2.4 감쇠능 측정

진동감쇠능 측정은 가공량을 달리하여 압연한 시료를 1.0×10×120mm(두께×폭×길이) 크기로 방전가공에 의해 진동감쇠능 측정용 시편을 제작한 다음 횡형 내부 마찰 측정 장치(Internal Friction

Measurement Machine : 진공이화학, IFT-1500)를 이용하여 대수감쇠율을 측정하는 방법으로 하였다. 이 실험은 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, A₀ : 최초파의 진폭, A_n : n번째 파의 진폭)을 구하는 방법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Photo. 1은 구상흑연주철의 주방 상태 조직을 광학 현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. 주방 상태에서의 조직은 펄라이트 조직과 페라이트 조직에 구상의 흑연이 존재하고 있는 구상흑연 주철의 전형적인 황소 눈(Bull's eyes) 조직을 나타내고 있다. Photo. 2는 Photo. 1의 조직을 갖는 시료를 880℃에서 1시간 오스테나이트화 처리 후 400℃에서 오스템퍼링 처리 후 공랭한 시료에서 얻은 미세조직을 광학 현미경에 의해 나타낸 것이다

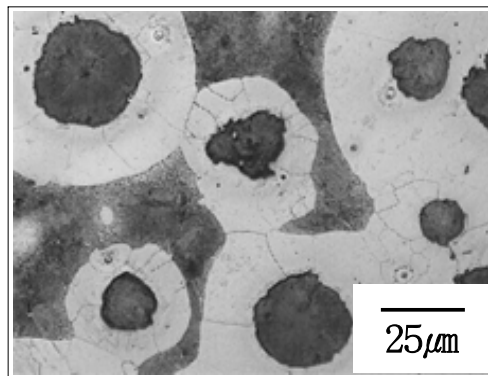


Photo. 1 Optical micrograph of ductile cast iron

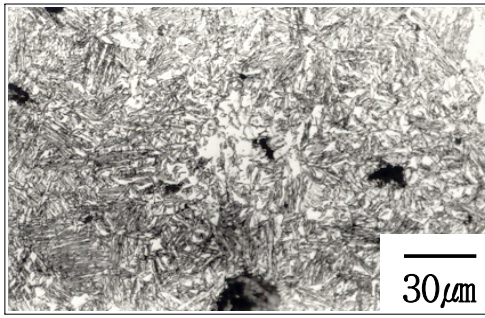


Photo. 2 Optical micrograph obtained by the effect of austempering at 400°C after austenitizing for photo 1 specimen

오스템퍼링 처리에 의해 기지조직인 페라이트 및 퍼얼라이트 조직이 베이나이트 조직으로 변태 되어 있음을 알 수 있다.

Photo. 3은 800°C에서 오스테나이트화 처리 후 400°C에서 오스템퍼링 처리 한 다음 -40°C 및 -196°C에서 30분 서브제로 처리 하였을 때의 미세 조직을 광학 현미경으로 나타낸 것이다. 서브제로 온도에 관계없이 서브제로처리를 하게 되면 오스템퍼링 처리 시 생성된 잔류 오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되지만⁶⁾, 광학 현미경 조직 상 마르텐사이트 조직을 확인 할 수는 없는 오스템퍼링 처리한 조직과 유사한 조직을 나타내고 있다. 뿐만 아니라 광학 현미경 조직상으로는 서브제로처리 온도의 영향은 알 수 없다.

3.2 미세조직에 미치는 오스템퍼링처리의 영향

Fig. 1은 오스템퍼드 구상흑연주철의 잔류오스테나이트조직 내 존재하는 탄소농도와 잔류오스테나이트의 체적분율에 미치는 오스템퍼링 처리 온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다.

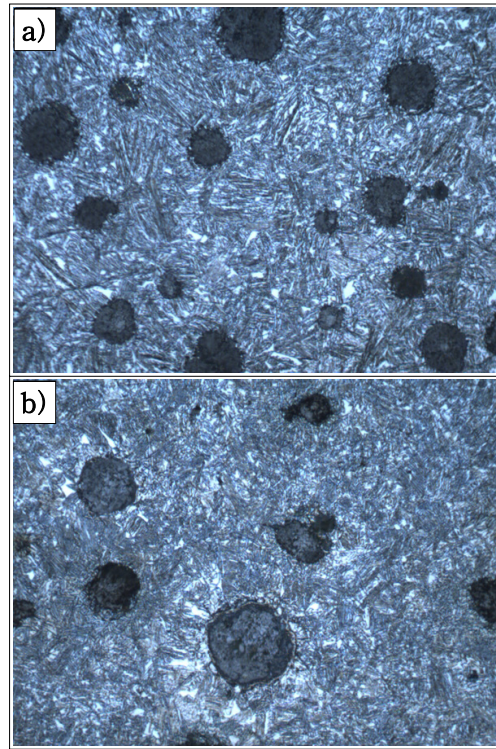
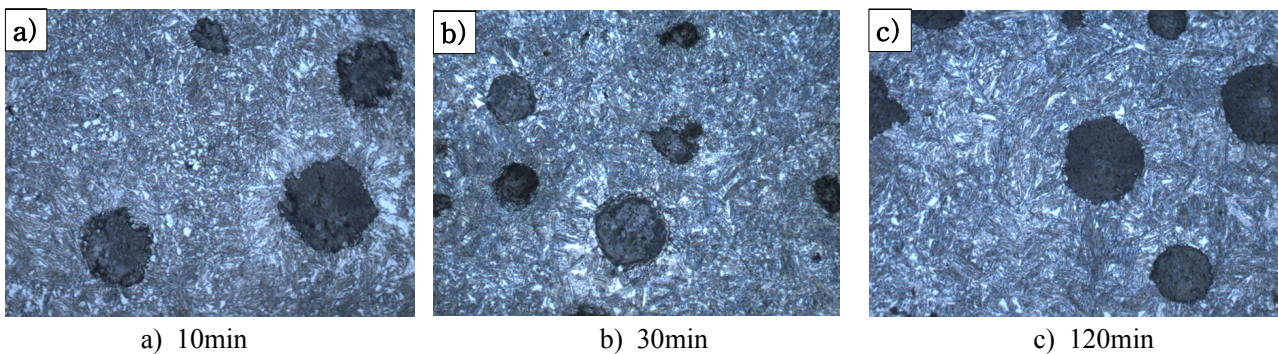


Photo. 3 Optical micrograph obtained by the effect of subzero treatment temperature ;
a) -40°C b) -196°C

오스템퍼링처리 한 시료 내 존재하는 잔류 오스테나이트 조직의 체적분율 및 잔류오스테나이트 내 존재하는 탄소의 량은 400°C에서 오스템퍼링처리 한 시료가 가장 높게 나타났다. 이와 같은 이유는 400°C에서 오스템퍼링 처리한 시료가 오스테나이트 내 존재하는 탄소의 량이 가장 많은데 기인되어 오스테나이트의 안정도가 높아지기 때문이라 생각된다. 이러한 결과로부터 오스템퍼드 구상흑연주철 내 존재하는 잔류오스테나이트의 체적분율은 잔류오스테나이트 조직 내 존재하는 탄소농도에 영향을 받고 있음을 알 수 있다



a) 10min

b) 30min

c) 120min

Photo. 4 Optical micrograph obtained by the effect of subzero treatment time

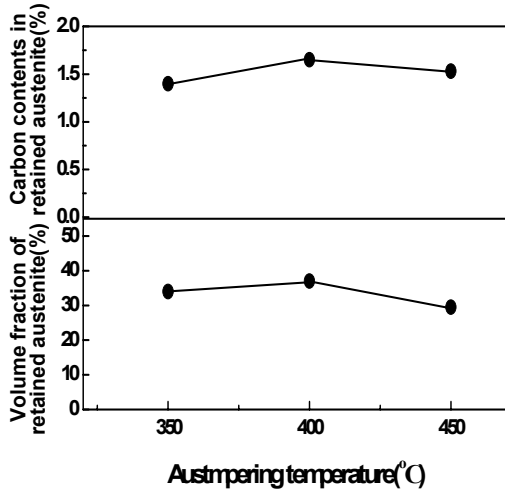


Fig. 1 Effect of austempering temperature on the carbon contents in retained austenite and volume fraction of retained austenite in ductile cast iron

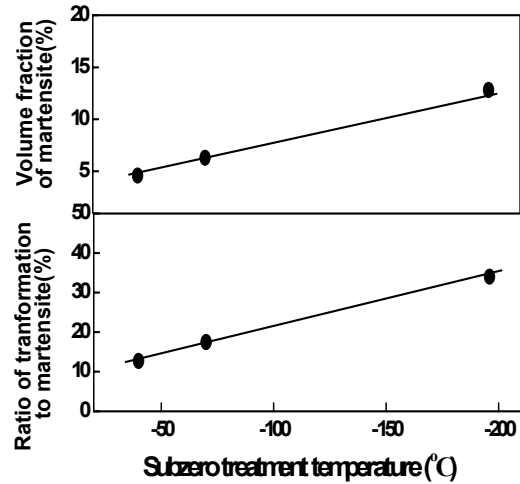


Fig. 2 Effect of subzero treatment temperature on the volume fraction of martensite and ratio of transformation to martensite in austempered ductile cast iron

3.3 미세조직에 미치는 심랭처리 및 변형의 영향

Fig. 2는 오스템퍼드 구상흑연주철 내 존재하는 잔류오스테나이트 조직이 심랭처리에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태하는 정도를 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리에 의해 잔류오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되고 있고, 서브제로처리 온도가 낮아질수록 마르텐사이트 조직이 많이 생성되며⁴⁾, 서브제로처리 온도가 -40°C에서는 잔류오스테나이트의 약 13%정도가 마르텐사이트 조직으로 변태되지만, -196°C에서는 30% 이상이 마르텐사이트 조직으로 변태되었다.

3.4 기계적 성질에 미치는 심랭처리의 영향

Fig. 3은 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로처리 하였을 때 서브제로처리 온도 변화에 따른 인장성질 변화를 조사하여 나타낸 것이다.

서브제로처리 온도가 증가함에 따라 인장강도가 서서히 증가하고 있고 연신율은 서서히 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 서브제로 처리에 의해 잔류오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문이라 생각된다.

Fig. 4은 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로처리 하였을 때 서브제로처리 온도 변화에 따른 경도값과 충격값의 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리 온도가 낮아질수록 경도값은 증가하고 있고, 충격값은 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유 역시 서브제로처리에 의해 잔류오스테나이트

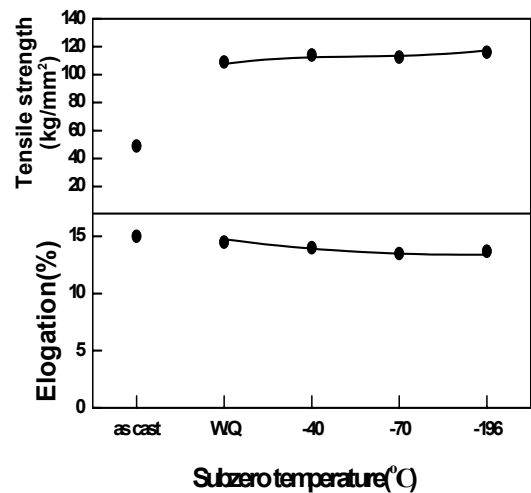


Fig. 3 Effect of subzero temperature on the tensile and elongation properties of austempered ductile cast iron

조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되는데 기인한다고 생각된다.

Fig. 5는 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리 후 서브제로처리 하였을 때 서브제로처리 온도 변화에 따른 감쇠능 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로처리하면 감쇠능은 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 서브제로처리 온도가 낮아지면 감쇠능은 증가하고 있지만 증가하는 정도는 극히 적은 것을 알 수 있다.

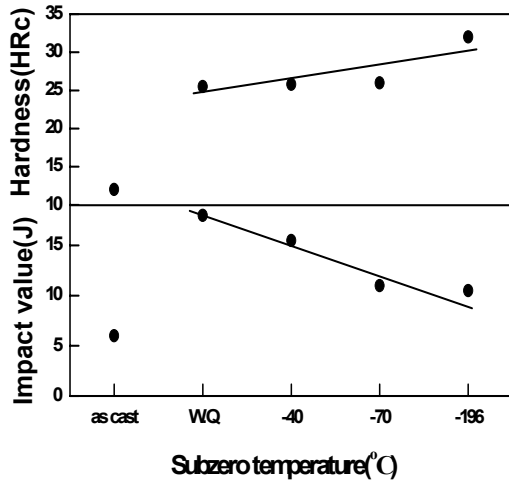


Fig. 4 Effect of subzero temperature on the hardness and impact value of austempered ductile cast iron

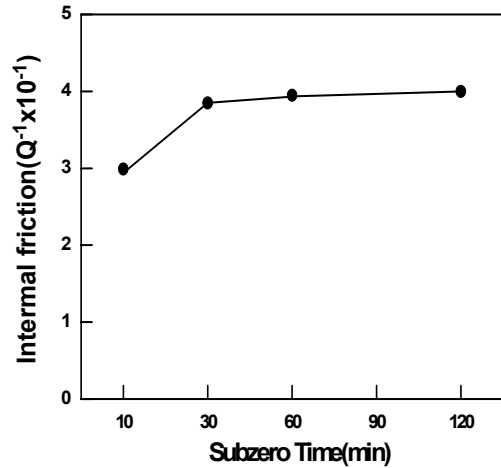


Fig. 6 Effect of subzero treatment time on the damping capacity in austempered ductile cast

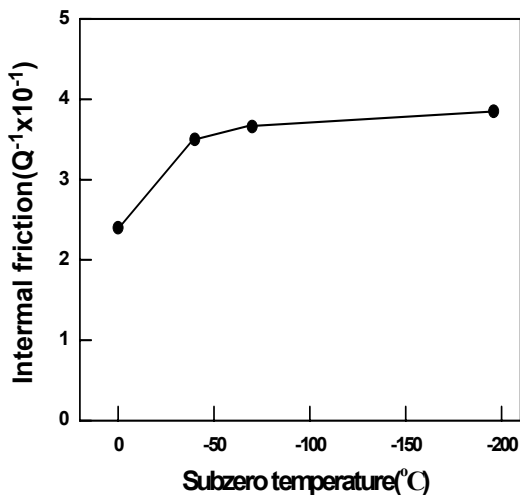


Fig. 5 Effect of subzero temperature on the damping capacity in austempered ductile cast iron

이와 같이 구상흑연주철을 서브제로처리 하면 감쇠능이 증가하는 이유는 서브제로처리를 하게 되면 잔류오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트(α 및 ε 마르텐사이트) 조직으로 변태 되는데 기인되고, 서브제로 처리 온도가 증가하여도 감쇠능이 큰 변화가 없는 이유는 -40°C 온도에서도 변태 될 수 있는 잔류오스테나이트 조직이 모두 변태가 완료되기 때문이라 판단된다.

Fig. 6은 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리 후 서브제로처리 하였을 때 서브제로처리 시간 변화에 따른 감쇠능 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로처리 시간이 길어짐에 감쇠능이 급격히 증가하다가 서브제로처리 시간이 30분을 넘어서게 되면 시간이 길어져도 큰 변화가 없는 비슷한 값을 나타내고 있다. 이와 같은 이유는 잔류오스테나이트 조직을 갖는 오스템퍼드 구상흑연주철을 서브제로처리 하면, 약 30분정도까지는 잔류오스테나이트의 일부가 마르텐사이트(α 및 ε 마르텐사이트) 조직으로 변태 되지만, 그 이상의 시간이 되면 더 이상의 잔류 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되지 않기 때문이라 생각된다.

4. 결 론

오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질 및 감쇠능에 미치는 서브제로처리의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서브제로처리에 의해 잔류오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트 조직으로 변태되었다. 또한, 서브제로처리 온도가 낮아질수록, 변형량이 많아 질수록 마르텐사이트 조직으로 변태되는 비율이 높고, -196°C 심랭처리에 의해 30%이상이 마르텐 사이트 조직으로 변태 되었다.
2. 오스템퍼드구상 흑연 주철은 서브제로처리에 의해 인장강도 및 경도는 증가하고, 연신율과 충격값은 감소하였다. 또한 서브제로처리 온도가 낮아질수록 직선적인 비례 관계로 인장강도와 경

- 도값은 증가하고, 연신율과 충격값은 감소하였다.
3. 오스텝퍼드 구상흑연주철은 서브제로처리에 의해 감쇠능이 증가하였다. 또한 서브제로처리 온도가 증가함에 따라 감쇠능은 서서히 증가하는데 반하여 서브제로처리 시간이 30분이상이 되면 감쇠능은 큰 변화가 없이 일정한 값을 나타내었다.

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. 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, p. 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, p. 1901.
6. E. Nagy, V. Mertinger, F. Tranta, J. Solyom, 2004, "Deformation Induced Martensitic Transformation in stainless steels", Mater. Sci. and Engine. A379, p. 308.
7. 강창룡외 5인, 1997, "냉각제어된 Fe-Si-Mn-P 고장력 강판의 미세조직 및 기계적 성질", 열처리공학회지. 제10권, 2호. pp. 109~120.