

## Cu를 갖는 오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질에 미치는 마르텐사이트의 영향

강창룡 · 이종문 · 손동욱\* · 권성겸\* · 김익수\*\* · 성장현\*\*\*

부경대학교 공과대학 재료공학부

\*대구기능대학

\*\*전북대학교 신소재공학부

\*\*\*동아대학교 공과대학 금속공학과

### Effect of Martensite on the Mechanical Properties of Austempered Ductile Cast Iron with Cu

C. Y. Kang, J. M. Lee, D. W. Soon\*, S. K. Kwoon\*, I. S. Kim\*\* and J. H. Sung\*\*\*

Divi. of Mat. Sci. and Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

\*Daegu Polytechnic College, Daegu 703-721, Korea

\*\*Divi. of Met. and Mat. Eng., Chonbuk National Univ., Chonju 561-756, Korea

\*\*\*Dep. of Met. and Eng., Dong-A Univ., Busan, 604-714, Korea

Effect of martensite on the mechanical properties of austempered ductile cast iron was investigated after obtained the martensite by subzero treatment. Retained austenite was transformed to martensite by subzero treatment, and with decreasing subzero treatment temperature, volume fraction of martensite was increased. With increasing of the volume fraction of martensite, tensile strength was increased and elongation was decreased, ratio of increasing of strength and decreasing of elongation was higher in case of specimens with lot's of Cu contents. With increasing of the volume fraction of martensite, hardness slowly increased until only about 5% and it rapidly increased in a straight proportion when it is above 5%, while impact value was rapidly decreased until about 7% but it had a little change when it is above 7%.

(Received September 5, 2002)

**Key words:** Austempered ductile cast iron, Retained austenite, Subzero treatment, Volume fraction of martensite, Mechanical properties

## 1. 서 론

구상흑연주철을 오스템퍼링처리하여 제조하는 오스템퍼드 구상흑연주철은 베이나이트 조직과 잔류 오스테나이트 조직 등으로 이루어져 있기 때문에 높은 강도와 우수한 인성을 함께 지니고 있어 최근 그 용도가 급격히 증가하고 있다[1-5].

오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질은 기지조직인 베이나이트 조직에 크게 지배되고 있지만, 오스템퍼링처리 시 생성된 잔류 오스테나이트는 Md점 이하의 온도에서 인장, 충격 및 굽힘 등과 같은 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태하는 변태유기소성(TRIP: Transformation Induced Plasticity) 거동을 나타낼 뿐만 아니라[6-11] 심랭처리에 의해서도 마르滕사이트 조-

직으로 변태되며 이러한 정도는 잔류 오스테나이트의 양과 안정성 등에 의해 지배되기 때문에[12,13] 잔류오스테나이트에도 영향을 받게된다. 따라서 오스템퍼드 구상흑연주철에서 잔류오스테나이트가 가공이나 심랭처리에 의해 마르滕사이트로 변태되는 거동과 이때 생성된 마르滕사이트 조직이 기계적 성질에 미치는 영향을 정량적으로 규명하는 것은 보다 우수한 오스템퍼드 구상흑연주철의 제조뿐만 아니라 이 재료의 저온영역에서 사용에 따른 필요한 자료를 얻기 위한 측면에서도 중요하다.

본 연구는 이러한 점에 착안하여, 오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질에 미치는 마르滕사이트 조직의 영향을 규명하기 위하여 Cu 함량이 다른 구상흑연주철을 제조한 다음오스템퍼링 처리 후 심랭처리 조건을 달-

리하여 마르텐사이트의 량을 달리 한 다음 마르텐사이트 조직이 기계적 성질에 미치는 영향을 정량적으로 조사하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에 사용된 시료는 큐폴라에서 용해후 Y형 블록(KS D 4302A 호)에 주입한 다음 시료로 사용하였으며, 그 화학조성을 표1에 나타낸다. 시료의 열처리는 880°C로 유지된 염욕에서 1시간 오스테나이트화 처리 후 400°C로 유지된 염욕에 즉시 투입하여 최대 5시간 오스템퍼링처리 한 다음 수냉하였다. 한편 오스템퍼링처리 한 시료에서 마르텐사이트조직을 얻기 위한 심랭처리는 에칠알콜 및 액체 질소를 단독 또는 혼합하여 조절한 -40°C, -70°C 및 -196°C의 온도로 유지된 매체에

서 30분 유지하였다. 또한 구상흑연주철의 주조한 상태의 조직과 오스템퍼링 처리 및 심랭 처리하였을 때 얻은 미세조직을 광학 및 주사전자현미경에 의해 관찰하였고, 오스템퍼링 처리시 생성된 잔류오스테나이트와 심랭처리에 의해 생성된 마르텐사이트의 양은 Co-K $\alpha$ 선을 이용한 회절실험에서 얻은 회절선도로부터 Miller법[14]을 따라 구하였다.

Fig. 1은 Cu 함량이 0.15 및 0.56%인 구상흑연주철의 주조상태 조직을 광학 현미경에 의해 나타낸 것이다. 두 시료 모두 펄라이트와 페라이트조직에 구상의 흑연이 존재하고 있는 황소 눈(Bull's eyes) 조직을 나타내고 있음을 알 수 있고, 이 때 두 시료의 미세조직을 분석한 결과 A시료는 페라이트의 량이 69.7%, 펄라이트가 22.2%, 흑연이 9.8%였고, B시료는 페라이트의 량이 44.2%, 펄라이트가 44.3%, 흑연이 11.5%를 나타

Fig. 1. Optical micrographs of ductile cast iron; a) A specimen and b) B specimen.

Fig. 2. SEM micrographs showing the effect of austempering at 400°C after austenitizing; a) A specimen b) B specimen.

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

내었으며, 두 시료 모두 93% 이상의 구상화율을 나타내었다. 따라서 Cu 함량 차이에 따른 미세조의 차이는 Cu가 많은 B시료가 펠라이트의 양은 많은데 비하여, 페리아이트의 양은 적은 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 시료를 880°C에서 1시간 오스테나이트화 처리 후 400°C에서 1시간 오스템퍼링 처리하였을 때 얻은 미세조직을 주사전자 현미경에 의해 나타낸 것이다. 두 시료 모두 오스템퍼링 처리에 의해 기지조직이 베이나이트 조직으로 변태되고 있음을 알 수 있다. 또한 첨가된 Cu 함량이 높은 B 시료의 경우가 베이나이트 조직의 lath크기가 약간 작은 경향을 나타내고 있지만, Cu함량 차이에 따른 미세 조직의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 오스템퍼드 구상흑연주철에서 마르텐사이트 조직을 얻기 위해 두 시료를 오스템퍼링 처리 후 -70°C와 -196°C에서 심랭처리 하였을 때 얻은 미세조직을 광학 현미경으로 나타낸 것이다. 오스템퍼링처리 후 심랭처리하면 오스템퍼링처리 시 생성된 잔류 오스테나이트의 일부가 마르텐사이로 변태된다고 알려져 있지만 [10] 광학현미경으로서는 그 변화를 알 수 없는 오스템퍼링처리 한 조직과 유사한 조직을 나타내고 있음을 알 수있다. 또한 심랭 처리의 온도 및 Cu함량 차이에 따

른 미세조직의 뚜렷한 차이는 나타나지 않고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 오스템퍼드 구상흑연주철을 여러 온도에서 심랭처리 하였을 때 심랭처리 온도 변화에 따른 마르텐사이트와 잔류 오스테나이트조직의 체적분율 변화를 나타낸 것이다.

두 시료 모두 심랭처리 온도가 낮아 질수록 잔류 오스테나이트의 양이 적어지는데 반하여 마르滕사이트의

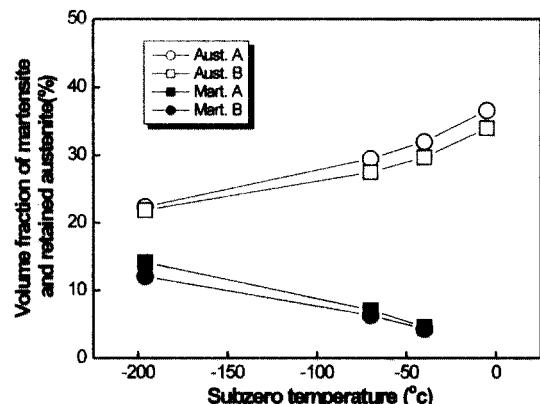


Fig. 4. Change in each phase by subzero treatment in austempered ductile cast iron.

\* S.T = Subzero treatment temperature

Fig. 3. Optical micrographs showing the effect of subzero treatment in austempered ductile cast iron.

양은 많아지고 있다.

Fig. 5는 심랭처리에 의해 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되는 정도를 조사하여 나타낸 것이다. 변태되는 비율은 두 시료가 비슷한 경향으로 심랭처리 온도가 낮아 질수록 거의 직선적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

**Subzero temperature (°C)**

Fig. 5. Relationship between ratio of transformation of retained austenite and subzero temperature in austempered ductile cast iron.

알 수 있다.

또한, Fig. 4 와 Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 Cu의 첨가량이 많은 B시료의 경우가 심랭처리 온도가 낮아질수록 더 많은 양의 잔류 오스테나이트가 마르滕사이트로 변태되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 첨가되는 Cu의 양이 많아지게 되면 오스템퍼링처리 시 존재하고 있는 오스테나이트에 고용되는 Cu의 량이 많아지는데 기인되어 상대적으로 오스테나이트 내 고용되는 탄소량은 적어지게 된다. 이결과 오스테나이트의 안정도는 낮아지게 되어 이후 수냉 시 쉽게 마르텐사이트로 변태되기 때문이라 생각된다.

Fig. 6은 오스템퍼드 구상흑연주철의 인장강도와 연신율에 미치는 마르텐사이트 체적 분율의 영향을 나타낸 것이다. 두 시료 모두 마르텐사이트의 양이 증가할수록 직선적으로 인장강도는 증가하고 연신율은 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 첨가된 Cu의 양이 많은 B 시료가 인장강도가 높고 연신율은 낮으며 인장강도가 증가되는 비율과 연신율이 감소하는 비율이 높게 나타났다. 이와 같이 오스템퍼링처리 한 시료에서 Cu의 첨가량이 많은 B시료의 경우가 강도가 높고, 연신율이 낮은

**Volume fraction of martensite (%)**

Fig. 6. Effect of volume fraction of martensite on the tensile strength and elongation in austempered and then subzero-treated ductile cast iron.

**Volume fraction of martensite (%)**

Fig. 7. Effect of martensite on the hardness and impact value in austempered and then subzero-treated ductile cast iron.

이유는 Cu의 첨가량이 많은데 따른 고용강화 효과와 Fig. 4 및 5에서 알 수 있는 바와 같이 동일 심랭처리 조건에서 더 많은 양의 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되기 때문이라 생각된다.

Fig. 7은 오스템퍼드 구상흑연주철의 경도와 충격값에 미치는 마르텐사이트 조직의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 심랭처리에 의해 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되는데 기인되어[15,16] 경도 값은 마르텐사이트의 양이 약 5% 정도까지는 서서히 증가하지만 양이 그보다 많아지게 되면 증가하는 속도가 빨라지고 있는데 반하여, 충격값은 약 7%까지는 급격히 감소하지만, 그 양이 7%보다 많아지면 큰 변화없이 거의 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이 결과로부터 경도 값은 마르텐사이트의 양이 적어도 5% 이상 되어야 영향을 받게 되지만 충격값은 마르滕사이트의 양이 약 7% 정도까지는 큰 영향을 받아 급격히 감소하지만 그 이상이 되면 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질에 미치는 마르텐사이트의 영향을 조사하기 위해 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리 한 다음 심랭처리 하여 마르텐사이트 조직의 체적 분율을 달리 한 다음 기계적 성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 심랭처리에 의해 잔류오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되며, 심랭처리 온도가 낮아 질수록 많은 양의 마르텐사이트가 생성되었다.
2. 마르텐사이트의 체적분율이 많아 질수록 인장강도는 증가하고, 연신율은 감소하였으며, 인장강도의 증가

비율과 연신율의 감소비율은 높게 나타났다.

3. 경도값은 마르텐사이트의 체적분율이 약 5%까지는 서서히 증가하지만 그 이상이 되면 급격히 증가하는데 반하여, 충격값은 마르滕사이트의 체적분율이 7%까지는 급속히 감소하지만 그 이상이 되면 큰 변화가 없었다.

#### 참고문헌

1. 日本鑄物協會 : 研究報告63 「球狀黑鉛鑄 鐵高性能高機能化に開発研究」(1993).
2. J. F. Janowak and R. B. Gundlack: AFS Trans., 91, (1983) 377.
3. H. Mayer and B. Barbezat: 2nd Int. Conf. Austemp. Ductile Iron., (1986) 99.
4. E. Drazil, B. Barta, E. Munsterova, L. Stransky and A. Hurar: AFS Int. Cast Met. J., (1982) 52.
5. T. N. Rouns, K. B. Rundman and D. M. Moore : AFS Trans., 92, (1984) 815.
6. 上田解完, 濱田光晴, 平光宏行: 鑄物, 60, (1988) 461.
7. 上田解完, 濱田光晴, 生田浩之: 鑄物, 57, (1985) 728.
8. 上田寂完, 濱田光晴, 紫山耕一郎: 鑄物, 60, (1988) 549.
9. 小林後郎, 山本浩善, 高林幸央: 鑄物, 59, (1987) 147.
10. 水野慎也, 日比野義博, 石川秀雄: 鑄物, 62, (1990) 191.
11. C. H. White and R. W. K. Honeycombe: JISI (1962) 457.
12. K. S. Raghavan, A. S. Sostic and M. J. Marinkowski: Trans, ASM, 245, (1969) 1569.
13. 강창룡, 성장현: 열처리공학회지, 4, (1991) 44.
14. R. L. Miller: Trans, ASM, 57, (1964) 892.
15. 高橋利夫, 多田周二, 河部利三: 鑄物, 65, (1993) 615.
16. S. Tsukaghara, S. Yamada: J. of Jap. Foundry Engi. Soci., 70, (1998) 241.