

금형주조법에 의한 구상흑연주철의 제조 및 직접 템퍼링에 의한 충격인성 향상

최성배*, 이원식**, 홍영환

수원전문대학 열처리과

* 고려대학교 금속공학과

** 독일 막스플랑크 연구소

Casting of Ductile Cast Iron using Metal Mold and Improvement of
Impact Toughness by Direct Tempering

Sung Bae Choi*, Won Sik Lee**, Young Hwan Hong

Dept. of Heat Treatment, Suwon Industrial College, Suwon 445-960

*Dept. of Metallurgical Engineering, Korea University, Seoul 136-701

** Max-Planck Institut für eisenforschung GmbH, Germany

ABSTRACT

Non-alloyed and 1.0%Ni alloyed ductile cast iron were cast into the sand mold and metal mold, and finer graphite size was obtained in case of metal mold casting. Direct tempering after casting showed the slight increase of absorbed energy, which is largely due to the relieving of residual stress that is developed during casting. After austempering heat treatment, higher impact energy was obtained in case of metal mold casting than sand mold casting, which is due to the finer graphite size.

1. 서 론

그 동안에 구상흑연주철(Ductile Cast Iron, DCI) 주조 방법의 주류를 이루어 오던 사형 주조가 직장 환경 뿐만 아니라 주물사와 같은 산업 폐기물 처리 문제 등에 의한 환경 오염의 문제를 야기시키기 때문에, 업체에서는 주물사 구입비 이상의 비용을 들여서 폐사를 처리하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제 점을 해결하고, 주조 공장의 자동화, 제품의 高精度化 및 조직의 미세화를 도모하기 위하여 금형주조기술로 전환을 모색하고 있고¹⁻³⁾, 최근 일본에서는 steering knuckle 등 일부 자동차 부품과 manhole

cover 등에 사용되는 구상흑연주철의 주조 방법이 사형주조에서 금형주조로 전환되는 획기적인 움직임이 시작되고 있다⁴⁾.

또한 구상흑연주철은 주철이 가지는 고유의 장점인 경계성과 구상흑연으로 인한 연성 향상 등에 힘입어 최근 자동차 분야를 비롯한 기계산업에 매우 중요한 소재로 부각되어 그 용도를 확장시키고 있다⁵⁾. 그러나 소재의 사용 환경이 극단화됨에 따라 보다 강인한 주조재의 개발이 절실히 요구되고 있고, 흑연의 구상화만으로는 이 요구조건에 부응하지 못하기 때문에 기지조직의 개선에 눈을 돌리게 되었다. 즉, 흑연이 구상이라 할지라도 파괴시 균열 발생의 기점과 균열

전파의 우선적인 경로로 작용하여 충격치 등 기계적 성질을 저하시키기 때문에^{6~8)}, 보다 나은 강인성을 얻기 위해서는 기지조직의 변화가 필수적이다⁹⁾. 따라서 복잡한 형상을 제조할 수 있다는 주철의 우수한 주조성을 유지하면서 강도와 인성을 향상시키기 위해서는 강한 조직인 베이나이트를 필요로 하는데, 이를 위하여 활발하게 행하여지는 방법이 오스템퍼링(austempering) 열처리이다^{6~10)}.

본 연구에서는 금형주조법에 의하여 DCI를 주조함으로써 흑연 및 기지조직의 미세화를 도모하였으며, 이것이 오스템퍼링 열처리시 충격인성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 또한 합금원소로서 Ni을 첨가하여 경화능을 향상시킴으로써 주조상태에서 기지조직의 마르텐사이트화를 도모하여, 주조후 단순 템퍼링 처리만으로 인성의 개선을 피하고자 하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1 용해 및 주조

본 연구에서는 사용한 구상흑연주철은 경남주물에 있는 저주파로에서 용해한 후 구상화제로는 TDA(0.3%Mg)를 사용하고, Fe-Si으로 집중을 하였다. 그리고 주형으로는 사형과 금형을 함께 이용하여 주조하였다. 이 때 사용된 금형은 연강제로서, 평행부 두께 30mm, 높이 130mm, 길이 220mm의 Y-block 형상으로 가공하였다. 한편 주조조직과 오스템퍼링 거동에 미치는 합금원소의 영향을 알아보기 위하여 본 연구에서는 Ni을 1% 첨가하였고, 그 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of the specimens used in this study

Elements	C	Si	Mn	Mg	Ni	Fe
0%Ni	3.65	2.55	0.26	0.04	-	Bal
1%Ni	3.50	2.30	0.30	0.05	0.89	Bal

2.2 열처리

본 연구에서 열처리는 2가지로 행하였는데, 하나는 주조상태의 시편을 직접 템퍼링하여 인성변화를 조사하는 것이고, 다른 하나는 사형과 금형을 이용하여 주조된 시편의 오스템퍼링을 실시하여 주조시 냉각속도가 오스템퍼링후의 인성변화에 미치는 영향을 조사하는 것이었다. 템퍼링은 550℃에서 90분간 행하였고, 오스템퍼링 처리는 900℃에서 1시간 오스테나이트화 한 후, 370℃의 염욕으로 급랭하여 60분 및 90분간 등온변태시켰다. 여기에서 사용된 염은 KNO₃이었다.

2.3 기계적 시험

기계적 성질 시험은 Charpy 충격 시험기와 Rockwell 경도 시험기(B 스케일)를 사용하였고, 충격 시험편은 무노치로 하였다. 금형주조재의 경우 표면부와 중심부의 냉각속도 차이가 현저하기 때문에 조직 및 경도 차이도 크게 나타난다. 따라서 본 실험에서는 Y-block 평행부 두께가 30mm이므로 표면부와 중심과의 가운데 정도의 위치인 표면에서 8~10mm 부위에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 주조조직

본 연구의 한가지 목적은 복잡한 오스템퍼링 열처리를 행하지 않고서도 강한 성질을 갖는 DCI를 제조하는 데에 있다. 이러한 목표를 위해서 본 연구자들은 Ni, Cu 및 Mo 등의 적절한 합금설계를 통하여 구상흑연주철의 주조시 냉각하는 도중에 베이나이트 변태를 일으키게 하는 즉, 『주방상태 베이나이트 구상흑연주철』의 제조를 시도한 바 있었고¹¹⁾, 이 연구를 통하여 완전한 베이나이트 조직을 얻지는 못했으나 경화능이 큰 경우에는 주방상태에서 마르텐사이트와 베이나이트의 혼합조직이 얻어졌고, 이 때 형성된 마르텐사이트가 충격치를 현저하게 감소시켰다는 것은 당연한 결과였다.

따라서 이러한 결과를 토대로 하여 본 연구에서는 주방상태에서 형성된 마르텐사이트를 단순히 템퍼링만 해 줌으로써 인성의 향상을 도모하고자 하였다 즉, 주조 후 템퍼링이라는 매우 간단한 방법으로 구상흑연주철의 인성을 향상시키고자 하는 것이다. 이렇게 하기 위해서는 기지조직을 마르텐사이트화 하는 것이 우선적이므로 Ni첨가와 금형주조법을 채용하여 기지조직의 마르텐사이트화 및 미세화를 도모하였다.

Fig. 1은 사형 및 금형주조재의 주조조직을 나타낸 것이다. 이 조직사진에서 보면 사형주조재의 경우는 모두 구상흑연주철의 전형적인 주방조직인 bull's eye 조직을 보이는데 반해서 금형주조재의 경우에는 냉각속도가 빠르기 때문에 bull's eye 조직은 얻어지지 않고 단지 기지조직 내에 어느 정도의 마르텐사이트가 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 기지조직 내에 마르텐사이트가 형성됨으로 인해서 Fig. 2에서 보는 바와 같이 Ni이 첨가된 시편과 첨가되지 않은 시편에서 모두 사형주조재보다는 금형주조재의

경도가 높게 나타났다. 그러나 형성된 마르텐사이트의 양이 많지 않기 때문에 경도의 증가정도도 그다지 크지 않았으며, 이것으로 보아 결국 이후의 템퍼링에 의한 충격치 상승정도도 크지 않을 것이라는 사실을 예측할 수 있다.

Fig. 1에서 알 수 있는 또 하나의 커다란 차이는 금형주조재와 사형주조재의 흑연립 크기의 차이이다. 사진에서 쉽게 확인할 수 있듯이 금형주조재의 흑연립 크기가 사형주조재의 흑연립보다 훨씬 미세하게 나타난다. Fig. 3은 두가지 주조재의 평균 흑연립 크기를 비교하여 나타낸 것이다. 즉, Ni 첨가에 따라 흑연립 크기는 크게 변화되지 않으나 주조시 냉각속도의 영향은 매우 큰 것으로 나타났다.

한편 금형주조재의 경우 표면부와 중심부와의 사이에 냉각속도 차이가 매우 크기 때문에 흑연립 크기의 차이도 매우 크다. Fig. 3의 결과는 사형 및 금형주조재 모두 표면으로부터 8~10mm 되는 부위의 조직으로부터 얻어낸 것이다. 즉, 본 연구에서 사용한

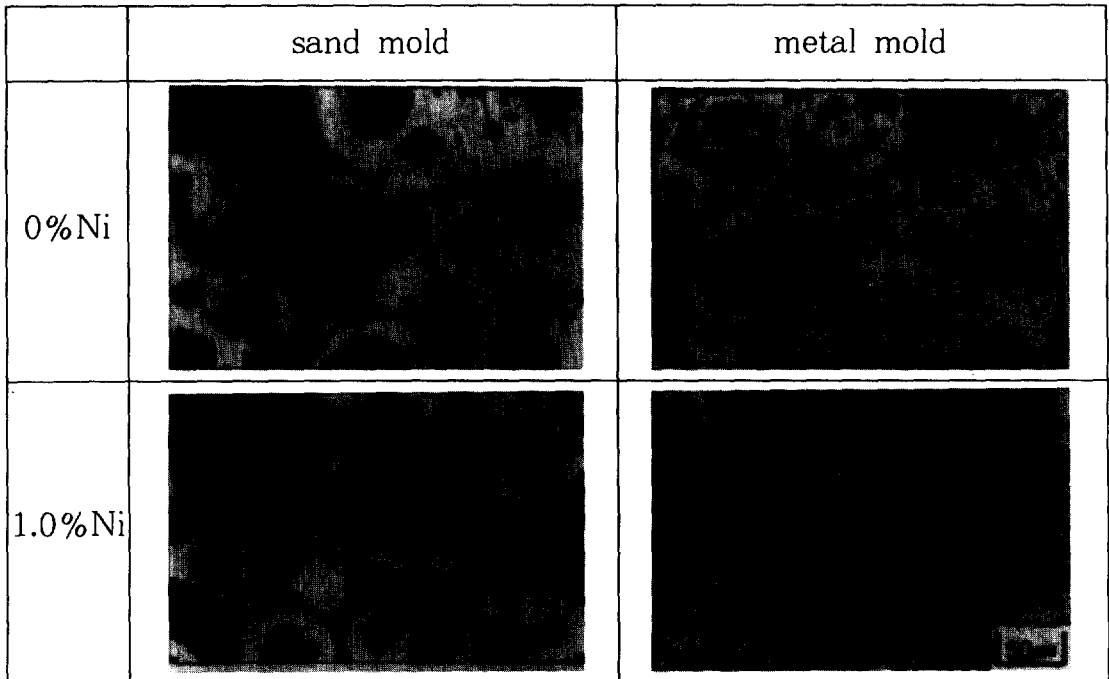


Fig. 1 As-cast microstructures

Y-block 평행부의 두께가 30mm이기 때문에 이 부위는 표면과 중심과의 가운데 위치가 된다.

3.2 충격특성

지금까지 DCI의 인성을 향상시키는 주된 방법은 오스테퍼링 열처리를 통해서 이루어져 왔다. 그러나 이 열처리 방법은 공정이 복잡하고 염욕을 사용해야 한다는 문제점을 안고 있으므로, 본 연구에서는 주조 상태에서 기지조직을 마르텐사이트화 하고, 이를 단

순히 템퍼링만 행하여 줄으로써 인성을 향상시키고자 하는 것이 첫 번째 목적이다.

Fig. 4는 사형주조한 시편과 금형주조한 시편을 템퍼링한 후에 충격시험한 결과이다. 0%Ni 시편에서 보면 주조상태에서는 금형주조한 것이 냉각속도가 빠르고, 마르텐사이트 형성량도 많기 때문에 사형주조한 시편보다 충격치가 낮게 얻어졌다. 또한 두 조성의 시편에서 모두 주조상태보다는 템퍼링을 행한 후에 충격치가 상승하는 것을 나타내는데, 이것은 일

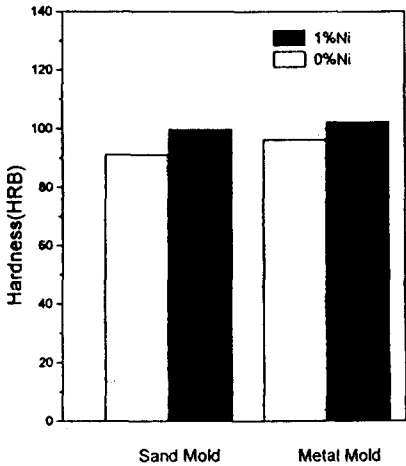


Fig. 2 Comparison of hardness between the specimens using sand mold and metal mold.

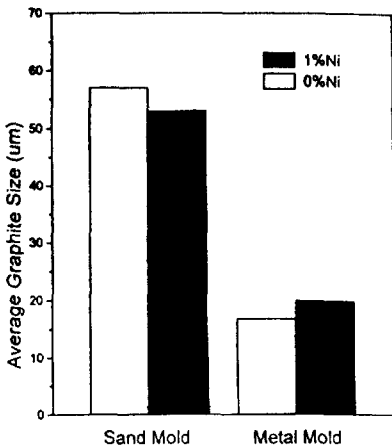


Fig. 3 Average graphite size of the specimens using sand mold and metal mold.

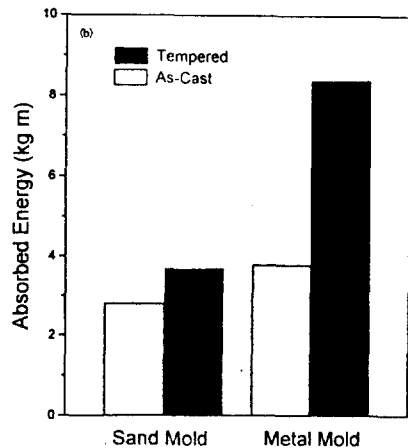
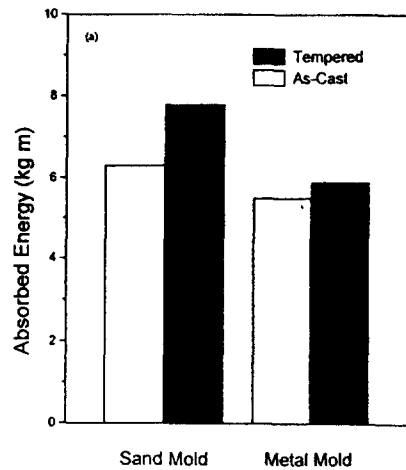


Fig. 4 Comparison of impact energy between the as-cast and the tempered DCI.
(a) non-alloyed (b) 1.0%Ni alloyed

부 형성된 마르텐사이트의 템퍼링 효과라기보다는 주조시에 발생된 잔류응력이 제거됨에 따라 얻어진 결과라고 사료된다. 그러나 1%Ni이 첨가된 금형주조 시편에서는 주조상태보다 템퍼링한 후에 충격치가 비교적 크게 향상된 것을 알 수 있는데, 이는 1%Ni 첨가에 따른 경화능 향상과 금형주조에 의한 냉각속도 증가에 따라 형성된 마르텐사이트가 템퍼링됨에 따라 인성이 개선된 것이라고 사료된다.

Fig. 5는 사형주조한 시편과 금형주조한 시편을 오스템퍼링 열처리한 후에 충격시험한 결과이다. 모

든 시편에서 60분간 등온변태 처리한 경우보다 90분간 등온변태 처리한 경우에 충격치가 우수하였고, 특히 금형주조한 시편이 사형주조한 시편보다 모든 경우에서 충격치가 우수하였다. 이것은 앞의 Fig. 1에서도 보았듯이 사형주조보다는 금형주조한 경우에 흑연립 크기가 더 미세함에 기인하는 것이라고 사료된다.

Table. 2는 본 연구에서 행한 충격시험 결과를 정리하여 나타낸 것이다.

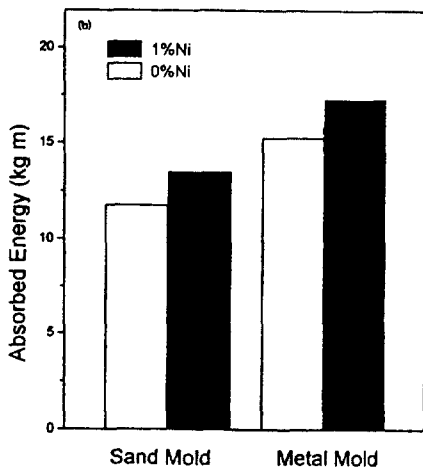
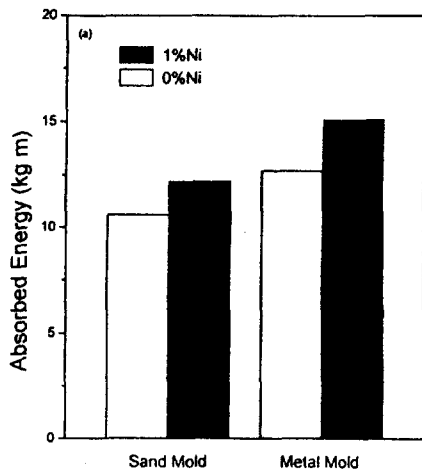


Fig. 5 Comparison of impact energy of the specimens austempered at 370°C.

- (a) austempered for 60min.
- (b) austempered for 90min.

Table 2. Impact Test Results

Specimen	Condition	Impact Value (kg·m/cm ²)		
		Sand Mold	Metal Mold	
0%Ni	As-Cast	6.3	5.5	
	Tempered	7.8	5.9	
	Austempered	60min	10.6	12.7
		90min	11.8	15.3
1.0%Ni	As-Cast	2.8	3.8	
	Tempered	3.7	8.4	
	Austempered	60min	12.2	15.1
		90min	13.5	17.3

4. 결 론

Ni을 1% 첨가하여 사형 및 금형주조한 구상흑연 주철에서 직접 템퍼링 및 오스템퍼링 열처리한 후에 충격시험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 금형주조한 경우가 사형주조한 경우보다 평균 흑연립 크기가 매우 미세하게 나타났는데, 0%Ni 시편에서 사형주조의 경우 57 μ m, 금형주조의 경우 16.8 μ m, 그리고 1%Ni 시편에서 사형주조의 경우 53 μ m, 금형주조의 경우 20 μ m이었다.
2. 주조후 직접 템퍼링한 경우 충격치가 약간 상승하였는데, 이것은 주로 주조시 형성된 잔류응력 제거에 기인하는 것이다.
3. 오스템퍼링 열처리한 후 충격시험한 결과 모든 시

편에서 금형주조한 경우가 사형주조한 경우보다 흑연립 크기가 미세하므로 충격치가 우수하였다.

후 기

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 山田康雄, 西尾敏幸, 安江和夫, 近藤青彦, 彦坂武夫, 河合 眞 : 鑄物, 65(1993) 237
2. 山田康雄, 西尾敏幸, 安江和夫, 近藤青彦, 彦坂武夫, 河合 眞 : 鑄物, 65(1993) 243
3. 山田康雄, 西尾敏幸, 安江和夫, 近藤青彦, 彦坂武夫, 河合 眞 : 鑄物, 65(1993) 247
4. 井 村武, 川口正敏, 田島宣夫, 小玉春喜, 山田 信, 大杉利幸 : 鑄物, 66(1994) 858
5. 岡崎 健, 德吉 捻, 楠木弘明 : 鑄物, 65卷, 6(1993) 506
6. M. Nagumo : Acta Metall., 21 (1973) 1661
7. J. J. Jonas, B. Buadetet : Acta Metall., 25 (1977) 44
8. J. F. Janowak and R. B. Gundlach : AFS Trans., (1983) 377
9. J. Dodd : Foundry Trade J., 8 (1979) 693
10. Z. Yicheng : Giesserei, 67 (1980) 206
11. 高世炫, 洪英煥, 洪鍾徽 : 鑄物, 65卷, 6(1993) 474