

|||||||
論 文
|||||||

열처리 조건에 따른 주철연속주조봉의 미세조직 변화

김태봉 · 김선화 · 박상준*

The Microstructure Changes of Continuous Cast iron Rods According to the Heat-Treatment Conditions

Tae-Bong Kim, Seon-hwa Kim and Sang-Jun Park*

Abstract

The microstructure changes of the matrix and the graphites were observed by optical microscope and the average hardness number was investigated according to the heat-treatment conditions of the cast iron rods by the horizontal continuous casting process in 35 mm diameter. The three kinds of heat-treatments were introduced. The first treatment was performed at 900, 950, and 1000°C for 2 hours and the second treatment was conducted during 5, 10, and 15 hours at 1000°C respectively. The third treatments were the two-cyclic heat-treatment and the three-cyclic heat-treatment at 1000°C during 2 hours. The matrix microstructure of the specimens to be treated at various temperatures for 2 hours was the ferrite to be transformed from the pearlite. The hardness number of the center of the samples according to the heat treatment time at 1000°C was higher than that of the surface area because of the martensite formation in the center. Also, in the cyclic heat-treatments, the hardness number of the two-cycle treatment specimens increased because of the martensite formation in the center.

(Received March 7, 2000)

1. 서 론

일반적으로 주철은 사형주조에 의한 다양한 형태의 제품이 자동차부품 및 산업기기 등에 널리 사용되어 왔으나, 요즘은 흑연주형을 사용하여 연속주조법으로 제조한 주철제품으로 대체하려는 경향이 있다. 주철연속주조봉은 형상에는 제한이 있으나 절삭성이 우수하고, 가격이 저렴하며, 신뢰성이 있는 제품으로 수요가 증가할 것으로 예측되고있다. 또한 주철연속주조봉은 수축공 등의 내부결함이 없고, 내부까지 균일하고 치밀한 조직을 얻으며, 내압성이 우수하고 피로특성이 좋은 것으로 알려져 있다. 이러한 우수한 특성으로 인하여 자동차부품, 유공압기기, 금형소재 및 산업용기기 부품 등에 현재 널리 사용되고 있고 고진공용 부품재료에서도 종래의 A형 회주철에 비하여 내압성과 내마멸성이 우수한 D형의 회주철을 사용하는 실정이다[1-4].

이와 같이 주철연속주조봉이 우수한 성질을 갖는 이유는 흑연조직이 사형주물품에 비하여 냉각 속도가

빨라 공정상흑연이 형성되고, 기지조직을 펄라이트 혹은 페라이트로 제조할 수 있기 때문이다.

그러나 이 주조법은 다량생산방식에는 적합하지만 소량생산에는 적합지 않은 단점이 있다[5]. 더욱이 고기능성주철이 대부분 소량생산이기 때문에 사용용도에 적합하게 기능을 향상시키기 위하여 소둔열처리, 소입-소려열처리등을 위한 기초연구가 선행되어야 한다. 그러나 주철연속주조봉의 열처리특성에 관한 연구가 거의 전무한 실정으로, 본 연구에서는 주철연속주조봉에 관하여 열처리에 따른 흑연의 형태와 크기의 변화를 조사하고, 기지조직인 펄라이트와 페라이트의 변화를 관찰하였다.

2. 실험방법

2.1 시편준비

열처리에 따른 미세조직 변화를 조사하기 위하여 35 mm ϕ 주철연속주조봉을 두께가 10 mm인 원주형 모

순천향대학교 재료공학과(Dep. of Materials Engineering Soonchunhyang University)

*천안공업전문대학 열처리공학과(Dep. of Heat Treatment Cheon-an National Technical College)

Fe	C	Si	Mn	Ti	Sn	Mo	Cr	Sb	Cu
Bal.	3.4	2.7	0.6	0.15	0.09	0.1	0.1	0.05	0.5

Fig. 1. Chemical composition of specimen(wt.%)

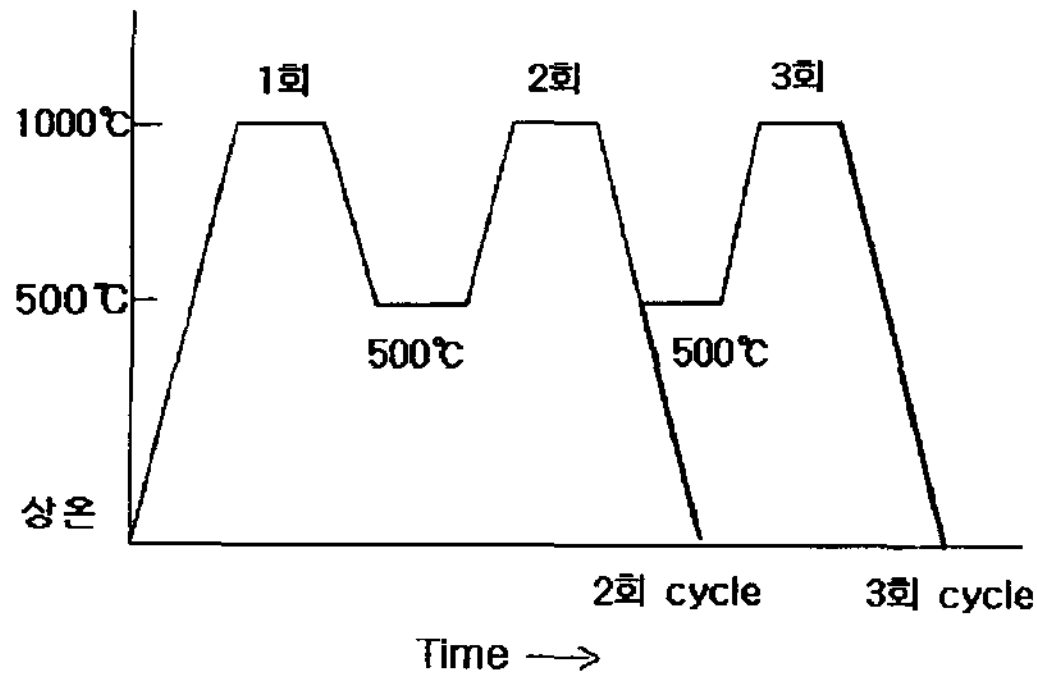


Fig. 2. The diagram on the cycling heat treatment condition

양으로 절단하여 시편을 준비하였다. 이 시편의 화학조성을 Fig. 1에 나타내었다.

22 열처리실험

주철연속주조봉의 열처리는 온도 변수에 따른 미세조직의 변화를 조사하기 위하여 전기로를 사용하여 900, 950, 그리고 1000°C에서 2시간동안 유지한 후 공냉하였다. 그리고 다른 열처리조건으로 1000°C에서 2시간씩 유지하는 사이클 열처리를 Fig. 2와 같이 행하였다. 또한 1000°C에서 5, 10, 그리고 15시간 동안 열처리한 후 공냉하여 이 온도에서 시간 변화에 따른 미세조직의 거동을 관찰하였다.

23 경도측정

주철연속주조봉의 열처리 전과 후 시편들을 SiC 연마지로 #1000까지 연마하고 1 μm 알루미나분말을 이용하여 경면처리하였다. 이와같이 준비된 시편을 로크웰경도기를 사용하여 중심에서 표면부까지 3 mm간격으로 측정하였다. 각 측정부위별로 C scale을 사용하여 각각 7회 측정한 후 최대값과 최소값을 제외한 5개의 평균 경도값을 나타냈다.

24 미세조직 관찰

열처리 전과 후의 시편들을 SiC 연마지로 #200

~#1000까지 연마하고 1 μm알루미나분말을 사용하여 한쪽 면을 경면처리 하였다. 그리고 아세톤에서 10분 동안 초음파 세척하고 건조한 후, 0.5% nital 용액에서 5~30초간 부식시킨 후 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 중심부는 시편의 정중앙에서 3 mm, 가운데 부위는 정중앙에서 9 mm 떨어진 지점을 관찰하였다. 표면부는 시편의 표면에서 2.5 mm 안쪽부분의 미세조직을 살펴보았다.

3. 결과 및 토의

3.1 온도변화에 따른 미세조직 변화

본 연구에서 사용한 주철연속주조봉은 합금조성이 공정 조성 부근으로 공냉시 기지조직이 공정상으로 나타나지만 연속주조시 빠른 냉각에 의하여 미세조직에 변화가 생긴다. 주조상태 그대로의 시편의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 결과 흑연의 모양은 Fig. 3과 같이 과냉조직인 D형으로 나타났으며[2] 표면부위로 갈수록 E형 조직과 매우 유사하게 나타났다. 이 결과 연속주조재는 사형주조에 비하여 냉각속도가 매우 크다는 것을 미세조직으로 확인할 수 있었다. 이들 연속주조재내에서도 부위에 따라 냉각속도가 차이가 나므로, 냉각속도가 느린 중심부는 다소 조대한 조직으로, 표면부는 열방출이 용이한 흑연주형에 의해 냉각속도가 커서 과냉이 이루어지므로 미세한 조직으로 응고하였다. 오스테나이트의 크기도 냉각속도 차이에 의하여 표면 부위에서는 미세하고 내부로 갈수록 증가하였다. 또한 오스테나이트는 Fig. 3과 같이 공석온도에서 모두 펄라이트조직으로 변태한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 기지조직을 펄라이트화를 조장하는 Cu, Sn, Sb 원소가[6] 합금조성에서 나타난 바와 같이 첨가되었기 때문이다.

Fig. 4는 주철연속주조봉을 900°C, 950°C, 그리고 1000°C에서 2시간 동안 유지한 후 공냉하여 얻은 시편의 미세조직을 나타낸 것이다. 이들 미세조직을 보면 열처리온도가 증가할수록 흑연의 성장과 페라이트 양이 증가함을 알 수 있다. 특히 1000°C에서 2시간 열처리한 시편에서 많은 양의 페라이트가 형성됨을 알 수 있다. 그리고 이 온도에서 오스테나이트의 일부가 냉각 중에 내부에서 마르텐사이트조직으로 변태되었다. 이 미세조직을 확인하기 위하여 미소경도를 측정 하였다. 이 조직의 비커스 미소경도값은 약 650~750 Hv, 펄라이트

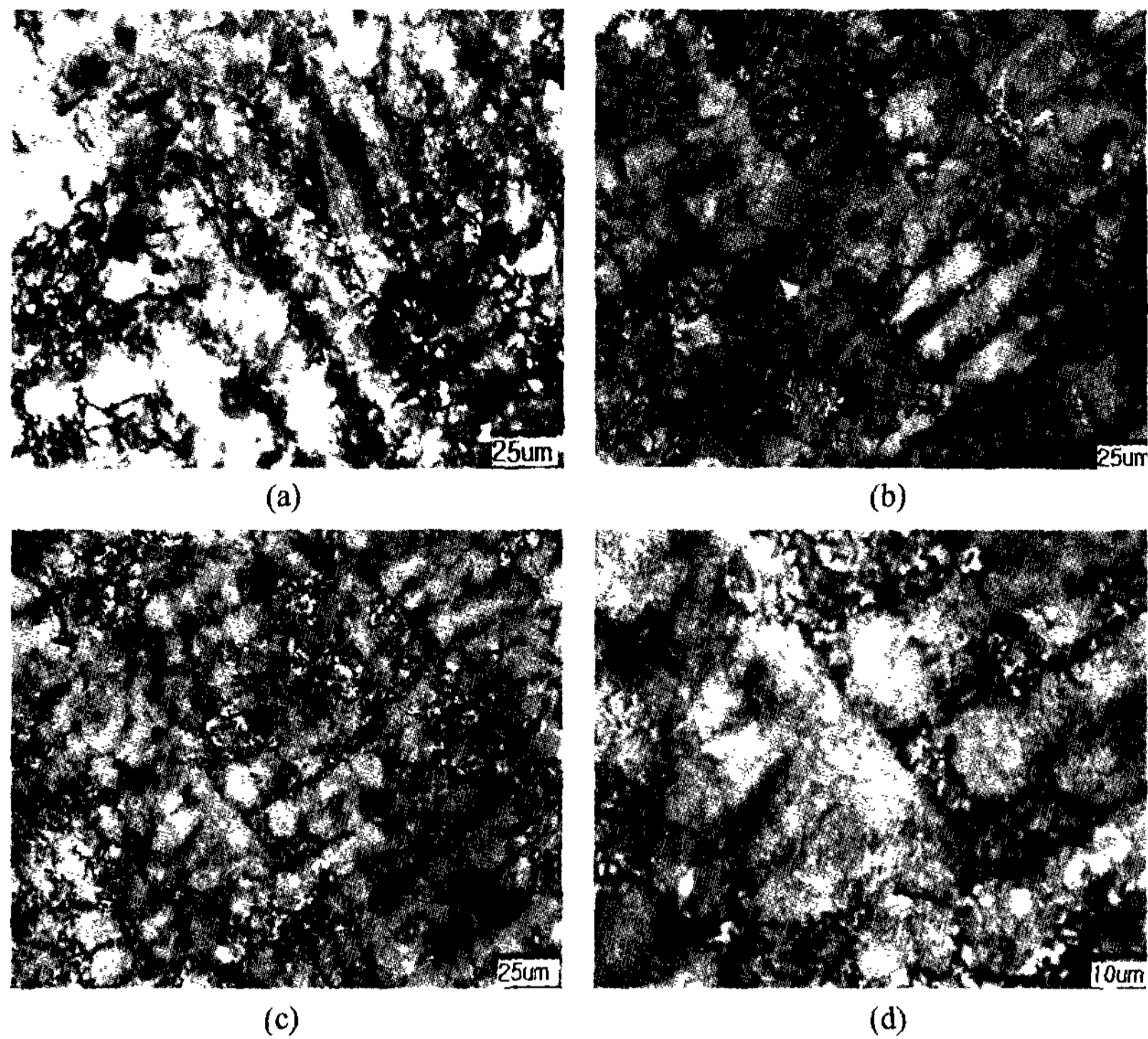


Fig. 3. Representative microstructures of the continuous cast iron rods as a function of distance from the outer surface of the casting ; (a)(c) at outer surface, (b)(d) center

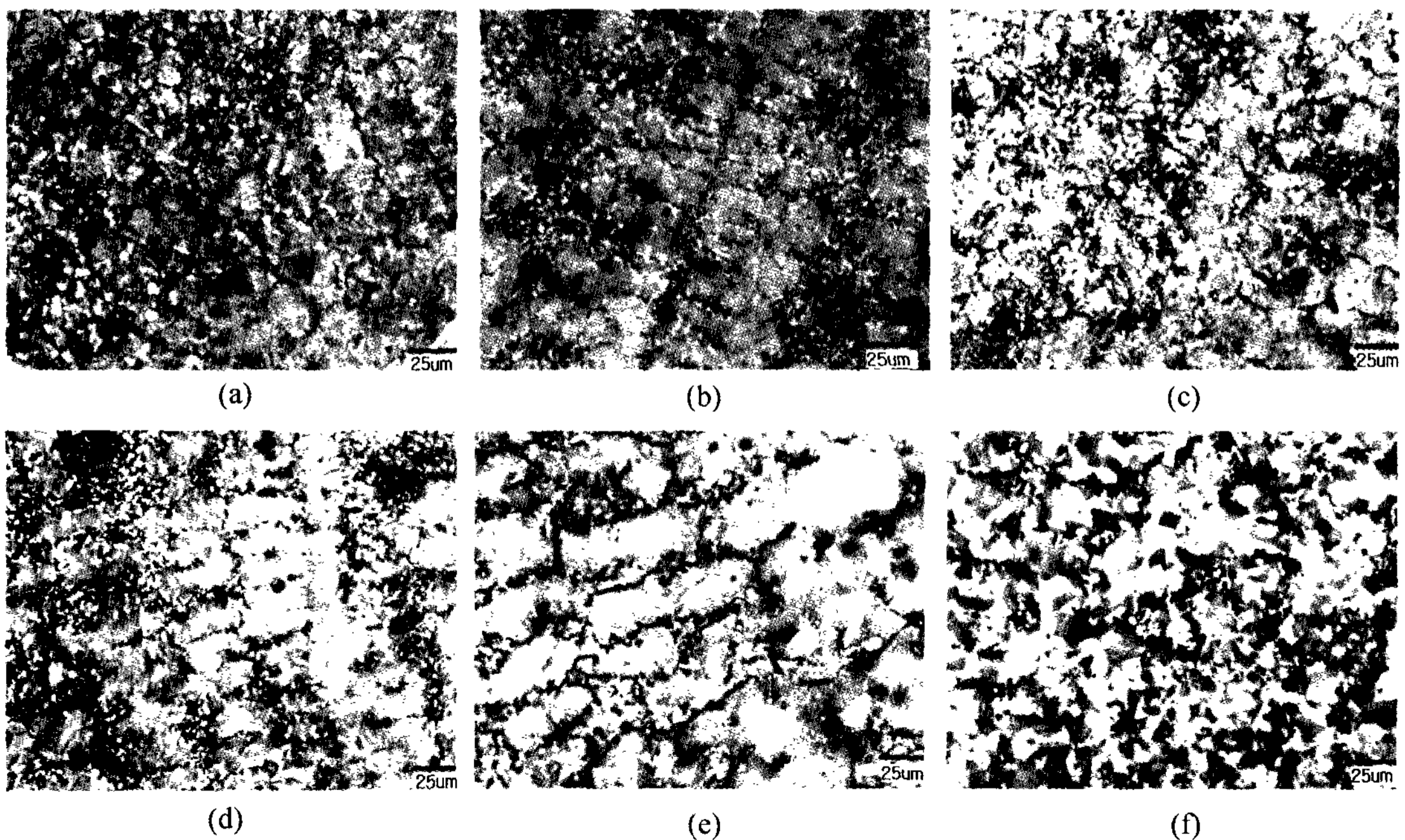
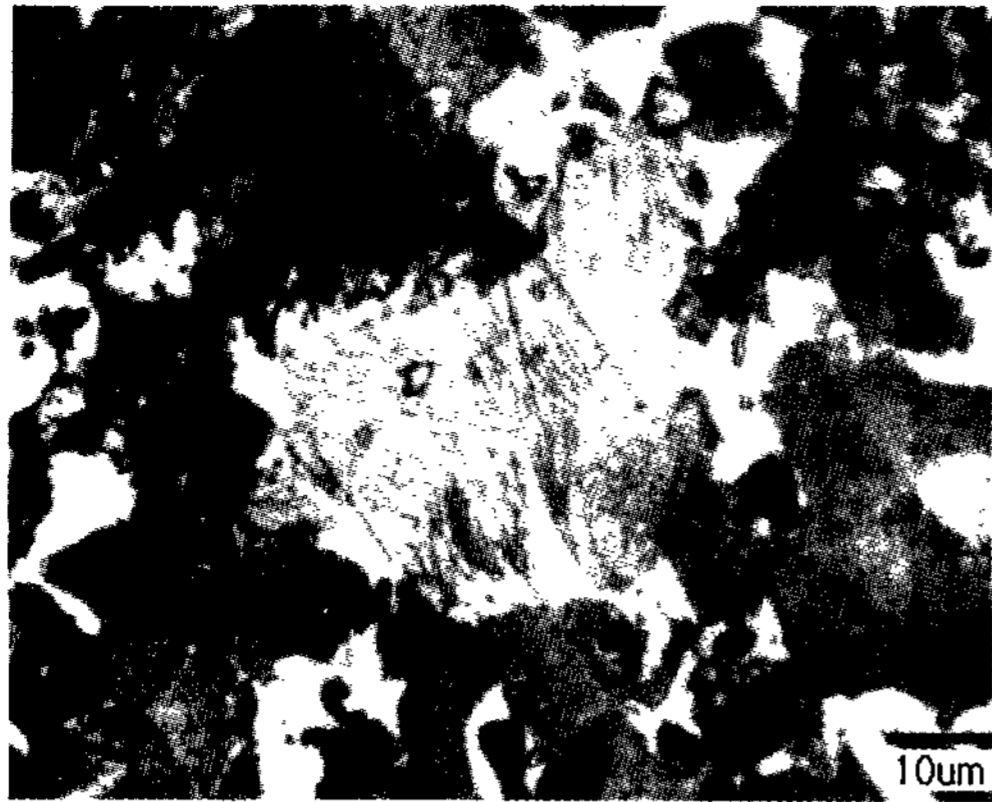
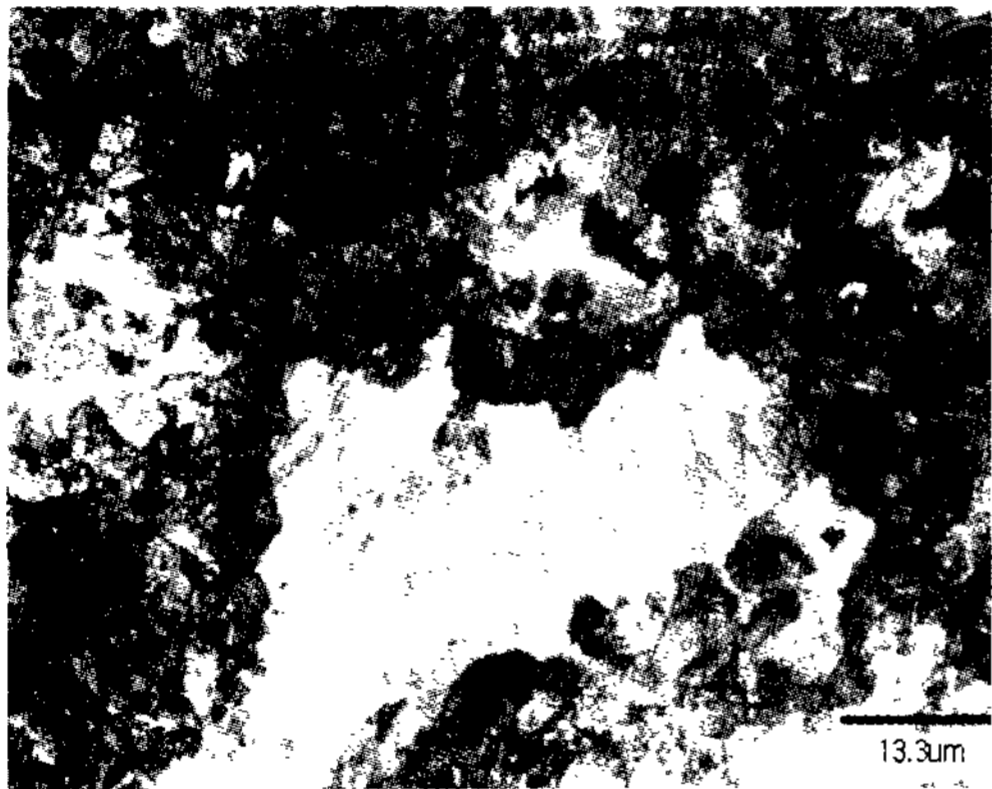


Fig. 4. Optical Micrographs of continuous grey cast iron after isochronal heat treatment for 2hrs. (a) center, 900 °C (b) surface, 900°C (c) center, 950°C (d) surface, 950°C (e) center, 1000°C (f) surface, 1000°C



(a)



(b)

Fig. 5. Optical micrographs of Martensite. (a) 2h (b) micro-Vickers test load 200 g

는 약 400 Hv, 페라이트가 약 300 Hv전후로 마르텐사이트 조직임을 확인하였다. Fig. 5에 경도 측정시 나타나는 압흔모습을 나타내었다. 또한 공냉시 마르텐사이트 생성원인은 정확히 알 수는 없지만, EDS 실험 결과 Fig. 9에서와 같이 응고조직에서 Si은 균일하게 고용되고, Ti 및 Cu 원소의 경우는 입계에 편석이 되는 것으로 나타났다. 그러나 1000°C에서 15시간 열처리한 후에는 Si의 확산이 중심부에서 입계 쪽으로 확산된 것을 Fig. 10에서 확인할 수 있었다. 이것으로 보아 열처리시 흑연 분해에 따른 고용 탄소 증가와 Si의 감소에 의하여 공냉시 마르텐사이트가 쉽게 생성될 수 있는 농도로 변화했기 때문으로 추정된다. 이 온도에서 생성된 마르텐사이트의 부피분율은 표면부 보다 중심부에서 더 크게 나타났다. 이 결과에 관한 연구는 앞으로 더 진행되어야 할 것이다. Fig. 6은 열처리 온도변

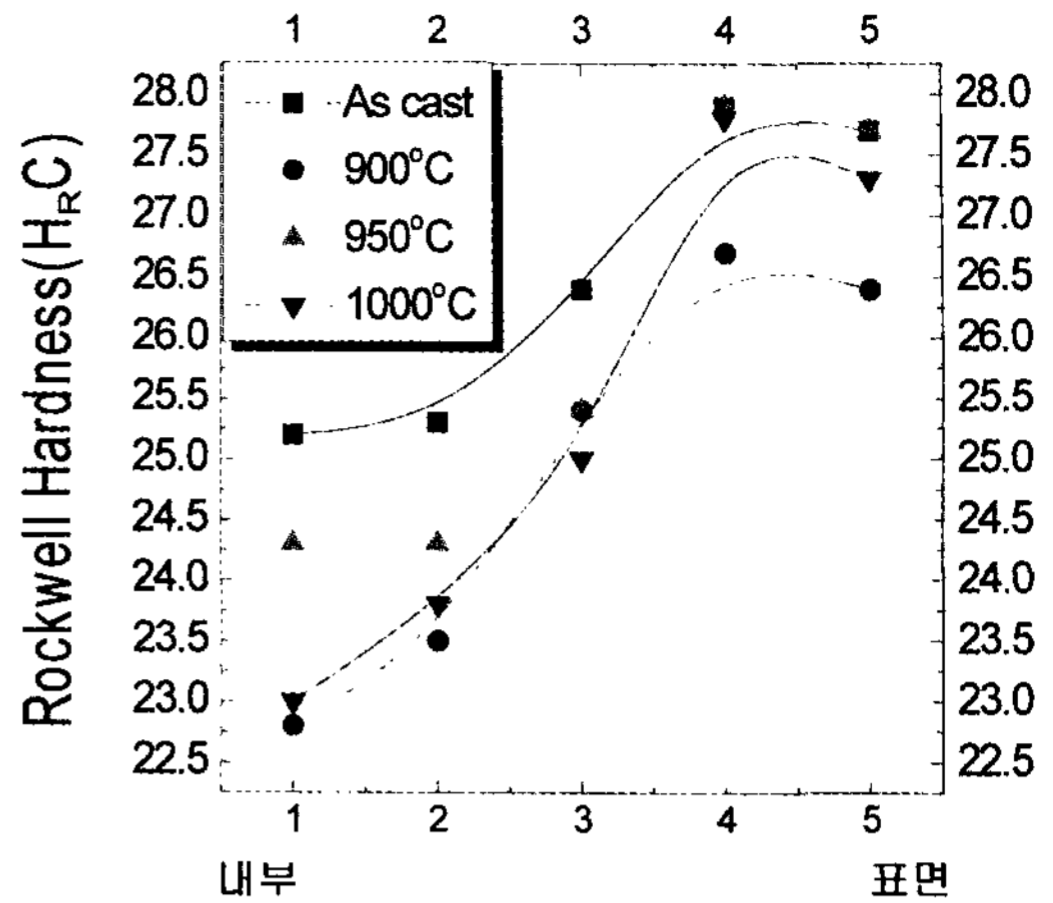


Fig. 6. Change of Rockwell hardness as a function of temperature after air cooling.

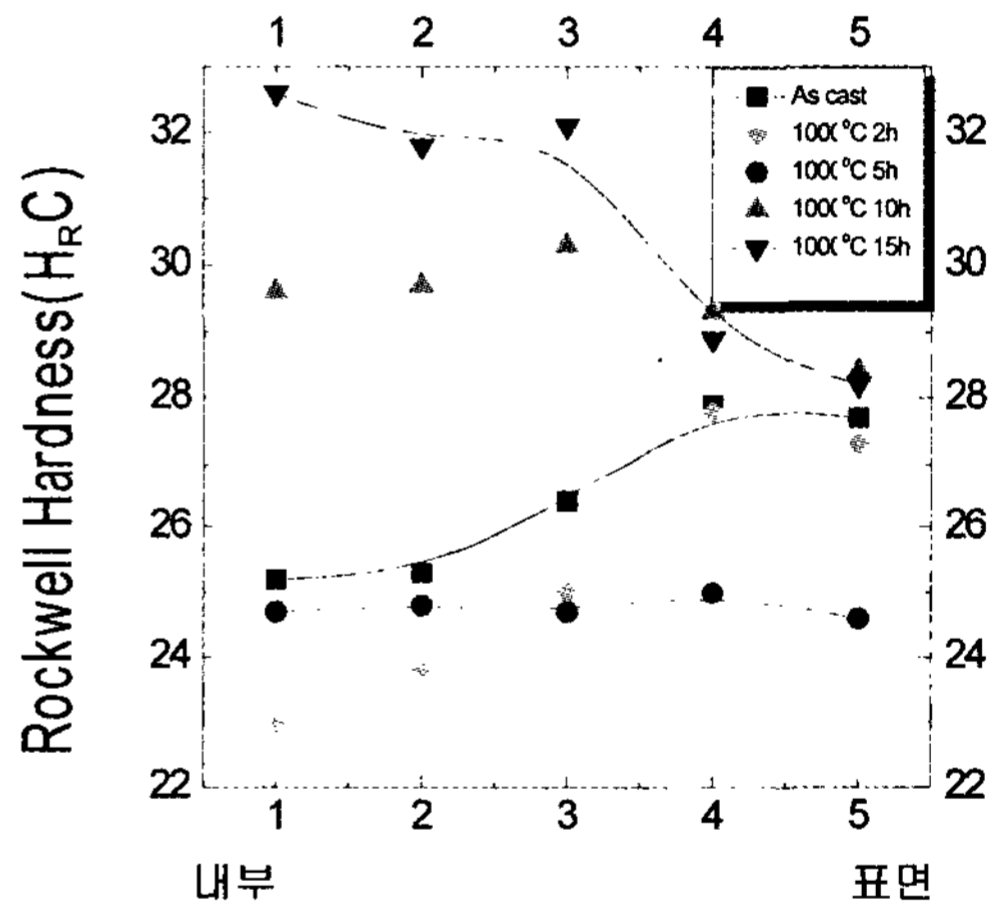


Fig. 7. Change of Rockwell hardness as a function of time at 1000°C

화에 따른 측정된 각 시편의 경도값으로 950°C에서 2시간 유지한 시편에서 마르텐사이트가 형성된 1000°C보다도 경도가 더 크게 나타났다. 이것은 1000°C에서 열처리한 시편의 경도상승은 마르텐사이트조직에 기인한 것으로 확인되었으나 950°C에서 열처리한 시편 보다 흑연의 성장과 페라이트의 부피분율 증가가 크게 작용되어 오히려 경도가 작은 것으로 사료된다.

3.2 1000°C에서 시간변화에 따른 미세조직 변화

시간에 따른 주철연속주조봉의 미세조직 변화를 조사하기 위하여 1000°C에서 시간은 변수로 열처리를 행하고 공냉하였다. 이들 시편의 경도변화와 미세조직을

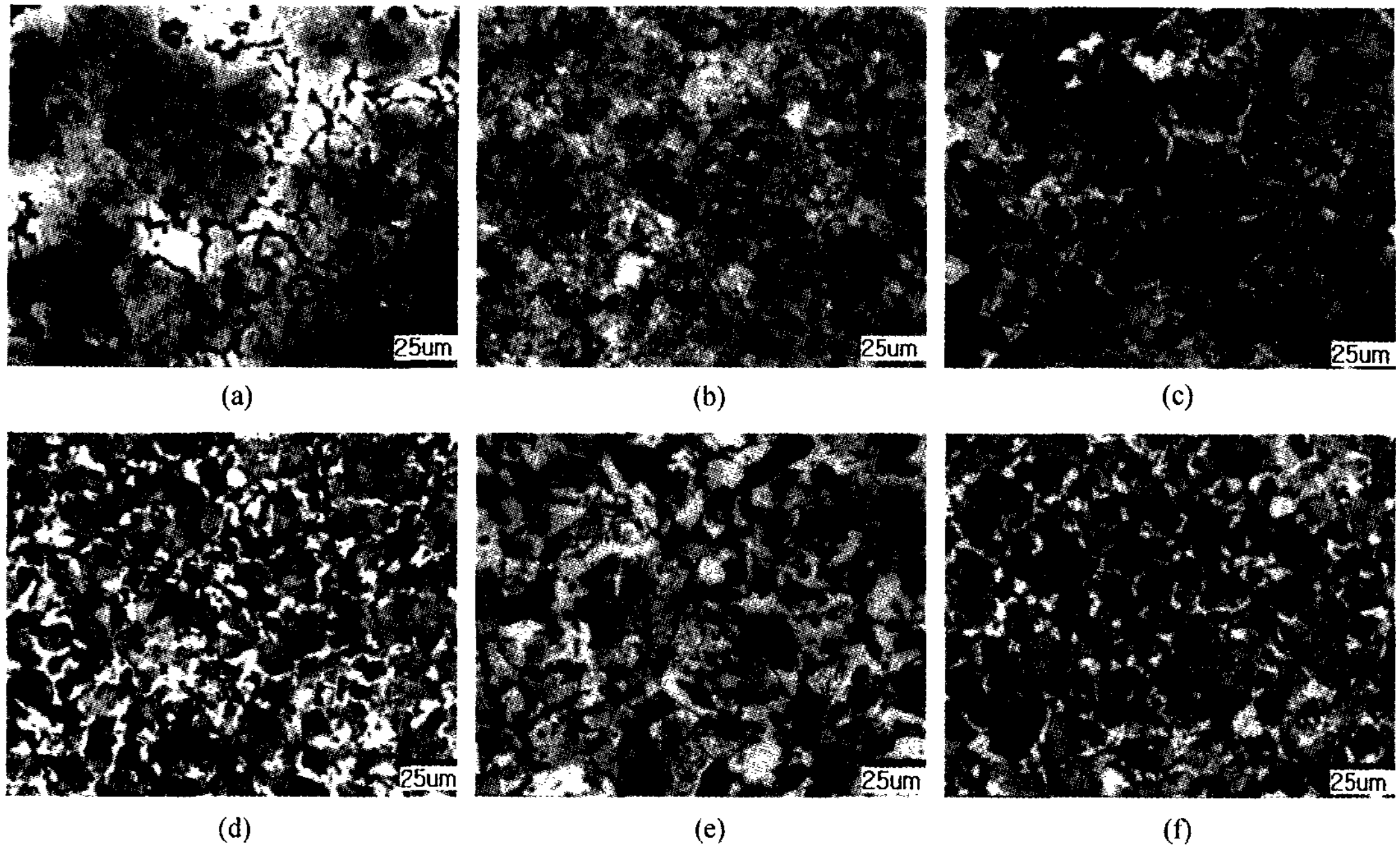


Fig. 8. Optical Micrographs of contiuous grey cast iron after isothermal heat treatment at 1000 °C (a) center, 5hrs (b) surface, 5hrs (c) center, 10hrs (d) surface, 10hrs (e) center, 15hrs (f) surface, 15hrs

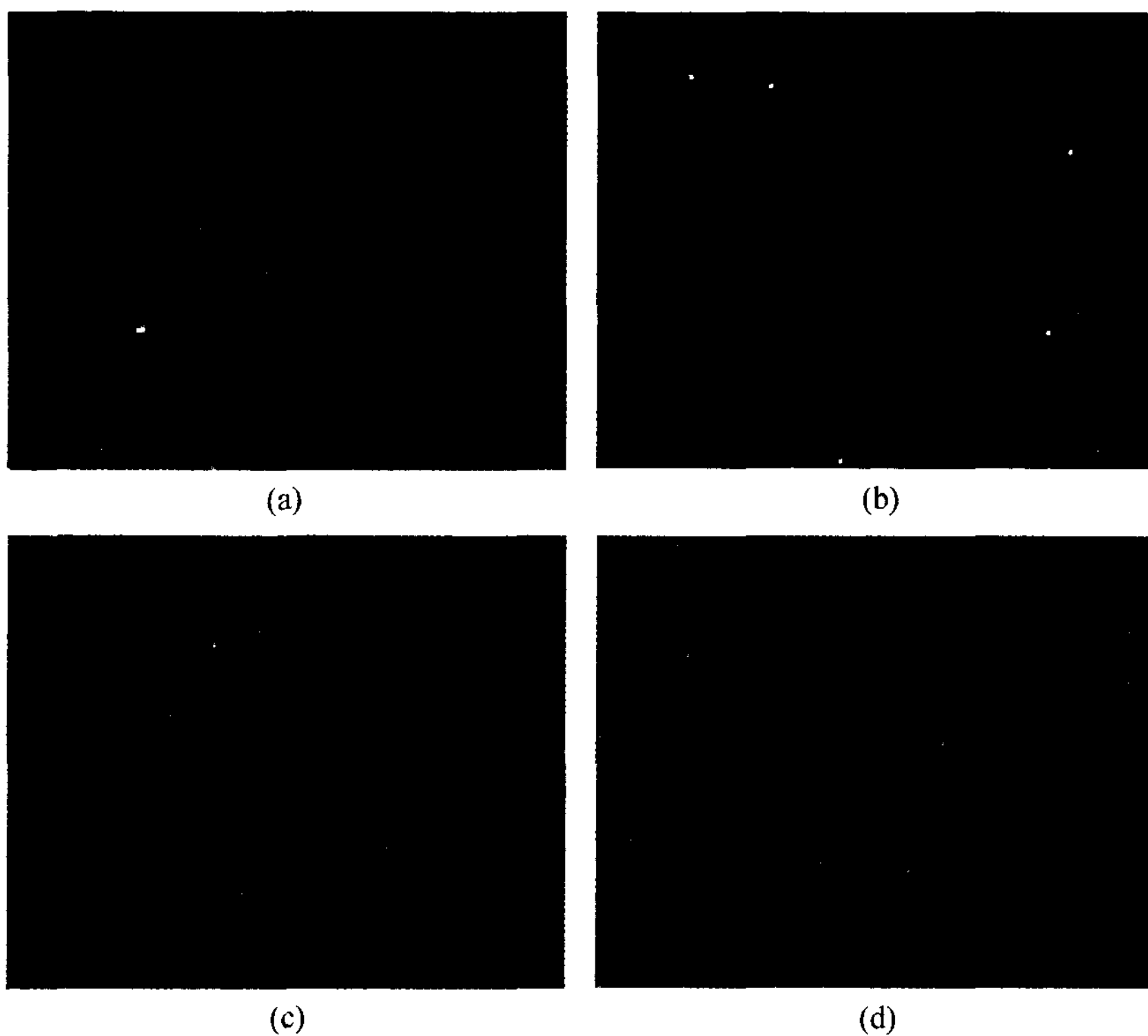


Fig. 9. X-ray mapping images of as-cast.($\times 1000$)(a) image (b) Ti (c) Si (d) Cu

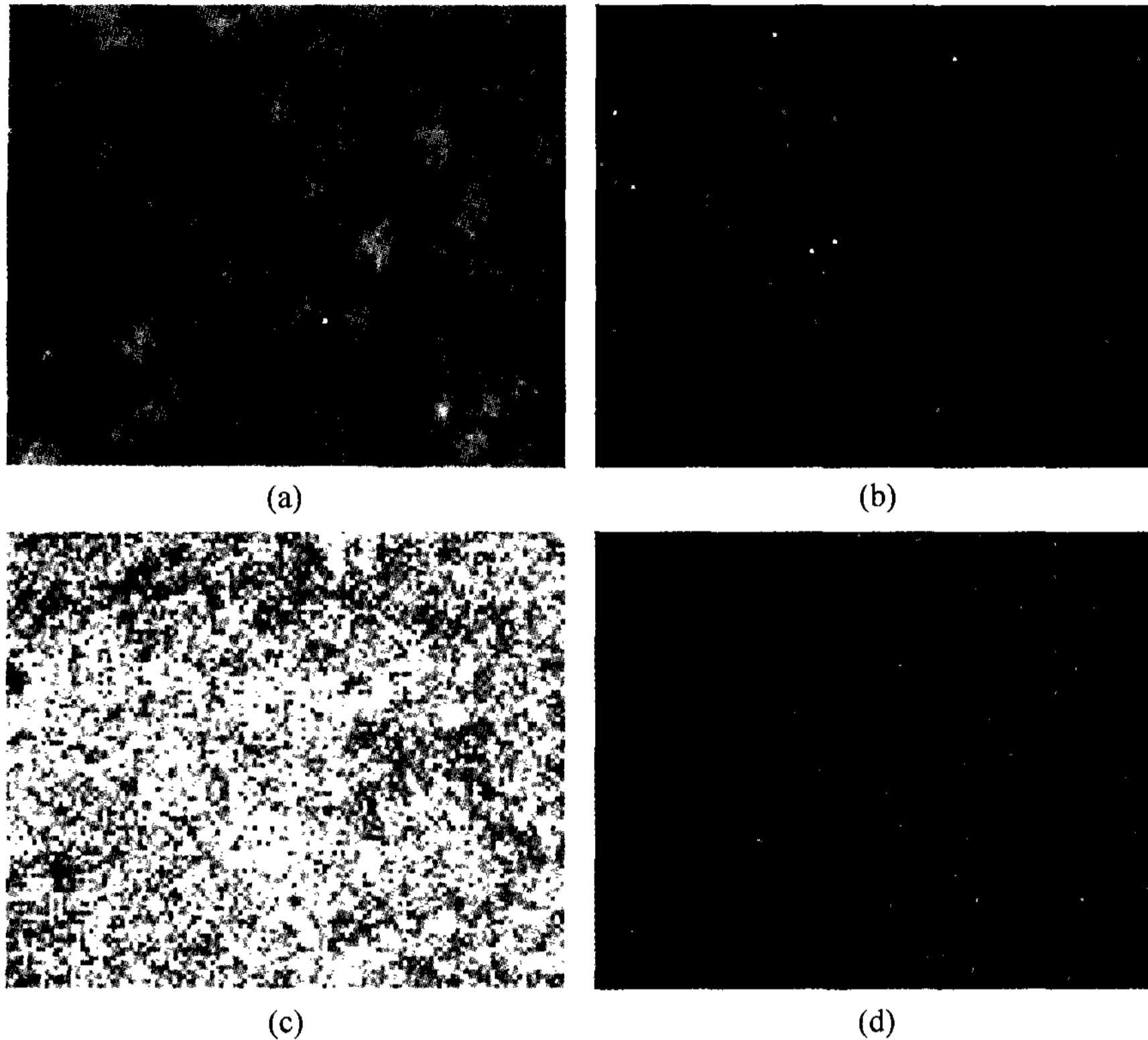


Fig. 10. X-ray mapping images of continuous grey cast iron at 1000°C for 15hours. (×1000) (a) center image (b) Si (c) surface image (d) Si

Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7의 결과를 보면 시간이 증가할수록 열처리 전 시편와는 달리 중심부 부근의 경도가 표면 부근 경도 보다 경도증가가 매우 커서 응고상태와는 달리 표면 부위 보다 경도값이 크게 나타났다. 이것은 Fig. 8의 미세조직에서 볼 수 있는 바와 같이 시간이 증가함에 따라 흑연의 모양이 편상에서 구형화하는 中村(7)등의 연구결과와 일치하고, 오스테나이트내의 성분상의 불균일 때문에 냉각시 오스테나이트가 마르텐사이트조직으로 일부분 변태하였기 때문으로 생각된다. 이러한 마르텐사이트의 생성량은 중심부로 갈수록 증가하였는데, 중심부가 표면 부위 보다 경도가 큰 이유를 확인하여 준다. 또한 중심부 부분의 경우 1000°C에서 유지시간이 길어질수록 마르텐사이트 조직의 생성이 증가하는 것으로 보아 공냉시 마르텐사이트 조직이 용이하게 생성될 수 있는 조성으로 되었기 때문으로 생각되는데, 이것에 관한 조사는 추후에 행할 예정이다.

Fig. 7에 나타낸 경도값을 보면 1000°C에서 시간을

달리하여 열처리한 결과 15시간 열처리한 시편에서 경도가 가장 크게 나타나고 있는데, 미세조직 관찰 결과 마르텐사이트의 양이 다른 시간에 비하여 증가함을 알 수 있었다. 이들 경도변화에서 나타난 결과는 1000°C에서의 열처리는 시간의 증가에 따라 마르텐사이트조직 부피분율이 증가하게 되어 경도가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 주철연속주조봉의 경도증가는 마르텐사이트조직에 기인하므로 마르텐사이트의 생성조건을 조사하는 것이 매우 중요하다.

3.3 싸이클에 따른 미세조직 변화

Fig. 2에 도시한 방법으로 1000°C에서 1회, 2회, 3회 싸이클 열처리를 하여 미세조직과 경도변화를 조사하였다. Fig. 11과 Fig. 12는 싸이클 열처리 결과이다. Fig. 12에서 보면 1000°C에서 1회 싸이클 열처리한 시편에서는 as cast상태와 비교해볼 때 중심으로 갈수록 경도가 감소하였다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼 중심부의 기지조직이 펄라이트에서 페라이트로 분해하

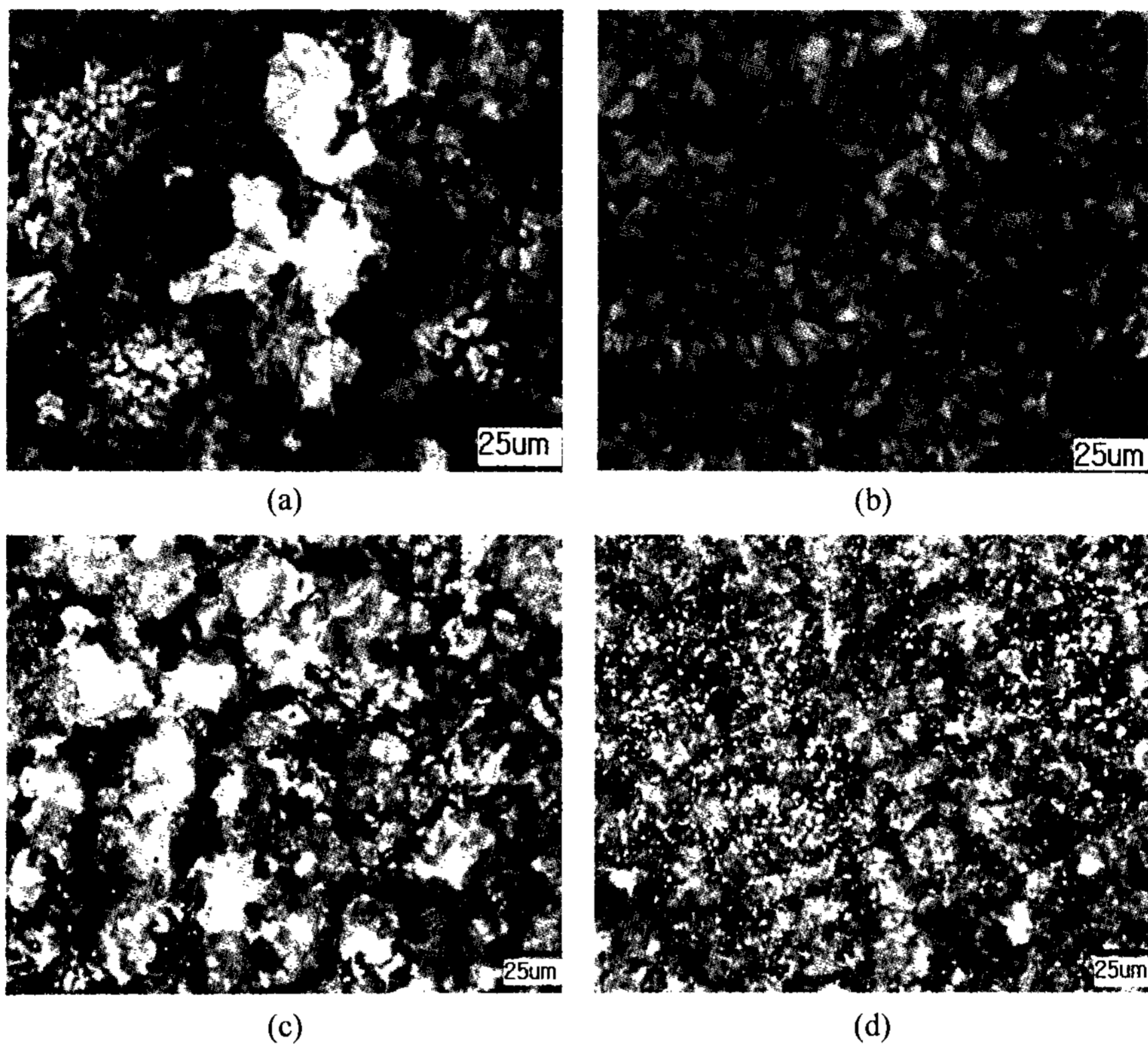


Fig. 11. Optical Micrographs of continuous grey cast iron after cycle heat treatment at 1000 °C (a) center, (b) surface, 2 cycle (c) center, 3 cycle (d) surface, 3 cycle

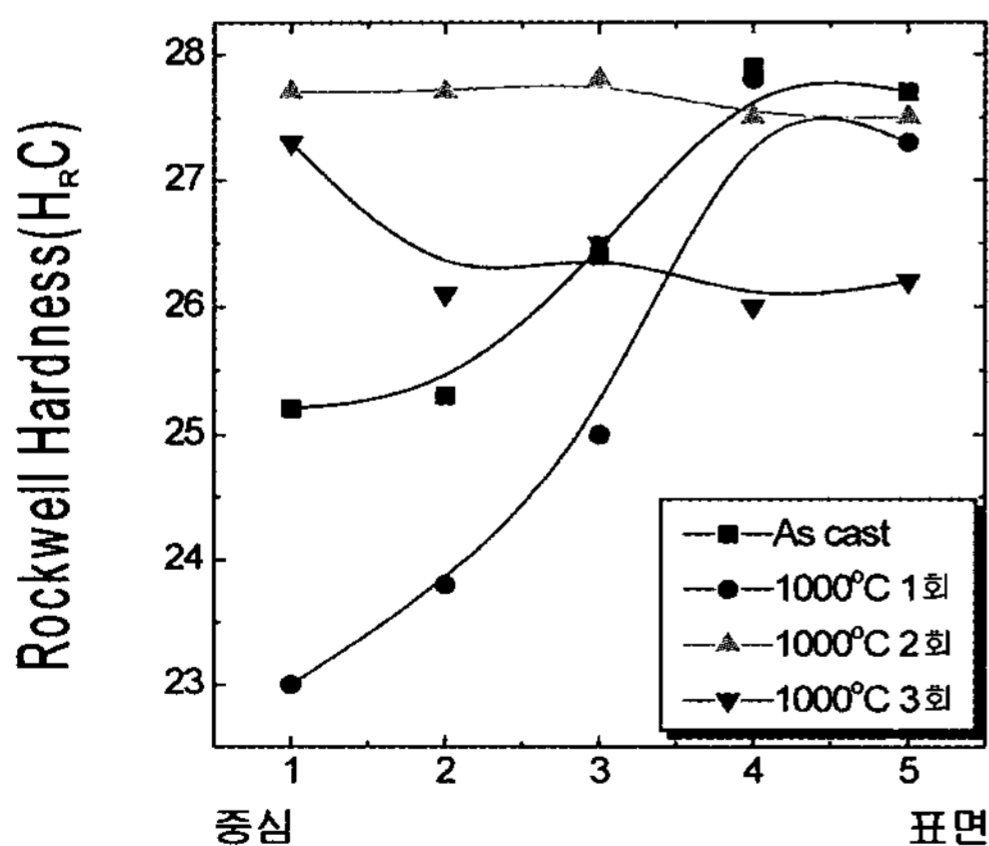


Fig. 12. Change of Rockwell hardness as a function of thermal cycle at 1000 °C.

였기 때문이다. 1000 °C에서 2회 사이클한 경우에는 표면은 거의 변화가 없고 중심으로 갈수록 경도가 상승하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 Fig. 11(a)에서 알 수

있는 바와 같이 기지조직이 펄라이트와 일부분 마르텐사이트조직으로 나타났기 때문이다. 1000 °C에서 3회 사이클 열처리 실험한 시편에서는 2회 사이클 보다는 전체적으로 경도가 감소하였다. 주조상태와 비교하여 보면 가운데를 기점으로 표면쪽으로는 경도가 감소하였고 중심쪽으로는 경도가 상승한 것을 볼 수 있다. 이것은 열처리시간이 길어짐에 따라 표면부의 탈탄과 펄라이트기지조직의 분해가 많이 이루어지고, 중심부에서는 페라이트의 양의 증가와 함께 마르텐사이트가 일부분 형성되었기 때문이다.

또한 흑연입자의 미세화와 심하게 변형된 조직이 관찰되었는데, 이것은 사이클시 팽창과 수축의 반복에 따른 응력의 영향으로 고찰된다. 사이클 반복에 따른 조직변화 조사 결과에서도 시간변수에 따른 조직에서와 같이 마르텐사이트 조직이 관찰되는 것으로 미루어, 이 합금조성에서는 적절한 열처리 온도와 시간에서 용질원자들의 확산에 의해 마르텐사이트가 공냉에 의하여 생성되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

주철연속주조봉을 900, 950, 그리고 1000°C에서 시간, 온도, 싸이클수를 변수로 열처리하여 미세조직 관찰과 경도변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주철연속주조봉의 응고조직은 표면과 내부 모두 D형 공정조직이었으며, 기지조직은 펄라이트였다.
2. 초정오스테나이트의 크기는 냉각속도의 차이에 의하여 표면부위에서 중심부위로 갈수록 조대화 되었다.
3. 온도를 변수로 실험한 시편에서는 펄라이트조직의 일부분이 페라이트로 분해되었고, 흑연의 형태는 편상에서 구상으로 변화하였다.
4. 1000°C에서는 열처리 시간이 증가할수록 중심부

에서 마르텐사이트조직의 분율이 증가하였다.

5. 이 합금 조성에서는 열처리 후 공냉에 의하여 마르텐사이트가 형성되었다.

참 고 문 헌

- [1] C. O. Chol : The Journal of KFS, 10(1990)459
- [2] L. Y. Park : The Journal of the KFS, 7(1987)231
- [3] J. H. Hwang : Foundry Technology, Vol. 2, 2(1978)34
- [4] H. Y. Ra : Foundry Technology, Vol. 1, 1(1977)35
- [5] Kiyook Sawada, K. Koda, R. Nanba : Imono, 47, 3(1975) 184
- [6] Yasuhiko Kondo, Toshiyuki Nishio, Kazuo Yaswe, Shuji shibata, Imono, 57, 7(1985)426
- [7] Mitsuru Nakamura, Yasuhiko Kondo Imono, 55, 11(1983) 688