

|||||||
論 文
|||||||

CV 흑연주철의 기계적 성질에 미치는 경질의 제2상의 영향

박 윤 우

The Effect of Harder Second Phase on Mechanical Properties of Compacted/Vermicular Graphite Cast Iron

Yoon-Woo Park

Abstract

In this study, CV cast iron was reverse transformed to produce harder second phase surrounding graphite nodules, and then the microstructure and related mechanical properties of the reverse transformed CV cast iron were investigated by using optical microscopy and by carrying out hardness, tension and impact test. The formation of hard second phase surrounding graphite nodules increased the hardness in CV cast iron. The marked increase in hardness was resulted from the formation of martensite surrounding graphite nodule. It is expected from these results that the formation of martensite surrounding graphite nodule would improve the wear resistance of CV cast iron. The formation of both martensite and pearlite surrounding graphite nodule improved the tensile properties. Impact properties were decreased with increasing the volume fraction of hard second phase. However, the reduced impact properties could be recovered through phase transformation of martensite into pearlite and sorbite by tempering. (Received January 15, 1999)

1. 서 론

CV흑연주철은 편상흑연주철에 비해 강도, 연성, 산화저항등이 우수하며 구상흑연주철에 비해 절삭성, 열전도율, 주조성등이 양호하기 때문에 실린더헤드, 실린더블록등 자동차 부품과 잉고트케이스등에 널리 사용되고 있으며 CV흑연주철에 관한 연구[1-12]가 매우 활발하다. 그러나 주조상태 그대로의 주철은 흑연과 페라이트 기지조직의 경계부에서 공동이 생성되어 흑연이 파괴의 기점이 되기 때문에[13, 14] 높은 강도를 요구하는 부품에서는 사용에 제한을 받는다. 이를 개선하기 위해서 A_c 변태온도 이상으로 급속가열한 후 소입하는 방법으로 흑연주위에 마르텐사이트 조직을 형성시켜 결합으로 작용하는 흑연의 취약점을 보강하고 소성변형을 억제하는 방법이 연구 보고[14-19]되었다.

이와 같은 연구는 흑심가단주철, 구상흑연주철의 경우에 한정되어 있으며 아직 CV흑연주철의 경질의 제2상에 관한 연구는 적은 편이다.

따라서 본 연구에서는 통상적인 가열방법으로 단시간 동안 CV흑연주철에 역변태를 일으킨 다음 공랭 또는 수냉시켜 흑연 주위에 펄라이트, 마르텐사이트 및 솔바이트의 경질의 제2상을 형성시켜 이들 조직의 체적분율에 따르는 인장강도 및 충격치의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 제조

본 연구에 사용한 원료 및 흑연구상화제의 화학성분은 Table 1 및 Table 2와 같다.

CV흑연주철 제조용 선철을 유도 전기로에서 용해한 후 탈황제(LOSULFAR) 2%를 표면첨가하고 교반하여 탈황시킨후 슬래크를 제거하고 주철제 금형에 주입하여 원료선을 제조하였다. 이 원료선을 다시 유도전기로에서 재용해한 후 전해철을 장입하여 탄소의 함량을, Fe-Mn을 첨가하여 Mn의 함량을 각각 조정하고 Fe-Si(6 mesh)합금을 첨가하여 규소의 함량을 조정하

Table 1. Chemical composition of materials (wt. %)

Composition	C	Si	Mn	P	S	Fe
Pig iron	4.10	1.87	0.25	0.05	0.05	Bal.
Electrolytic iron	0.015	0.15	0.25	0.008	0.001	Bal.
Fe-Si	-	75	-	-	-	Bal.

Table 2. Chemical composition of TDCR8 (wt. %)

Mg	Ca	Re	Si	Fe
7.0~9.0	3.5	2.5	45	Bal.

Table 3. Chemical composition of test specimen (wt. %)

Test specimen No.	C	Si	Mn	P	S	Mg
M1	3.68	2.16	0.24	0.064	0.006	0.011
M2	3.70	2.16	0.28	0.075	0.013	0.013

였다. 용탕의 온도가 1450°C정도 되었을 때에 Table 2와 같은 흑연 구상화제(TDCR8) 0.8%를 용탕표면에 첨가한 후 교반하여 CV흑연 용탕을 얻었고 Fe-Si(10 mesh)합금으로 접종시킨 후 Fig. 1과 같은 생사형에 주입하였다. 이와 같이 제조된 시료의 화학조성은 Table 3과 같다.

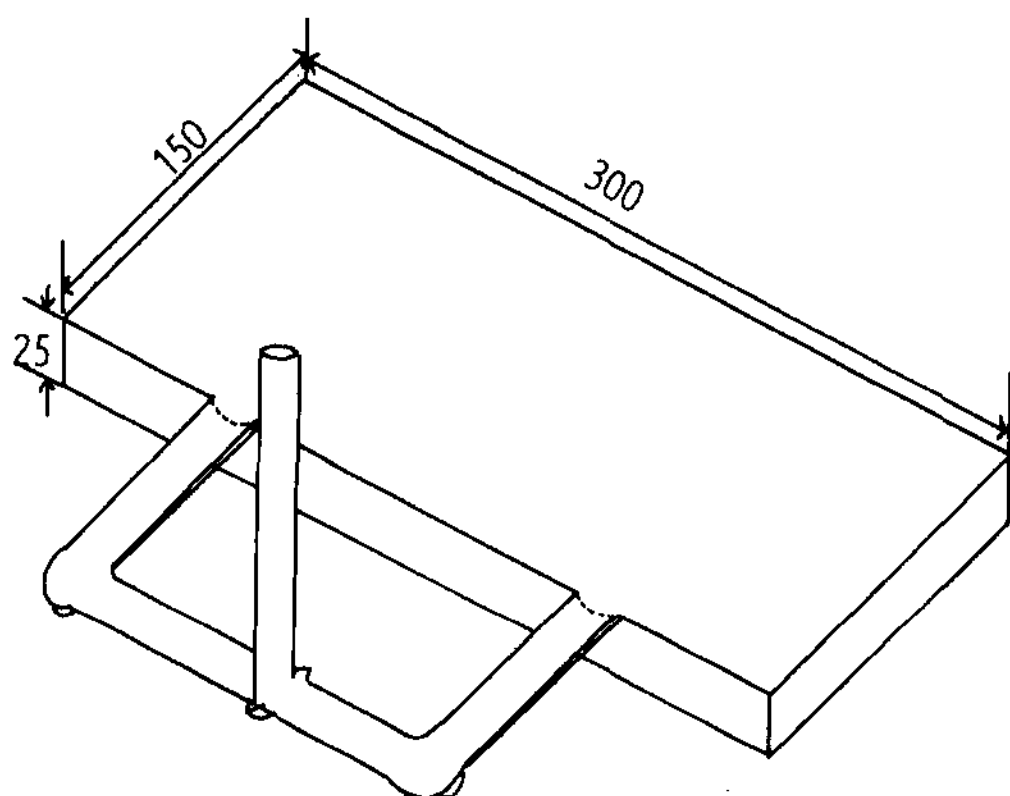


Fig. 1. Dimension of sand casting (unit: mm).

2.2 시료의 전처리 및 가공

본 실험과정을 Fig. 2에 나타냈으며 응고, 냉각후 20×150×100 mm로 면삭가공을 끝낸 시료를 기지조 직중의 세멘타이트 및 펄라이트를 분해시키기 위하여 900°C에서 1시간 가열하는 제1단계 흑연화처리를 거쳐 4°C/min의 냉각속도로 노냉을 한 후 720°C에서 16시간 항온유지 후 공냉시켜 기지조직을 페라이트화 하는 제2단흑연화처리를 하였으며 이와 같은 연화소둔 사이클은 Fig. 3과 같다. 연화소둔처리를 한 판재로

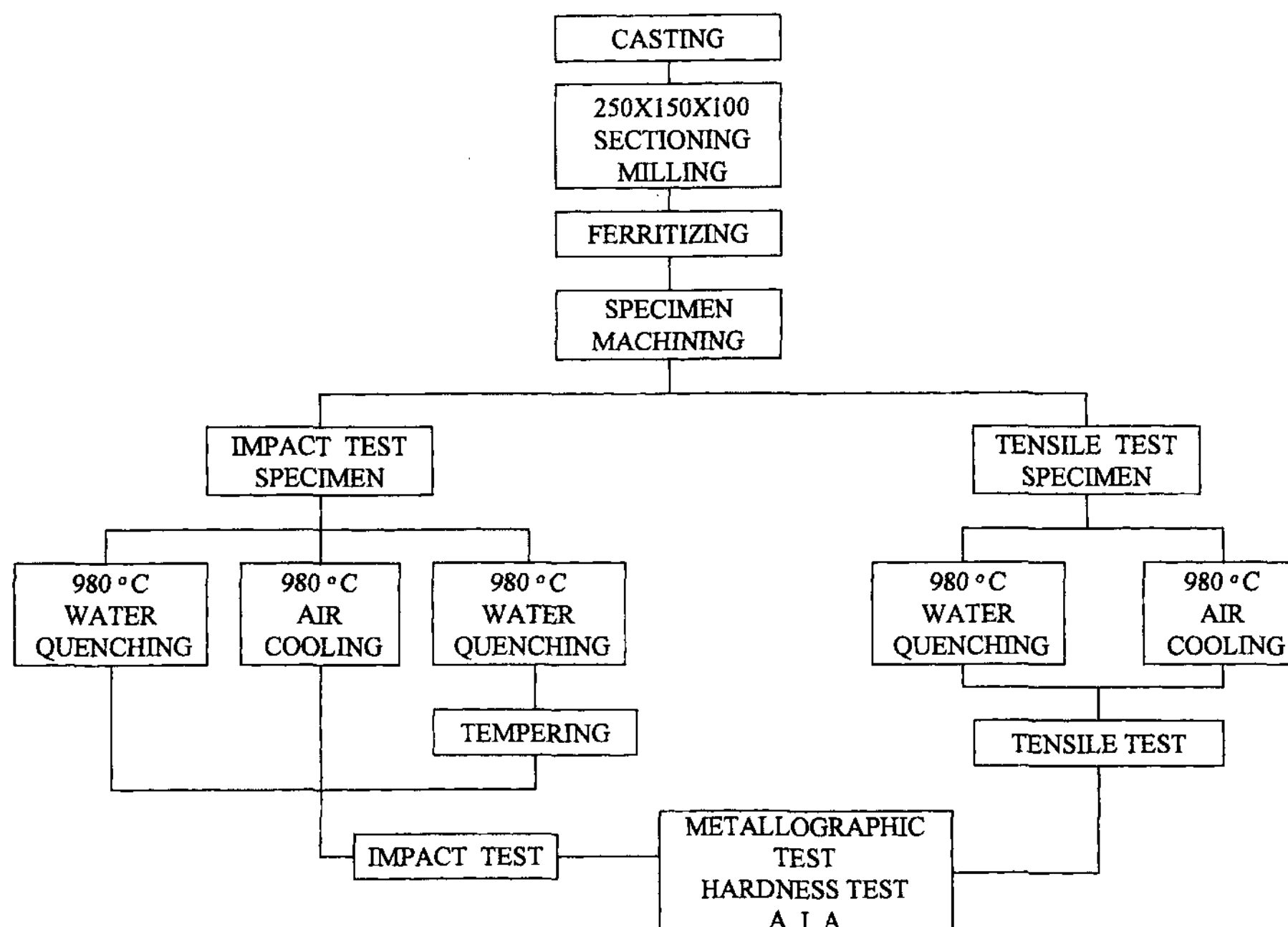


Fig. 2. Block digram of experimental process.

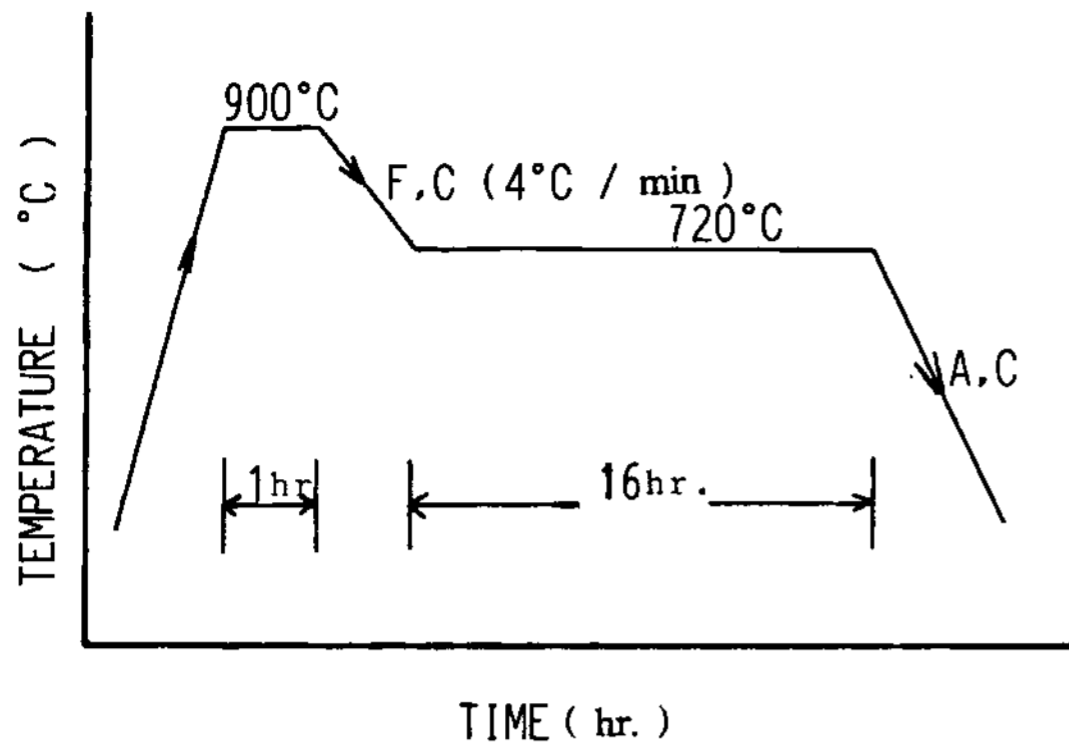


Fig. 3. Heating cycle for ferritizing.

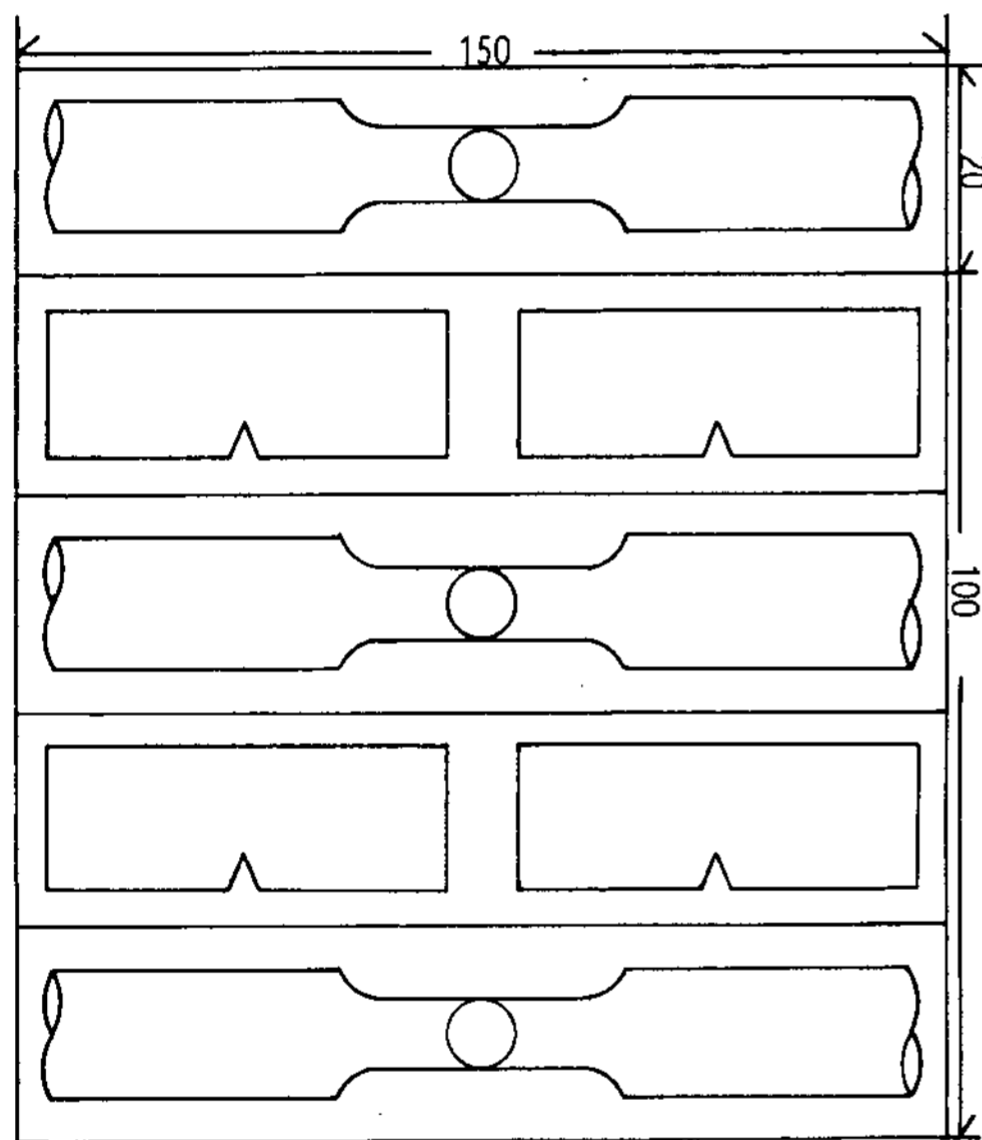


Fig. 4. Sectioning test specimen (unit : mm).

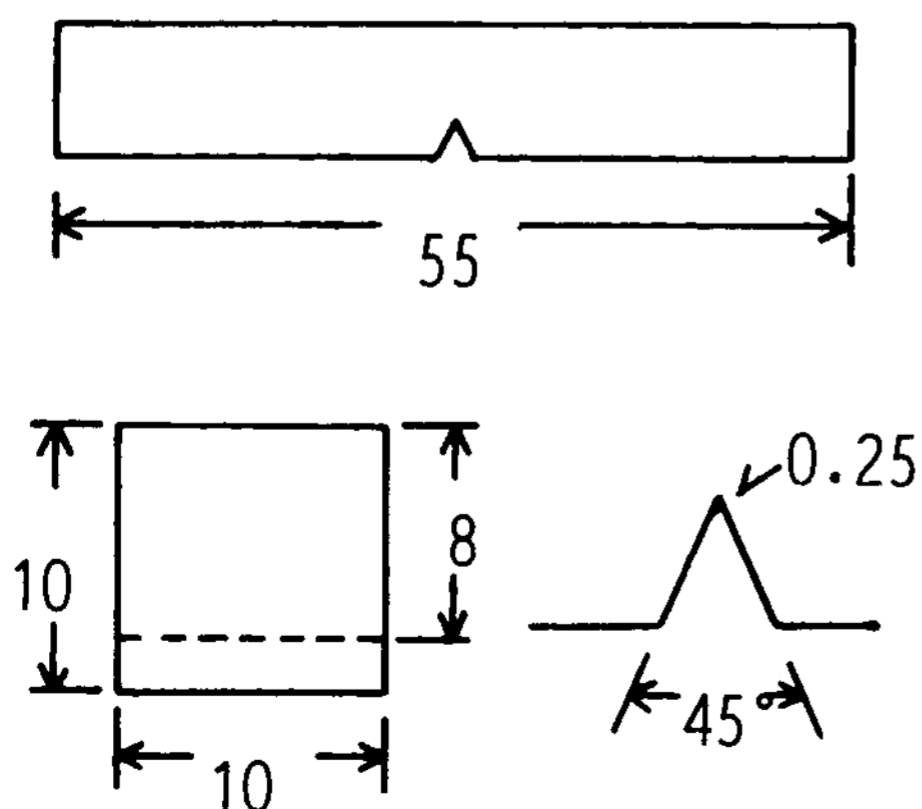


Fig. 5. Dimension of Charpy impact test specimen (unit : mm).

부터 Fig. 4와 같은 형상으로 충격시험편 및 인장시험편을 채취하였고 시험규격은 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 이때 절단면을 육안판정 및 현미경관찰로 균일한 흑연을 갖는 건전한 부분을 채취하여 가공하였다.

2.3 시험편의 열처리

Fig. 5 및 6과 같이 가공한 시험편을 Fig. 7에서 보는 바와 같이 오스테나이트화 개시온도 이상인 980°C에서 질소가스분위기로 유지되고 있는 관상로에서 단시간 동안 가열 한 후 수냉 및 공랭을 하였고 충격치의

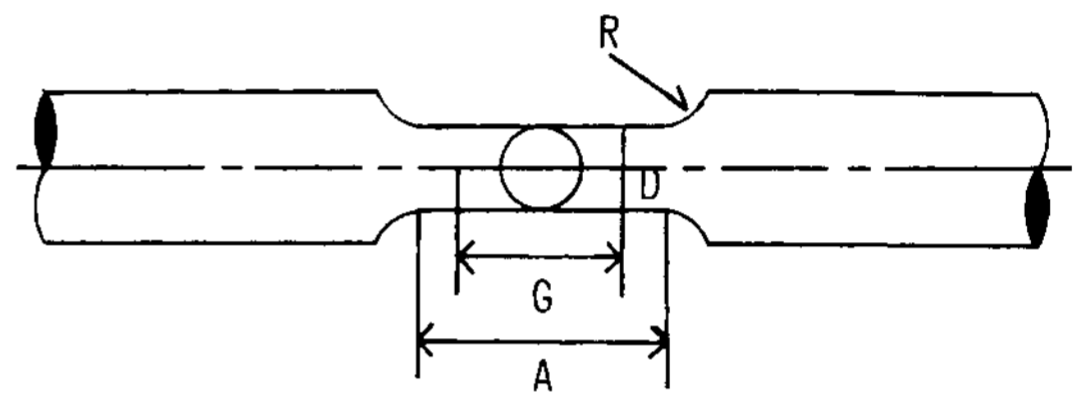


Fig. 6. Dimension of tensile strength of test piece (ASTM F8).

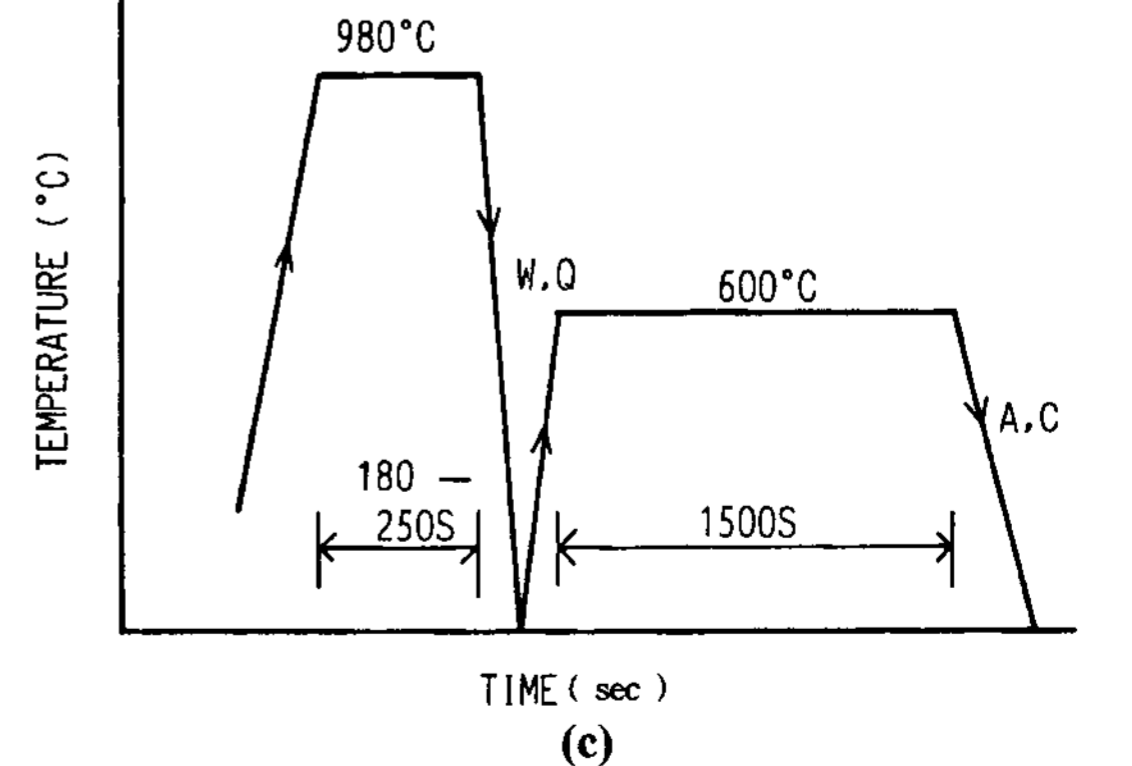
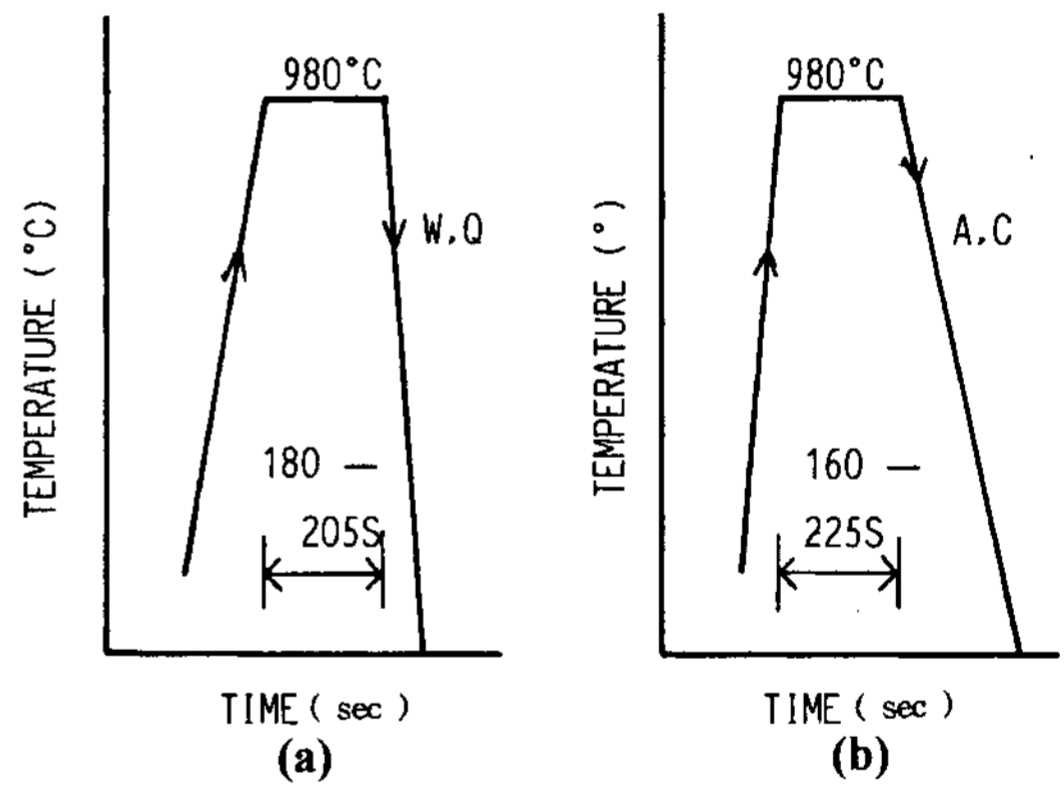


Fig. 7. Heat treatment cycles of Compacted Vermicular graphite cast iron. (a) for martensitic structure, (b) for pearlitic structure, (c) for sorbitic structure.

개선을 위해 수냉한 시험편을 다시 600°C에서 25분 동안 템퍼링 하였다. 흑연을 둘러싸는 경질의 제2상의 체적분율을 조정하기 위하여 980°C에서 유지시간을 변화시켰다.

이와 같이 하여 얻어진 CV흑연주철의 기지조직은 페라이트이며 흑연 주위에 생성한 경질의 제2상은 각각 마르텐사이트, 펄라이트 및 솔바이트 이었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 및 경도

시험편을 Fig. 3과 같이 900°C에서 1시간 가열한 후 4°C/min의 냉각속도로 720°C까지 노냉시키고 720°C에서 16시간 유지한 후 공냉시켜 연화처리 한 시험편을 Fig. 7의 (a) 및 (b)와 같이 980°C에서 단시간동안 가열하여 공냉한 결과 시험편의 미세조직은 Photo 1 및 2와 같다. 즉 페라이트기지의 미세조직을 갖는 CV흑연주철조직을 보였다.

Ueda[23]등의 보고에 의하면 오스테나이트화 변태 속도는 펄라이트 조직, Bull's eye 조직, 페라이트 조직의 순으로 감소한다고 보고하였다. 즉 역변태에 의한 γ 상의 생성은 펄라이트 조직의 경우에 시멘타이트의 분해에 따른 탄소의 확산[20, 23]에 의하여 일어나고

시멘타이트의 층간격이 극히 작기 때문에 탄소의 확산거리가 짧아지므로 오스테나이트화가 빨리 진행된다. 한편 페라이트 조직의 경우에는 γ 상이 흑연으로부터 탄소의 직접확산에 의해서 생성되고 흑연간의 거리가 멀어지며 따라서 탄소의 확산거리가 길어지므로 오스테나이트화가 느려진다. Bull's eye조직의 경우는 펄라이트 부분에서 가장 빨리 γ 상이 생성되고 이어서 흑연 주위에서 γ 상이 생성한다고 보고하고 있다. 따라서 사진에 나타난 경질의 제2상은 페라이트기지 CV흑연주철을 변태점 이상의 고온에 유지시키기 때문에 흑연에서 기지조직으로의 탄소 확산이 일어나 흑연립 주위에 고탄소의 오스테나이트상이 형성되어 수냉 또는 공냉에 의해 마르텐사이트 또는 펄라이트로 변태하는 것이라고 볼 수 있다.

경질의 제2상의 체적분율 측정을 위해 파단된 충격 시험편에서 조직 관찰용 시험편을 채취하고 Automatic Image Analyzer를 이용하였다.

Photo 1의 (a)는 연화소둔처리를 하여 시멘타이트 및 펄라이트를 분해시켜서 페라이트 조직만으로 된 시험편의 현미경 조직이며 Photo 1의 (b)~(f)는 980°C에서 182, 192, 195, 197 및 200초로 유지한 후 수냉시킨 시험편의 조직이다. 이와 같이 980°C에서의 유지시간을 변화시켜 환상 마르텐사이트 조직의 체적분율

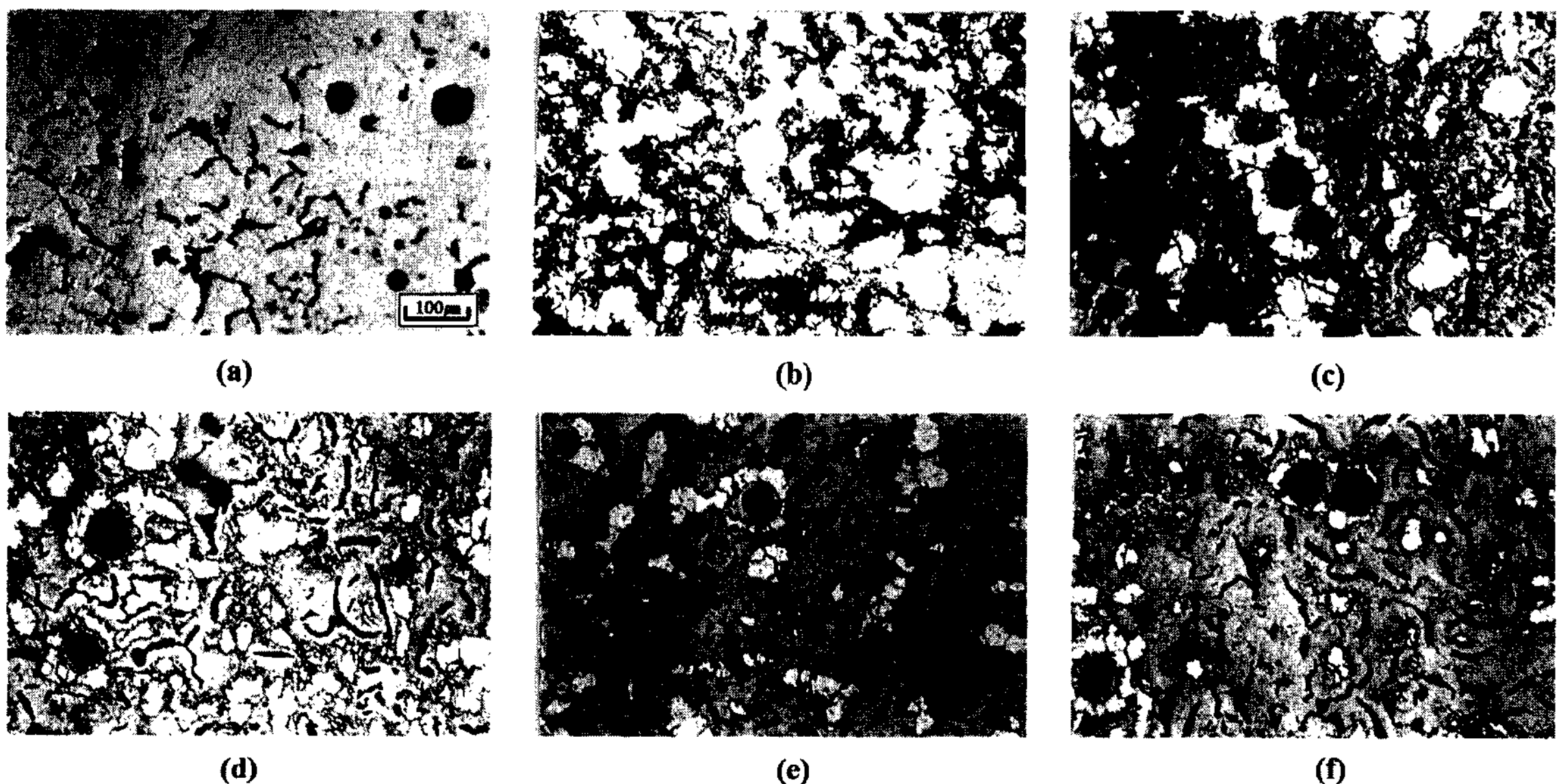


Photo 1. Microstructures of CV graphite cast iron (nital etched). (a) no treated, (b) water quenched after heated at 980°C for 182 sec, (c) water quenched after heated at 980°C for 192 sec, (d) water quenched after heated at 980°C for 195 sec, (e) water quenched after heated at 980°C for 197 sec, (f) water quenched after heated at 980°C for 200 sec.

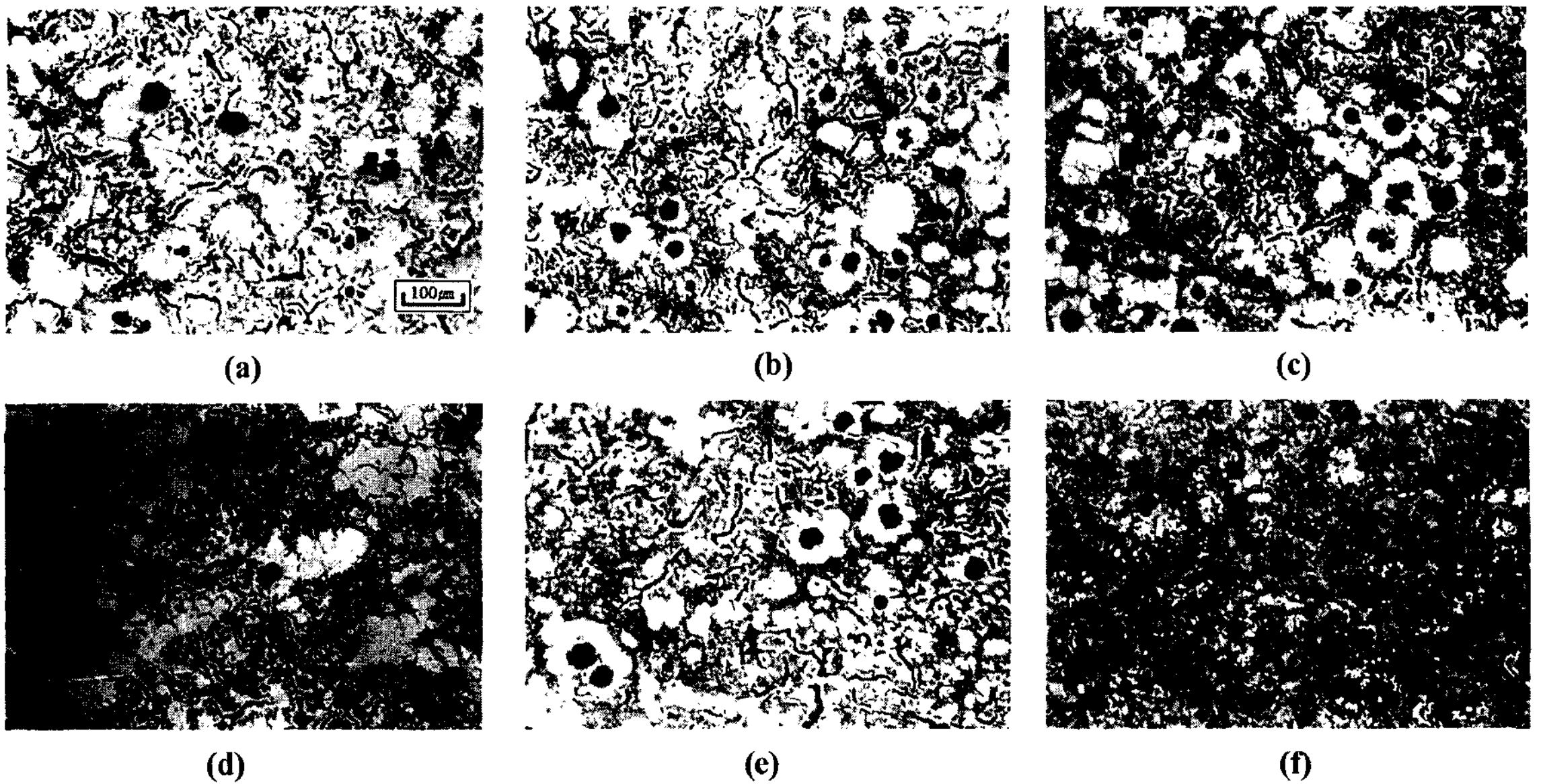


Photo 2. Microstructures of CV graphite cast iron (nital etched). (a) air cooled after heated at 980°C for 170 sec, (b) air cooled after heated at 980°C for 180 sec, (c) air cooled after heated at 980°C for 190 sec, (d) air cooled after heated at 980°C for 200 sec, (e) air cooled after heated at 980°C for 210 sec, (f) air cooled after heated at 980°C for 220 sec

이 각각 40, 50, 75, 85 및 95%로 된 시험편의 미세조직이다. Photo 1의 (b)에서 보는바와 같이 CV흑연주위에서 우선적으로 경질상이 생성되는 경향을 보이고 있으며 이는 Wade[20]등의 연구결과에서 밝힌 바와 같이 흑연형상이 편상에 가까울수록 오스테나이트화가 빨리 일어난다는 것과 잘 일치하고 있다. 또한 단 시간 내에 완전한 경질의 제2상조직이 형성되는 이유는 탄소가 침입형 원소이기 때문에 일단 활성화가 일어나면 기지로의 확산[21]이 빨리 진행되기 때문이라고 생각된다.

Photo 2는 시험편을 980°C에서 유지한 후 공냉하여 흑연립주위에서 생성된 환상 펄라이트 조직을 나타낸 것이다. (a)는 980°C에서 유지시간을 170초로 한 후 공냉시킨 시험편의 조직사진이며 (b)~(f)는 980°C에서 유지시간을 180, 190, 200, 210 및 220초 유지한 후 공냉한 시험편의 미세조직이다. 환상 마르텐사이트 조직과 환상 펄라이트 조직이 모두 유지시간에 따라 체적분율이 증가하며 180초 이전에서는 환상 펄라이트 조직의 체적분율이 높으며 이는 980°C에서 유지한 후 공냉시키는 동안 오스테나이트 조직의 체적분율이 높기 때문이다. 이는 980°C에서 유지한 후 공냉시키는 동안 오스테나이트화 온도에서 유지되는 시간이 환상 마르텐사이트 조직의 경우에 비하여 보다 많이 걸리

기 때문이라고 볼 수 있다.

Fig. 8에 경질의 제2상의 체적분율에 따른 비커스경도의 변화를 나타냈다. 환상 마르텐사이트 조직의 경우 체적분율의 증가에 따라 경도의 증가가 현저하며 환상 펄라이트 조직과 환상 솔바이트 조직은 이들 조

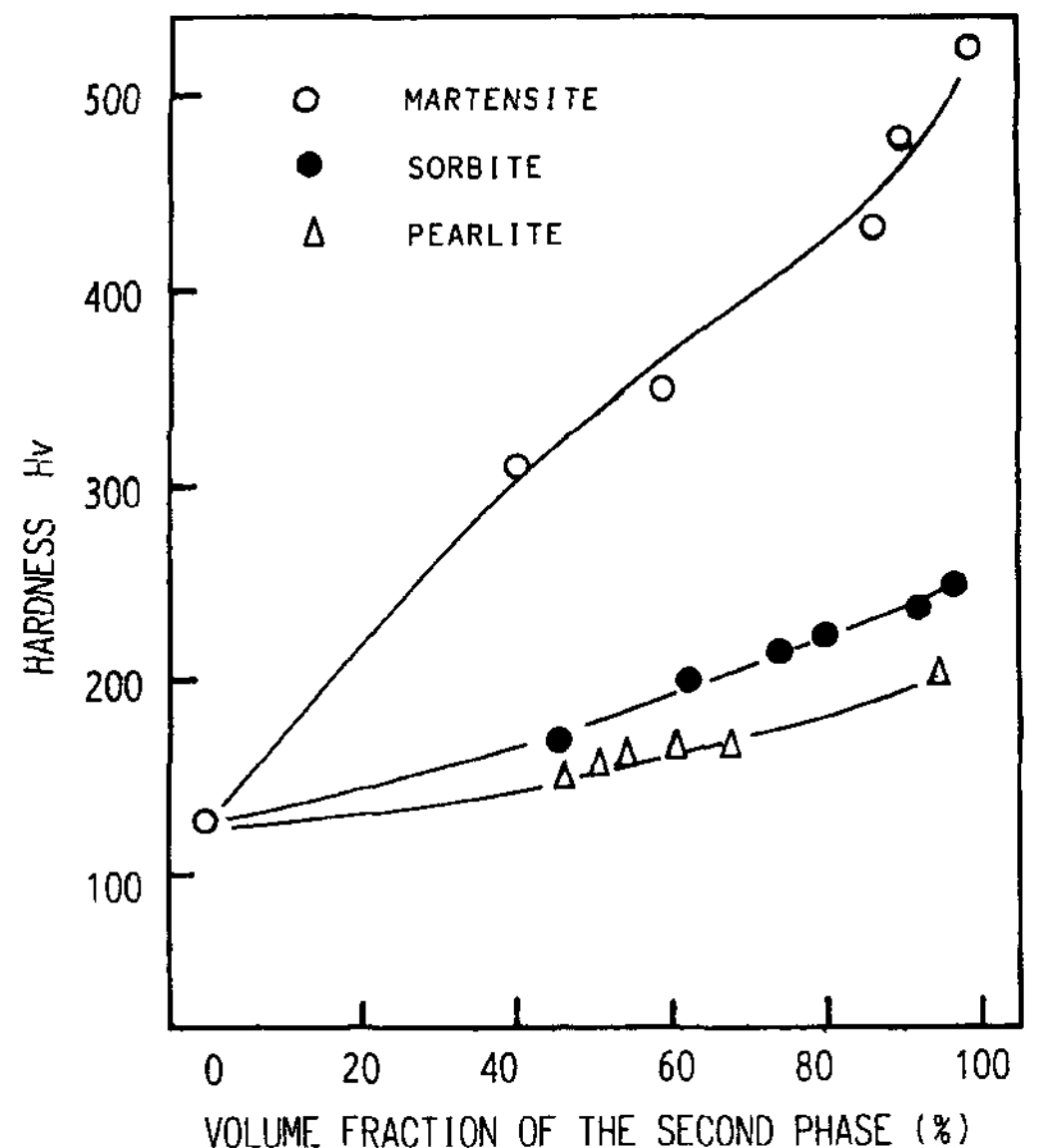


Fig. 8. Relation between hardness and volume fraction of the second phase.

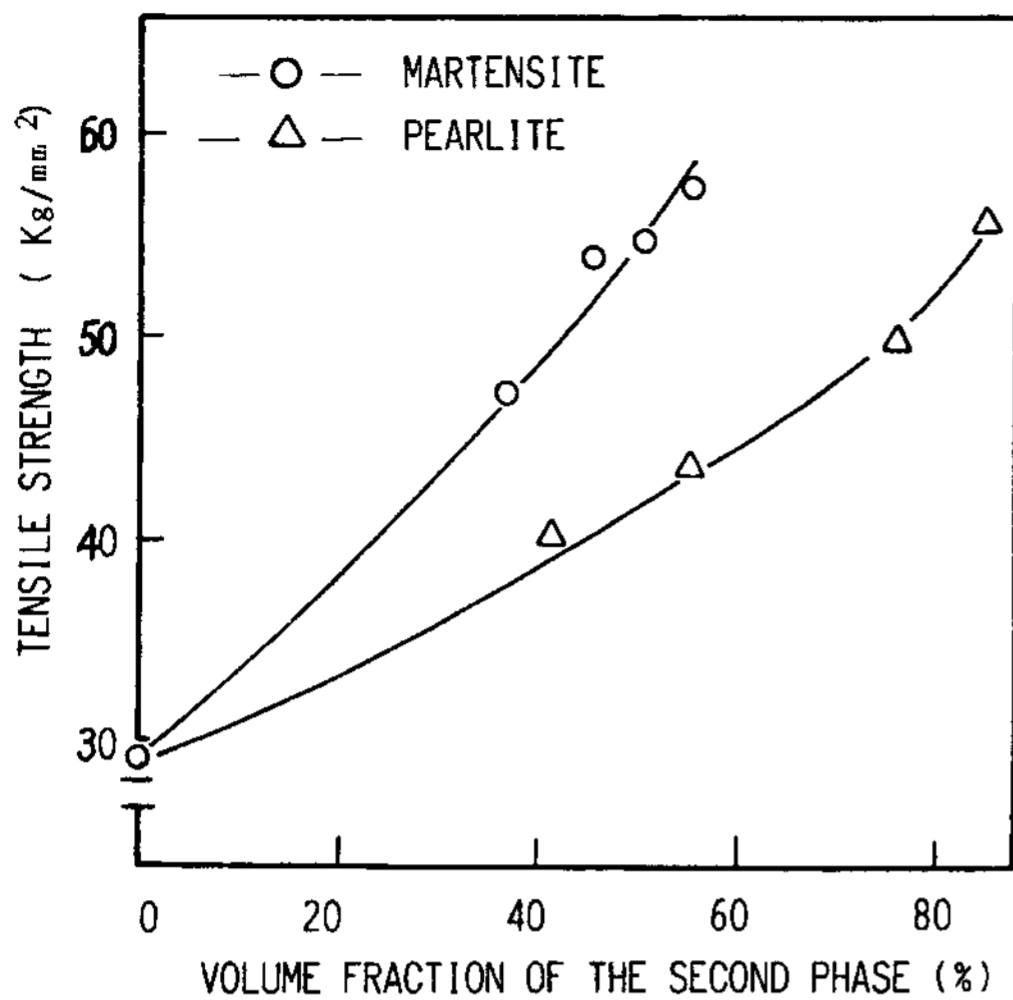


Fig. 9. Relation between tensile strength and volume fraction of the second phase.

직 자체의 경도가 H_v250 내외이기 때문에 체적분율 증가에 따라 경도의 증가에 기여하는 정도가 환상 마르텐사이트 조직보다 적기 때문에 경도증가의 경향이 완만하다고 볼 수 있다.

3.2 경질 환상 제2상의 체적분율과 인장강도

Fig. 9에서 보는바와 같이 환상 마르텐사이트 조직 및 환상 펄라이트 조직의 경우 체적분율의 증가에 따라 모두 인장강도가 증가하였다. 이러한 현상은 Maeda[22] 등의 연구보고에 따르면 흑연주위에 페라이트상이 존재하고 페라이트상 주위에 경질상이 존재하는 경우에는 저응력에서도 페라이트상의 파괴응력에 도달하기 때문에 흑연 계면에서 균열이 우선적으로 발생하는 반면 흑연 주위에 경질상이 존재하고 경질상의 밖에 페라이트상이 존재하는 경우에는 흑연 계면 및 페라이트상에서도 같은 정도로 파괴가 일어나게 된다. 이와 같이 흑연 주위에 경질상이 존재하면 흑연 계면에서의 파괴를 억제하는 기능을 갖게 된다. 즉 경질의 제2상이 체적분율 증가에 따라 초기 균열전파가 방지되고 인장강도가 증가하게 된다.

3.3 경질의 제2상의 체적분율과 충격치

환상 마르텐사이트 조직, 환상 솔바이트 조직 및 환상 펄라이트 조직의 상온에서의 충격치와 제2상의 체적분율과의 관계를 Fig. 10에 나타냈다. 환상 마르텐사이트 조직의 경우에는 체적분율이 작아도 충격치는

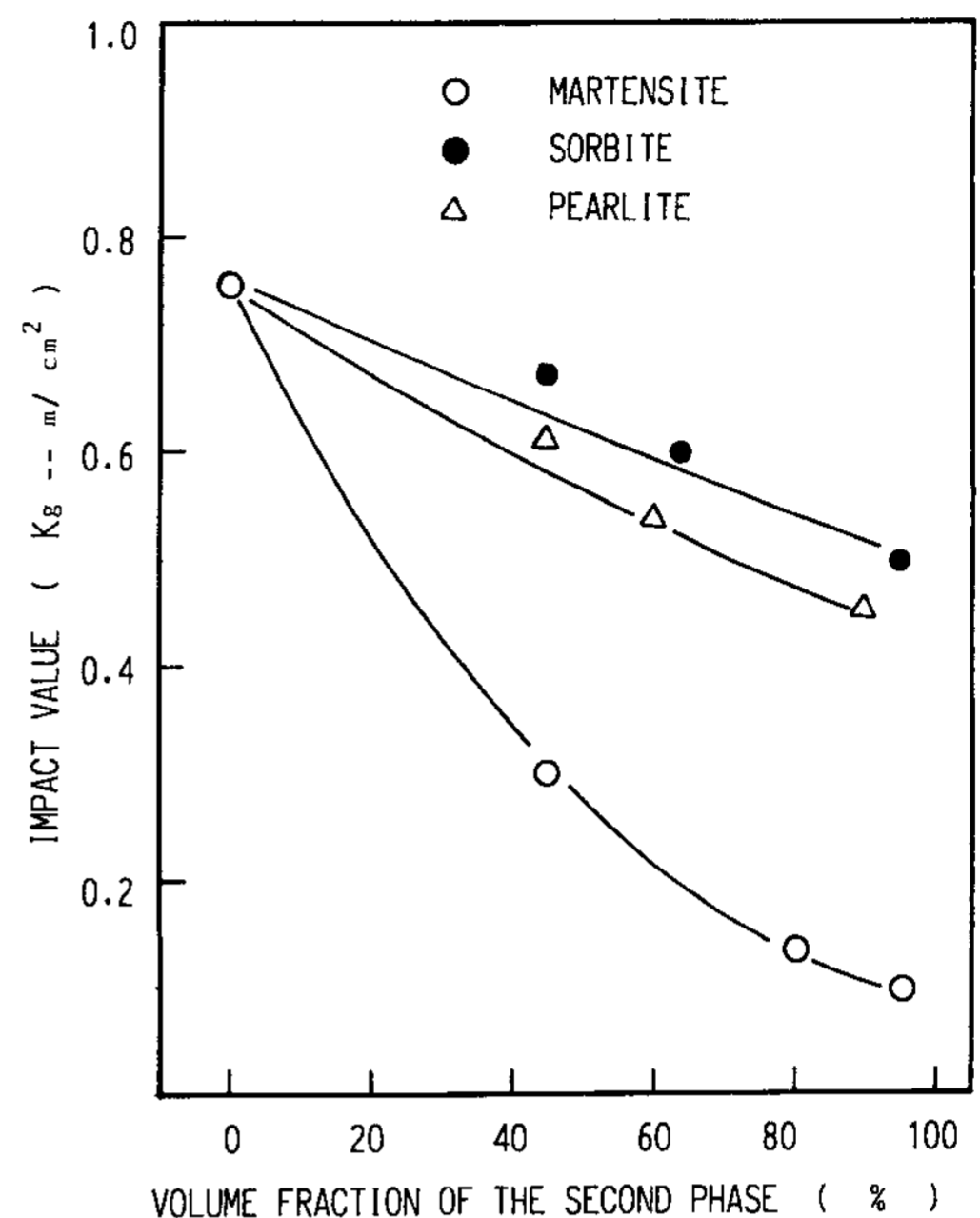


Fig. 10. Relation between impact value and volume fraction of the second phase.

급속히 저하하며 환상 펄라이트 조직의 경우에는 체적분율이 증가함에 따라 충격치도 저하하지만 감소의 정도가 환상 마르텐사이트 조직에 비하여 심하지 않았다.

Fig. 7의 (c)와 같이 980°C에서 단시간 가열한 후 수냉하여 600°C에서 25분간 템퍼링하여 환상 마르텐사이트 조직을 환상 솔바이트 조직으로 변화시켰을 경우 충격치의 저하는 완만하였다.

구상흑연주철의 충격치에 미치는 경질환상 제2상의 영향에 관한 연구[18]에 의하면 환상 마르텐사이트 조직의 체적분율이 낮은 경우에 충격치는 급격히 저하하며 이러한 현상은 흑연 주위에 마르텐사이트상이 존재하여도 충격시 흑연에서 응력집중이 발생하여 순간적으로 마르텐사이트상이 파괴되면서 페라이트상의 벽개파괴가 일어나기 때문이라고 보고하고 있다.

따라서 Fig. 11에서 환상 마르텐사이트 조직의 체적분율이 낮아 경도가 낮은 경우에는 충격치의 감소가 현저하리라고 생각된다. Fig. 11에서 알 수 있는 바와 같이 경도치가 거의 같은 경우에는 환상 마르텐사이트 조직보다는 환상 펄라이트 조직의 충격치가 양호하며 환상 솔바이트 조직의 경우에는 CV흑연주철의 충격치가 현저하게 개선되었다.

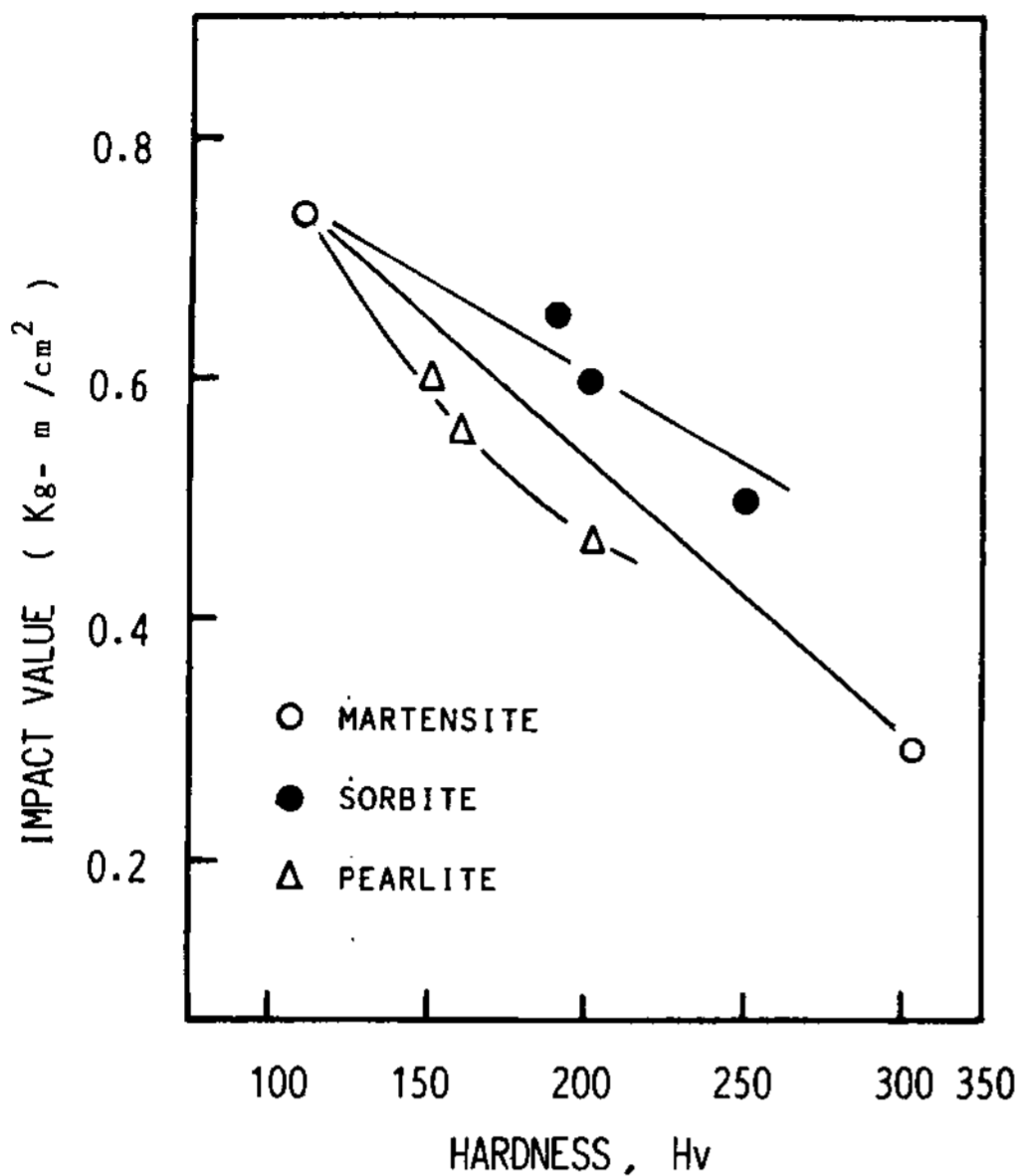


Fig. 11. Relation between impact value and hardness.

5. 결 론

CV흑연주철의 기계적 성질을 개선할 목적으로 흑연화열처리를 한 시편을 980°C에서 단시간 가열을 한 후 냉각방법을 달리하여 흑연 주위에 경질의 제2상을 형성시켜 인장시험 및 충격시험을 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 흑연 주위에 경질의 제2상을 형성시키면 경도가 증가하며 환상 마르텐사이트 조직이 생성되면 경도가 현저하게 증가한다.

(2) 흑연 주위에 환상 마르텐사이트조직 및 환상 펄라이트 조직을 형성시키면 인장강도가 증가한다.

(3) 경질의 제2상의 체적분율이 증가하면 충격치는 전반적으로 저하 하지만 환상 펄라이트 조직 또는 템퍼링을 하여 환상 솔바이트 조직으로 변화시킬 경우 충격치가 개선 될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] C. W. Phillips : AFS Trans., (1981) 47-52.
- [2] R. W. Monroe, C. E. Bates : AFS Trans., (1982) 615-624.
- [3] Y. Tanaka, H. Saito and K. Ikawa : Imono, 53 (1981) 187.
- [4] T. Okamoto, A. Kagawa, K. Kamei and H. Matsumoto : Imono, 55 (1983) 107.
- [5] P. A. Green, A. J. Thomas : AFS Trans., (1979) 569-572.
- [6] J. D. Altstetter, R. M. Nowicki : AFS Trans., (1982) 959-970.
- [7] K. Yamaguchi and Y. Matsubara : J. of Japan Foundry Eng. Society (1990) 43-49.
- [8] Y. Honda and Y. Matsubara : Proc. Conf. 'The 5th Asian Foundry Congress', The Chinese Foundrymen's Society (1997) 162-171.
- [9] J. T. H. Pearce : AFS Trans., 92 (1984) 599-622.
- [10] 신호철, 이종훈, 김홍범, 김창규, 최창욱 : J. of the Korean Foundrymen's Society, 14 (1994) 548.
- [11] G. Wilkenson and H. Yamamoto : Metal. Trans., 19A (1988) 319.
- [12] 주도재, 김홍범, 천병욱, 최창욱 : J. of the Korean Foundrymen's Society, 18 (1998) 340-348.
- [13] N. Wade and Y. Ueda : Imono, 52 (1980) 686.
- [14] M. Tsujikawa, A. Ikenaga and Kunio Okabayashi : Imono, 54 (1982) 27.
- [15] A. Ikenaga and K. Okabayashi : Imono, 52 (1980) 263
- [16] K. Okabayashi, M. Tsujikawa, H. Nishida and A. Ikenaga : Imono, 53 (1981) 494.
- [17] K. Okabayashi, A. Ikenaga and M. Masato Tsujikawa : Imono, 54 (1982) 220.
- [18] M. Tsujikawa, T. Mori, A. Ikenaga and K. Okabayshi : Imono, 52(1980) 400.
- [19] K. Okabayashi, M. Tsujikawa, H. Nishida and A. Ikenaga : Imono, 54 (1982) 87.
- [20] Y. Ueda, N. Wade : Imono, 49 (1977) 25.
- [21] C. J. Smithells : Metals Reference Book 5 ed (1976) 860.
- [22] N. Wade, C. Lu, Y. Veda and T. Maeda : Imono, 55 (1983) 10.
- [23] Y. Ueda, N. Wade : J. of Iron and Steel, 63 (1977) 1572.