

|||||||
論 文
 |||||

3%C-10%Cr-5%Mo-5%W 백주철에 있어서 열처리가 현미경조직, 경도 및 내마모성에 미치는 영향

류 성 곤

Effects of Heat Treatments on Microstructure, Hardness and Abrasive Wear Resistance in 3%C-10%Cr-5%Mo-5%W White Cast Iron

Sung-Kon Yu

Abstract

White cast iron of 3%C-10%Cr-5%Mo-5%W was casted, and then heat treated with three different methods such as homogenizing, austenitizing and tempering to observe its effects on the microstructure, hardness and abrasive wear resistance. In uni-directional solidification, bamboo tree-like M_7C_3 carbide grew along with the heat flow direction, and fishbone-like M_6C carbide was dispersed randomly among M_7C_3 carbides. While almost pearlitic structures were observed in the as-cast specimen, those of the heat treated specimens consisted of secondary carbide, retained austenite and tempered martensite. In austenitized specimen, the amounts of retained austenite were 60.88% due to the higher cooling rate encountered in forced air cooling. On the other hand, the amounts of retained austenite were reduced from 60.88% to 23.85% in tempered specimen due to the transformation of austenite into tempered martensite. The hardness of tempered specimen showed the highest value, and then decreased in the order of austenitized, as-cast and homogenized specimens. But, the abrasive wear resistance of austenitized specimen was the highest, and then decreased in the order of tempered, as-cast and homogenized specimens.

(Received June 19, 1998)

1. 서 론

다합금계 백주철은 내마모성, 내열성 및 내산화성이 우수하기 때문에 열간압연롤 및 광물분쇄용롤의 재질로서 각광을 받고 있으며 이러한 기계적성질들은 응고과정 중 정출되는 탄화물의 종류, 형태, 함량, 분포상태 뿐만 아니라 기지조직의 형태에도 많은 영향을 받는다[1-3].

합금백주철의 함유원소 중 Cr은 M_3C 및 M_7C_3 탄화물, V는 MC 탄화물 그리고 Mo와 W는 M_2C 및 M_6C 탄화물을 응고과정 중 정출시키므로써 재질의 기계적성질을 향상시키게 된다. 그러나 다합금계 백주철은 주방상태의 재질을 그대로 적용시키기 보다 열처리를 한 후 적용시키는 사례가 많다. 따라서 비록 정출탄화물의 종류, 함량 및 분포상태가 같더라도 열처리를 통하여 기지조직의 형태를 변화시킴에 따라 경도 및 내마모성에 큰 영향을 미칠수 있으며 아울러 제품수명

도 연장시킬 수 있다.

따라서 본 연구는 3%C-10%Cr-5%Mo-5%W 백주철을 여러 형태로 열처리를 하여 기지조직을 변태시키므로써 기지조직, 경도 및 내마모성간의 상호관계를 규명하고자 함에 그 목적이 있다.

2. 실험방법

주형은 pep-set 점결제를 이용하여 만들었으며 하나의 Y-block 주형(Fig. 1)에서 50 mm × 50 mm × 5 mm 크기의 마모시편을 6개씩 얻었다. 일방향응고의 경우, 40 mmφ × 150 mmh의 발열슬리브를 주형공간으로 사용하여 Cu판 위에 얹은 후 용탕을 주입시켜 응고시 열전달이 주형벽을 통해 일어나지 않게 하였다.

MgO로 lining된 15 kg 용량의 고주파 유도용해로를 사용하여 용해작업을 하였다. 계량된 장입재를 유도용해로에 장입하여 온도를 1650°C까지 승온시켜 용해

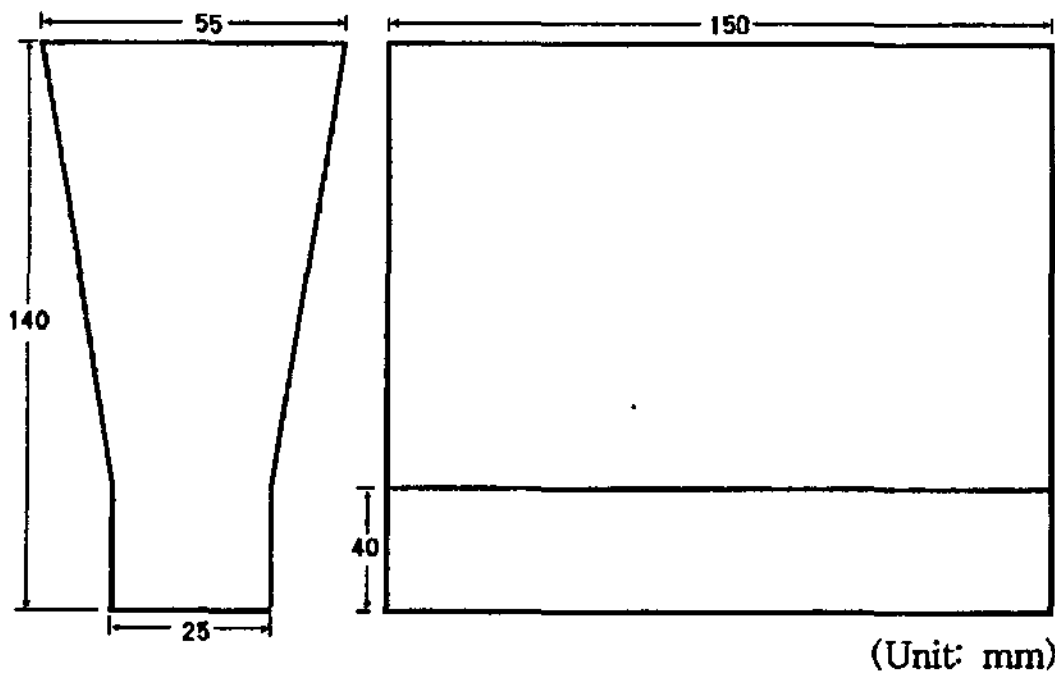


Fig. 1. Dimensions of Y-block employed in this experiment.

시킨 후 예열된 레이들에 용탕을 출탕시켜 1550°C에서 주형에 주입시키고 발열제를 뿌린 후 상온까지 그대로 냉각시켰다. 냉각후 주형을 해체시켰으며 후처리를 하여 주물표면의 잔사를 제거시켰다. 사용된 용탕의 화학성분을 Table 1에 나타내었다.

적당하게 절단된 시편을 180, 320, 400 및 600 mesh의 순서로 연마시켰으며 다시 0.3 μm 알루미나 분말로 미세연마 후 Villela 및 Murakami용액으로 부식을 시켜 광학현미경으로 관찰하였다.

열처리는 세 가지 방법으로 (1): 주방상태(AS)의 시편을 950°C에서 5시간동안 균질화처리(AH) (2): 균질화처리 된 시편을 1050°C에서 2시간동안 오스테나이트화한 후 강제공냉처리(AHF) (3): (2)의 시편을 300°C에서 3시간동안 템퍼링처리(AHFT)로 구분하였다.

주방상태 및 열처리를 한 시편의 잔류 오스테나이트량은 X선 회절장치를 이용하여 측정하였다. 시편을 180, 320, 400 및 600 mesh의 연마지로 연마한 후 0.3 μm 알루미나 분말로 최종연마를 하였으며 Mo-Kα선을 target로 사용하였다[4]. 다합금계 백주철은 열류방향으로 지향성 응고를 하며 응고방향에 특성의 결정면이 배치되기 때문에 절단방향에 따라 γ(austenite), α(ferrite or martensite)의 결정면의 종류가 달라진다. 잔류 오스테나이트량은 γ와 α의 특정 결정면[예를 들면 γ(311), γ(220), α(200), α(220)]에서의 회절 X선 강도를 측정하기 때문에 그 측정치는 시료의 절단방향에 큰 영향을 받게 된다. 따라서 이방성이 강

Table 1. Chemical composition of heat poured

Chemical Composition (%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W
2.97	0.6	0.4	0.036	0.018	9.85	5.14	5.21

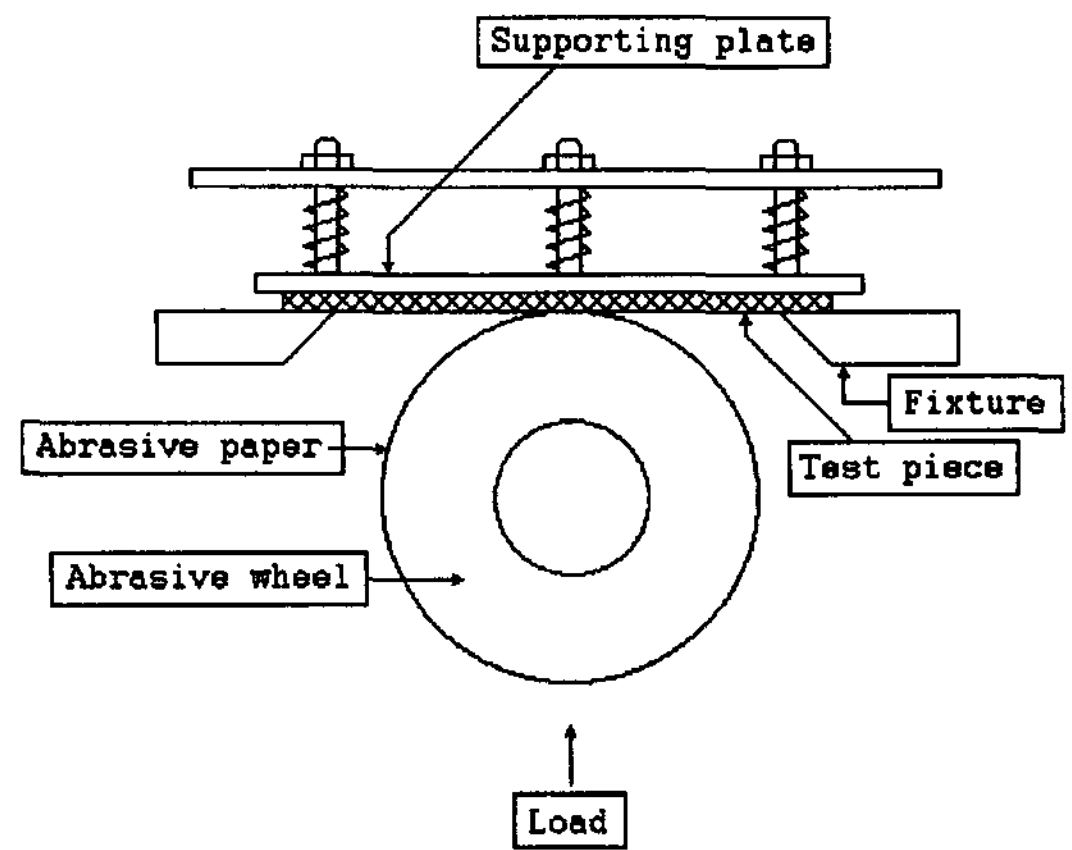


Fig. 2. A schematic drawing of abrasion wear tester.

한 시료의 γ량 측정방법으로써 R.L Miller 및 C. Kim [5, 6] 등이 제창한 방법을 적용시켰다. 즉 시료를 시료 holder내에서 회전시킴과 동시에 요동시켜 γ 및 α의 평균 X선 강도를 측정하여 잔류 오스테나이트량을 결정하였다.

사용된 마모시험기의 개략적 구조도를 Fig. 2에 나타내었다.

120 mesh의 SiC마모지가 감긴 마모륜에 하중을 1 kg 부과해 50 mm×50 mm×5 mm 크기의 시편과 접촉시킨 후 시편은 왕복운동을 시키고 마모륜은 0.9°/sec의 속도로 360° 회전(1 revolution) 시킨 후 시편의 무게감소를 측정하였으며 이 작업을 8회 반복하였다. 마모감량의 측정은 0.1 mg까지 측정 가능한 정밀전자저울을 사용하였다.

HV(100 g)으로 기지조직의 micro경도를, HRC(250 kg)으로 macro경도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방향성응고가 현미경조직에 미치는 영향

3%C-10%Cr-5%Mo-5%W 조성의 다합금계 백주철은 열류방향으로 지향성 응고를 하기 때문에 일방향 및 다방향응고에 있어서 탄화물 및 기지조직의 형상 변화를 먼저 살펴볼 필요가 있는데 그 결과를 Photo 1에 나타내었다.

Photo 1(a) 및 (b)는 일방향응고시 열류방향을 따라서 절단된 시편의 조직인데 M₇C₃탄화물은 열류방향을 따라 대나무 형태로 성장한 반면 M₆C탄화물은 열류방향에 관계없이 M₇C₃탄화물사이에 fish-bone형태

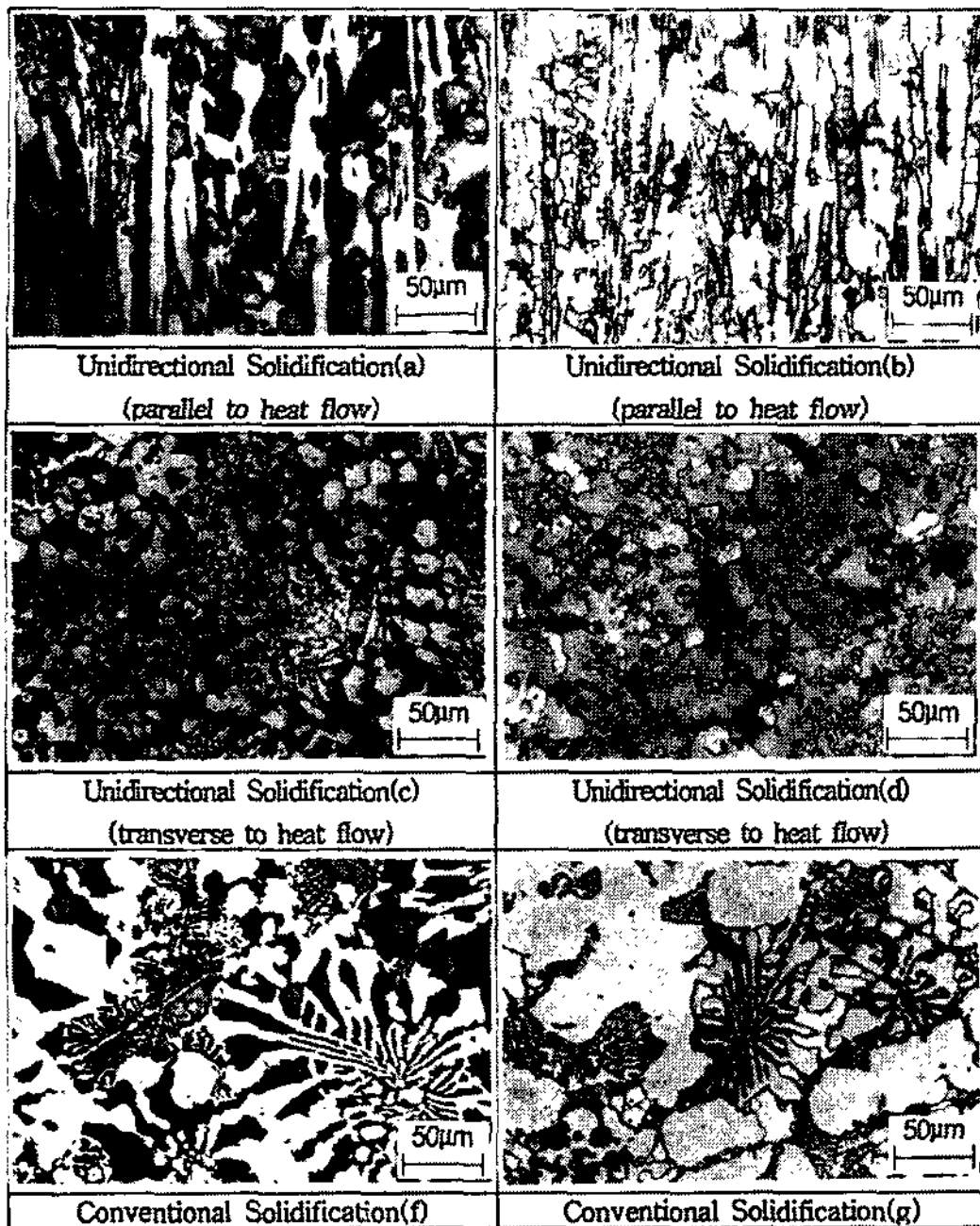


Photo 1. Optical microstructures of unidirectionally and conventionally solidified specimens. Etched by Vilella's reagent(left) and Murakami's reagent(right).

를 취하면서 불연속적으로 산재되어 있음을 알 수 있었다.

Photo 1(c) 및 (d)는 열류방향에 직각되게 절단된 시편의 조직인데 M_7C_3 탄화물은 내부의 조밀한 입상조직과 외부의 비교적 굵은 조직의 조합으로 된 장미꽃형상으로, M_6C 탄화물은 앞과 마찬가지로 fish-bone 형태를 취하고 있음을 보여주었다. Photo 1(e) 및 (f)는 다방향으로 응고된 시편의 조직인데 탄화물의 형태로 미루어 보아 열류방향에 거의 직각방향으로 절단된 면의 조직을 나타내고 있었다. 또한 Photo 1(c)와 비교할 때 M_7C_3 및 M_6C 탄화물의 크기가 보다 조대하는데 이는 양 시편의 응고속도에 따른 탄화물의 성장시간의 차이로 말미암아 초래된 것으로 여겨진다. 기지조직은 양자 공히 퍼얼라이트가 주류를 이루고 있음을 알 수 있으며 냉각속도차이에 따른 lamella층의 두께만 다를 뿐이다.

3.2 열처리가 현미경조직 및 경도에 미치는 영향

Y block형태의 pep-set주형에 주입하여 다방향으로 응고된 시편의 주방상태(Photo 1(e) 및 (f)와 동일) 및 각종 열처리 후의 현미경조직을 Photo 2에 나타내었

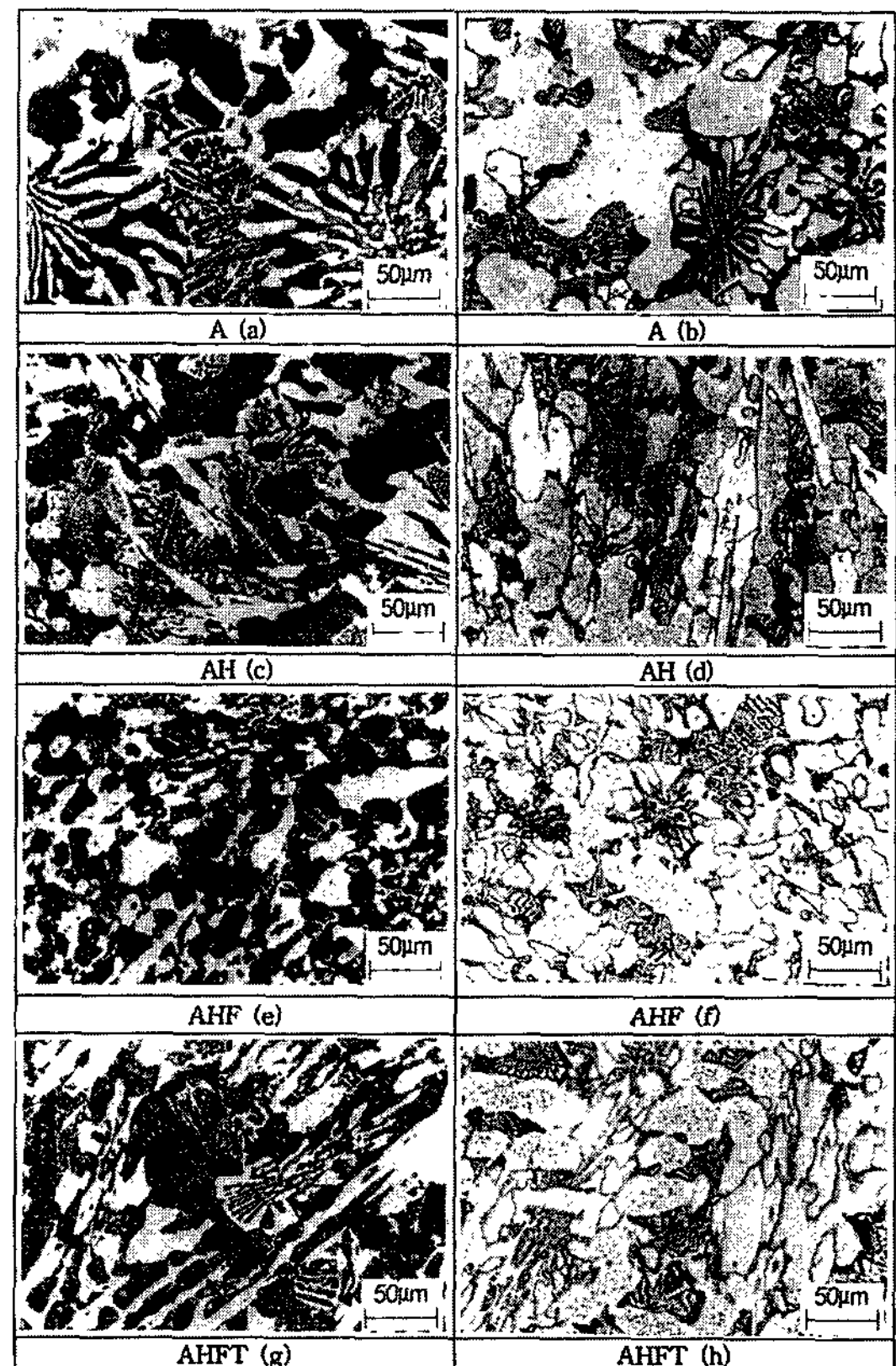


Photo 2. Optical microstructures of as-cast and heat treated specimens. Etched by Vilella's reagent (left) and Murakami's reagent (right).

다. 3종류의 열처리를 하여도 1차 탄화물인 M_7C_3 와 M_6C 의 형태는 주방상태의 그것과 거의 같음을 알 수 있었으며 다만 절단방향의 차이에서 오는 탄화물의 성장방향만 다를 뿐이었다.

그러나 기지조직은 현저한 차이가 있음을 Photo 2(a, c, e) 및 (g)를 통해 관찰할 수 있었으며 X-선 회절 실험을 통해 측정된 각 시편의 잔류 오스테나이트의 함량은 Table 2와 같았다.

주방상태의 기지조직은 거의 퍼얼라이트로 구성되어

Table 2. Amounts of retained austenite in as-cast and heat treated specimens

Heat Treatment Type	Amounts of Retained Austenite (%)
A	3.62
AH	6.51
AHF	60.88
AHFT	23.85

어 있었으며 3.62%의 오스테나이트가 잔류함을 알 수 있었다. 열처리시편들의 경우 기지조직내에 무수히 많은 미세한 2차 탄화물들이 석출되어 있음을 관찰할 수 있었는데, 이는 주방상태에서는 주입 후 응고 및 냉각속도가 빠르기 때문에 용탕내의 탄화물 생성원소들인 Cr, Mo, W 및 C 등이 전부 탄화물로 석출되지 못하고 기지조직 내에 고용되어 있다가 950°C에서 균질화처리시 고용도차이에 의해 2차 탄화물로서 기지조직내에 석출된 것으로 여겨졌다.

950°C에서 5시간동안 균질화처리를 하여도 기지조직이 페라이트로 변태하지 않고 주방상태에 비해 보다 조대한 퍼얼라이트와 미세한 2차 탄화물로 구성되어 있음을 Photo 2(c)를 통해 알 수 있었으며 또한 6.51%의 잔류 오스테나이트도 함유되어 있었다. 균질화처리 후 1050°C에서 2시간 동안 오스테나이트화를 하면 석출되어 있던 상당량의 2차 탄화물들이 고용도차이에 의해 재차 기지조직 내에 고용되며 시편을 강제공냉 시킴에 따라 빠른 냉각속도로 인해 탄화물생성원소들이 미처 정출되지 못해 Ms점이 하강되므로 기지조직내 잔류 오스테나이트의 함량이 주방상태에 비해 훨씬 높은 60.88%를 나타내고 있었다[7]. Photo 2(d) 및 (f)를 비교하면 기지조직내 2차 탄화물들의 수는 오스테나이트화후 훨씬 감소되었으나 크기는 증가되었음을 알 수 있었다. 이는 950°C에 비해 1050°C에서 탄화물의 기지조직내 고용도가 높기 때문이며 고용과정에서 미세한 탄화물입자들이 서로 결합되었기 때문으로 사료되었다. 오스테나이트화후 공냉시킨 시편을 300°C에서 3시간 동안 템퍼링시키면 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되므로 그 함량이 60.88%에서 23.85%로 감소됨을 알 수 있었다.

주방상태 및 열처리 후의 HRC 및 HV경도의 측정

결과를 Table 3에 나타내었다.

HRC는 1차 탄화물과 기지조직(2차 탄화물도 포함)의 경도를 나타낸 것으로 AHFT시편이 가장 높고 AHF, A, AH시편의 순서로 경도가 감소함을 알 수 있었다. 앞서 언급하였듯이 열처리를 하여도 1차 탄화물의 형상은 거의 변화가 없고 기지조직만 변화하므로 HV경도기를 사용하여 기지조직(2차 탄화물도 포함)만의 경도를 측정하였으며 그 결과도 HRC의 경우와 같았으며 이는 앞서 관찰된 현미경조직과 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 즉 템퍼링(AHFT)의 경우, 기지조직내의 높은 마르텐사이트함량과 2차 탄화물의 존재로 HV가 가장 높았으며 반면 균질화처리만 한 시편(AH)의 경우 비록 2차 탄화물은 가장 많이 석출되었으나 기지조직이 조대한 퍼얼라이트로 구성되어 있었기 때문에 HV가 가장 낮다고 사료되었다. 또한 오스테나이트화후 강제공냉을 한 시편(AHF)의 경우, 높은 잔류 오스테나이트의 함량으로 말미암아 AHFT 시편에 비해 경도가 낮은 것으로 여겨졌다.

3.3 열처리가 마찰마모성에 미치는 영향

주방상태 및 열처리시편에 있어서 마모량과 마모시간과의 관계를 Fig. 3에 나타내었으며 양자간에 직선적 관계가 있음을 알 수 있었다.

이런 경우 직선의 기울기에 해당하는 마모속도(Rw : mg/min)를 비교지수로 사용하여 상호 비교하면 편리하다. 마모속도는 0.0532~.0331 mg/min의 범위에 놓여 있었는데 AHF시편의 Rw가 가장 작고 AHFT, A의 순으로 증가하여 AH시편의 Rw가 가장 커 내마모성이 가장 열악함을 알 수 있었다. 앞서 측정된 경도의 경우 AHFT, AHF, A, AH의 순서로 높은 반면 마찰마모성의 경우 AHF, AHFT, A, AH의 순서로 우수함을

Table 3. Hardness values of as-cast and heat treated specimens

Hardness Value		Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Average
Hardness Type							
HV (100 g)	A	495	486	480	493	485	487.80
	AH	437	413	418	420	434	424.40
	AHF	765	751	772	759	777	764.80
	AHFT	798	786	797	792	781	790.80
HRC (250 kg)	A	50.2	49.4	50.7	49.4	51.0	50.14
	AH	47.7	46.8	47.5	49.2	45.8	47.40
	AHF	61.8	60.9	58.4	61.4	58.7	60.24
	AHFT	63.2	64.2	63.7	64.8	64.1	64.00

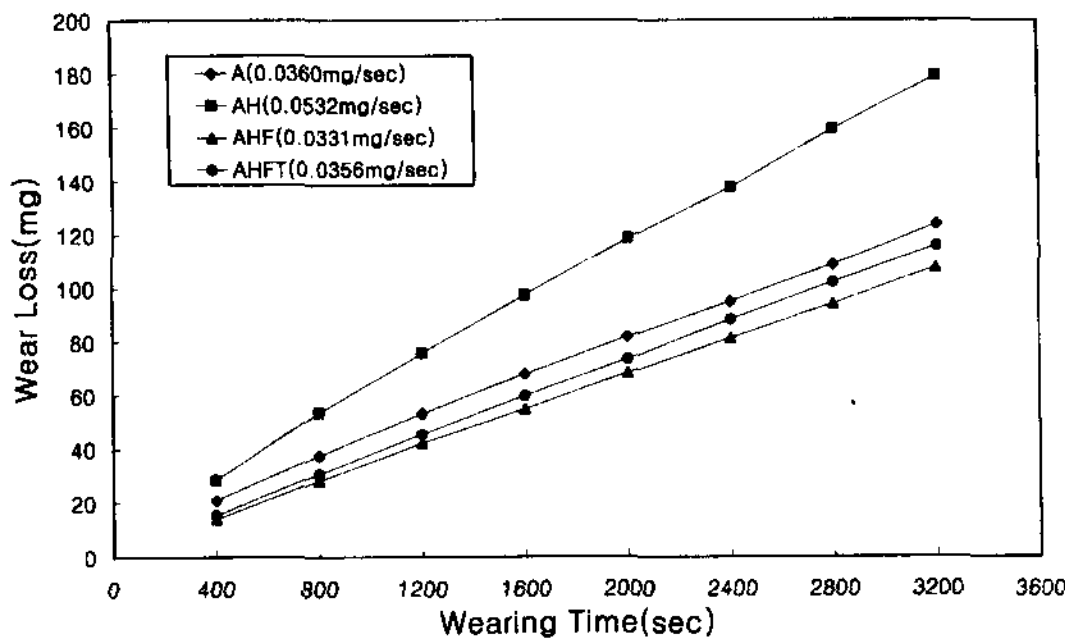


Fig. 3. Relationship between wear loss and wearing time in as-cast and heat treated specimens.

알 수 있었다. AHF가 AHFT에 비해 경도는 약간 낮으나 마찰마모성이 우수한 것은 시편이 마찰마모시 잔류 오스테나이트가 가공변태를 일으켜 마르텐사이트로 변태되었기 때문이다. 이러한 현상은 고크롬백주철의 경우에 있어서도 마찬가지로 나타내었다 [8]. 따라서 고크롬백주철이나 다합금계 백주철의 적용시 마찰마모가 많이 요구되는 곳은 기지조직내 잔류 오스테나이트의 함량을 높여야 하고 충격마모가 많이 요구되는 곳은 기지조직의 경도를 높이는 방법을 채택하여야 할 것으로 사료되었다.

4. 결 론

3%C-10%Cr-5%Mo-5%W 다합금계 백주철에 있어서 열처리가 조직 및 기계적 성질에 미치는 영향에 관해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주방상태에서 관찰된 1차 정출탄화물은 M_7C_3 와 M_6C 의 2종류이었다.
- 2) M_7C_3 탄화물은 열류방향을 따라 대나무형태로 성장한 반면 M_6C 탄화물은 열류방향에 관계없이 M_7C_3 탄화물 사이에 fish-bone형태로 산재해 있었다.
- 3) 주방상태시편(A)의 기지조직은 주로 퍼얼라이트로 구성되어 있었으며 3.62%의 잔류 오스테나이트가 함유되어 있었다.
- 4) 균질화열처리된 시편(AH)의 퍼얼라이트조직은

주방상태에 비해 조대하였으며 수많고 미세한 2차 탄화물이 기지조직내에 석출되어 있었다.

5) 오스테나이트화 시킨 후 강제공냉을 한 시편(AHF)의 경우 빠른 냉각속도로 말미암아 60.88%의 잔류 오스테나이트가 존재하였으며 균질화 열처리된 시편의 경우보다 수량은 적으나 큰 크기의 2차 탄화물들이 관찰되었다.

6) 오스테나이트화 시킨 후 강제공냉한 시편을 다시 템퍼링시킨 경우(AHFT) 상당량의 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하였으며 역시 2차 탄화물이 관찰되었다.

7) HV 및 HRC는 AHFT시편이 가장 높았으며 AHF, A, AH의 순으로 감소하였다.

8) 마찰마모성은 AHF시편이 가장 우수하였으며 AHFT, A, AH의 순으로 감소하였다.

후 기

- 1) 본 연구는 1998년도 계명대학교 비사연구기금으로 수행되었습니다.
- 2) 본 논문의 실험을 하는데 있어서 협조해 주신 일본 Kurume National College of Technology의 Matsubara 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Matsubara, N. Sasaguri, Y. Honda and H. Q. Wu : Imono, 66 (1994) 815.
- [2] H. Q. Wu, N. Sasaguri, M. Hashimoto and Y. Matsubara : Imono, 67 (1994) 49.
- [3] H. Q. Wu, N. Sasaguri and Y. Matsubara : 2nd AFC Proceeding, 2 (1994) 109.
- [4] S. K. Yu : Korean Journal of Materials Research, 7 (1997) 310.
- [5] R. L. Miller : ASM TRANS, 61 (1968) 592.
- [6] C. Kim : HEAT TREATING, 2 (1979) 43.
- [7] C. P. Tong, T.Suzuki and T.Umeda : IMONO, 62 (1990) 130.
- [8] S. K. Yu and Y. Matsubara : 4th AFC Proceeding, 4 (1996).