[논문] 열처리공학회지, 제21권 제3호(2008)
J. of the Korean Society for Heat Treatment, *Vol. 21, No. 3, (2008) pp. 137~143*

GCD 50의 ADI처리시 기계적 성질에 미치는 켄칭 매질의 영향

김한군 · 오이식 · 김헌주† · 신기근
부경대학교 신소재공학부

Effect of Quenching Medium on the Mechanical Properties of ADI Treated GCD 50

H. G. KIM, I. S. OH, H. J. KIM†, K. G. SHIN
Division of Advanced Material Science and Eng., Pukyong National university, Pusan 608-739, Korea

Abstract Effect of quenching medium on the mechanical properties of ductil iron GCD 50 has been investigated using ADI treated specimens. The specimens have been austenitized at 900°C for 2 hours, followed by controlled cooling to 800°C under the cooling rate of 0.05°C/sec, then austempered at 380°C, 330°C, 280°C and 230°C for 1 hour. The specimens treated in the salt of 5% water were found to have higher tensile strength than that of the normal salt bath. Elongation and impact energy increased in proportion to the increase of retained austenite volume fraction. The increase of cooling rate of the salt by the addition of 5% water to the salt resulted in the increase of retained austenite volume fraction and the formation of fine bainitic ferrite.

(Received March 21, 2008; accepted April 19, 2008)

Key words: *GCD 50 ductile Iron, ADI Heat-treatment, Quenching medium, Retained austenite, Elongation, impact energy*

1. 서 론

구상흑연주철은 화학성분이나 주조조건 및 열처리 조건에 따라서 연하고 연신율이 우수한 페라이트 기지조직으로부터 높은 강도와 내마모성을 갖는 퍼얼라이트 기지조직등 공업적으로 광범위한 성질을 갖는 재료로서 그 사용 범위가 증가하고 있다[1-3]. 오스템퍼링 구상흑연주철(Austempered Ductile Cast Iron : 이하 ADI)은 적절한 강도와 인성을 가진 고품질의 주철로 제반성질에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다. 일반적으로 강을 열처리하는 경우에는 침탄이나 복탄과 같이 성분변화를 위한 별도의 처리없이는 기지조직의 탄소함량을 변화시키기가 어렵다는 단점이 있다. 이에 비하여 주철의 ADI 열처리는 오스템퍼링 단계에서 온도와 시간을 제어하여 오스테나이트의 탄소함량을 조절할 수 있고, 또한 열처리 후의 기지조직의 탄소함량 및 상변화를 제어하여 이에 따른 기계적 성질을 용이하게 제어할 수 있다는 장점이 있다[4-6].

최근 활발하게 연구되고 있는 ADI 열처리기술을 이용한 재료가 새로운 신소재로 주목받고 있는 이유는 주철을 주조한 후 오스템퍼링 열처리에 의해 연신율은 비슷하면서도 인장강도가 두배 이상인 700~1500 MPa로 증가하는 특징이 있다.

특히 자동차 부품의 경우, 단조품인 강에서는 찾아볼 수 없는 흑연 기지조직이 존재하여 소음을 중화시키는 방진작용을 하여 자동차 엔진 주변부품으로 사용하였을 때 자동차의 정숙성을 향상시킬 수 있다는 특징 등 단조품에서는 찾아볼 수 없는 많은 장점을 갖고 있다[7-12]. 그러나 ADI의 실용화를 위해서는 강의 경우에서와 같이 질량효과를 증가시키기 위하여 합금원소를 첨가하면 여러 가지 부수적인 문제점이 수반되어 단조품과 경쟁하기 위한 ADI의 장점을 충분히 활용하기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 합금원소를 첨가하지 않고도 동일한 질량효과를 얻기 위해 경화능 증가 열처리 공법을 개발하여 주철의 냉각특성을 향상시키고자 하였다. 연구대상 시료로 특수 합금원소가 첨가되지 않

†E-mail : metjoo@pknu.ac.kr

Table 1. Chemical composition of specimen (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Cu	Ni	Mo	Fe
3.68	2.53	0.31	0.001	0.001	0.045	0.0024	0.24	0.0012	0.001	bal.

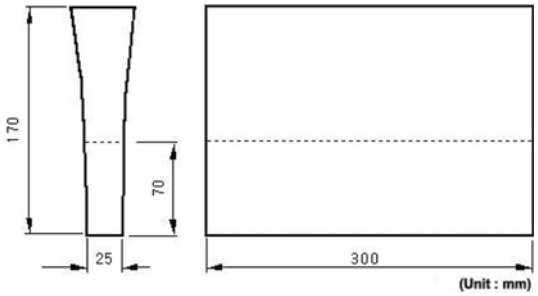

Fig. 1. Shape and dimensions of Y-block.

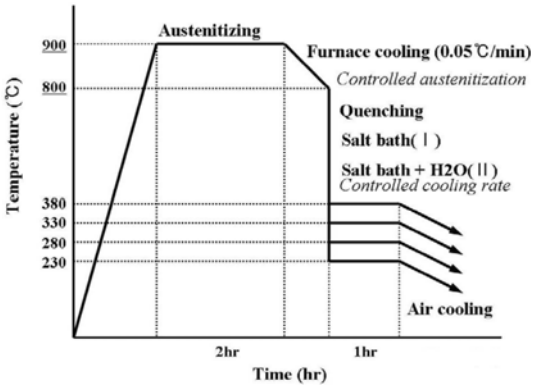

Fig. 2. Schematic diagrams of heat treatment cycles.

은 GCD 50을 사용하여 오스테나이트화 처리 시 제어냉각에 의하여 시멘타이트의 핵생성을 억제시키고자 하였다. 또한 냉각능 증가를 위하여 일반 염에서 ADI열처리를 하였을 때와, 염에 물을 첨가하여 냉각능을 증가시켰을 때 미세조직의 변화와 기계적 특성의 변화에 관하여 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작 및 열처리

본 실험에 사용한 시료는 고주파 유도 용해로를 이용하여 KS GCD 50 구상흑연주철을 용해 · 주조하여 Fig. 1의 Y-block 금형에 주입하였다. Y-block형 시료의 하단부를 절단하여 KS B0801 규격의 4호 인장시험편으로 가공하였다. 열처리는 900°C로 유지된 Ar가스 분위기로에서 2시간 동안 오스테나이트화 처리한 후 퍼얼라이트의 핵생성을 억제하기 위하여 A_1 변태 직상 온도인 800°C까지 0.05°C/분의 속도로 서랭시켰다. 이어서, 380°C, 330°C, 280°C, 230°C로 유지된 10 *l* 용량의 이코노T6(상품명, 주성분: K, $NaNO_3$) 염욕을 사용하여 시료를 퀜칭하고 1시간동안 오스템퍼링 처리후 공랭시켰다. 같은 방법으로, 예비실험을 통해 결정된 5% 물을 첨가한 염욕에 전자와 동일한 오스템퍼링 온도와 시간으로 열처리하였다. 본 실험에서 사용된 시료의 분광분석 결과를 Table 1에, 시편의 열처리 과정은 Fig. 2에 나타내었다.

2.2 기계적 성질 및 잔류 오스테나이트 측정

열처리조건에 따른 기계적 성질을 평가하기 위하여 KS B0801 규격의 4호 인장시험편을 제작하여 크로스헤드 변위속도 5 mm/min 조건으로 인장강도 및 연신율을 측정하였다. 충격시험은 10 × 10 × 55 mm 칫수의 샤르피형 무노치 충격시험편을 사용하여 40 kgf-m 용량의 샤르피 충격시험기로 상온에서 실험하였다.

잔류 오스테나이트 체적분율 측정은 Cu타켓 X선 회절시험기로 40 KV, 30 mA 조건으로 면심입방 구조의 오스테나이트와 체심입방 구조의 페라이트 회절피크의 적분강도의 비로 계산하였다.

2.3 미세조직 관찰

시료의 미세조직과, 오스템퍼링 열처리에 따른 미세조직 변화를 관찰하기 위해 광학현미경, SEM 및 TEM을 사용하였다.

구상흑연주철에 존재하는 흑연으로 인한 TEM 시편제작 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 SEM으로 관찰부위를 선택하고 Focused ion beam 장치(SEIKO SMI 3050SE)를 이용, 가속전압 30 KV에서 탄소와 갈리움 이온으로 시료를 50 nm 두께로 가공하여 TEM 그리드에 접착시켰다. 준비된

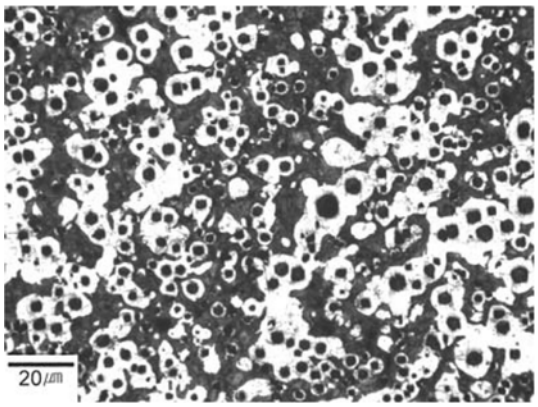

Fig. 3. Optical micrograph of the ductile iron as cast condition.

시편은 TEM(JEOL 2100F)으로 200 KV의 가속전압에서 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직

주방상태 시료의 광학현미경조직 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 주방 상태의 조직은 여러 개의 Y 블록으로부터 채취한 시편에서 균일하게 분포한 구상흑연 주위에 페라이트가 둘러싸여 있는 불스 아이(Bull's eye)[9] 조직으로 전형적인 구상흑연주철의 조직 특성을 나타내고 있다.

주철의 오스템퍼링 처리는 오스테나이트화 온도와 시간이 재료성분에 따라 다르지만 일반적으로 850°C~900°C가 적당하다고 알려져 있다. 오스테나이트화 온도를 낮게하면 탄소량이 균일화될 때까지 필요한 유지시간(soaking time)이 비교적 길게 되며, 반대로 오스테나이트화 온도를 높게 하면 단시간 내에 오스테나이트화가 가능하지만 기지내의 탄소 고용량을 증가시켜 다음 단계인 오스템퍼링 반응을 지연시키고 오스테나이트 결정립의 조대화로 기계적 성질을 저하시키게 된다. 따라서 높은 인성이 요구되는 경우에는 오스테나이트화 온도가 낮은 쪽이 유리하다고 알려져 있다[13].

그러나, 잔류 탄화물을 완전히 고용시키기 위해서는 특별히 고온에서 가열하여 오스테나이트 중의 탄소 고용량을 높게 하면 비교적 저온의 오스템퍼링 처리에서도 상부 베이나이트 조직의 생성이 용이해진다. 또한 합금원소가 첨가된 주철의 경우는 900°C 이상의 오스테나이트화 온도가 필요하고 합금원소가 첨가되지 않은 경우에는 900°C 전후가 좋다고 알려져 있다[14].

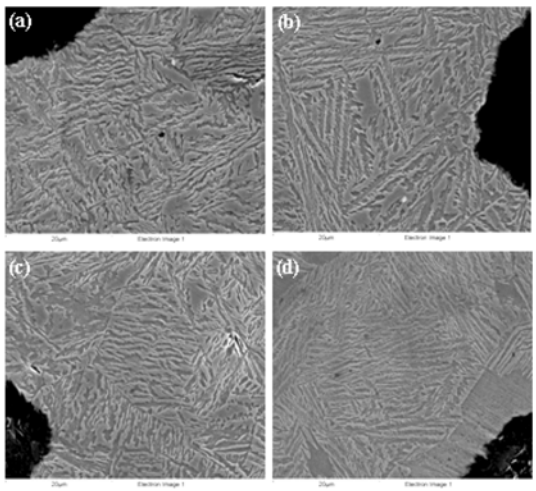

Fig. 4. SEM micrographs of the ADI after austempering treatment in salt bath only for 1 hour at (a)380°C, (b)330°C, (c)280°C and (d)230°C.

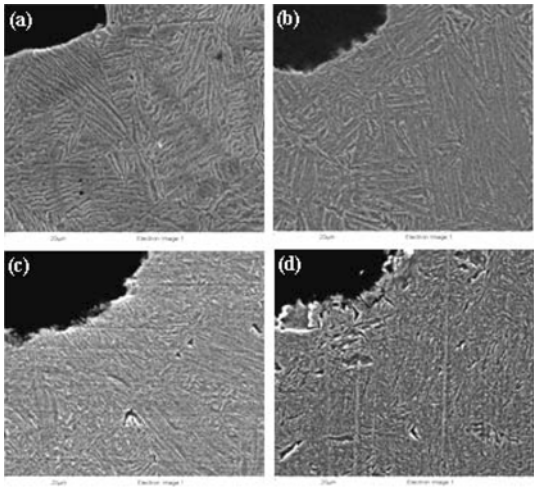

Fig. 5. SEM micrographs of the ADI after austempering treatment in 5% water-salt for 1 hour at (a)380°C, (b)330°C, (c)280°C and (d)230°C.

따라서, 본 실험에서도 900°C로 가열 후 오스테나이트 조직 균일화를 위하여 유지시간을 2시간으로 오스테나이트화 처리를 실시하였다. 900°C에서 오스테나이트화 처리하여 800°C까지 서냉한 후 380°C, 330°C, 280°C, 230°C의 염욕에 1시간 오스템퍼링

시킨 SEM 조직사진을 Fig. 4에 나타내었고, 5%의 물을 첨가한 염욕에서 동일 오스템퍼링 조건의 SEM 조직사진을 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 4에서 (a)와 (b)는 380°C와 330°C에서 등온 오스템퍼링 처리 시, 상부 베이나이틱 페라이트가 생성되었다. (c)는 280°C에서 오스템퍼링 시 하부 베이나이틱 페라이트가 생성되어 있으며, (d)는 230°C에서 오스템퍼링 처리한 경우로서 마르텐사이트와 베이나이틱 페라이트가 형성되었다.

Fig. 5는 오스템퍼링 처리시 염욕에 5%의 물을 첨가한 것으로, Fig. 4에 비하여 동일한 오스템퍼링 처리 온도일 때 베이나이틱 페라이트의 형상이 더욱 미세하고 치밀해지는 경향을 나타내었다. 230°C 염욕에 오스템퍼링 처리한 경우에는 베이나이틱 페라이트와 함께 일부 마르텐사이트 조직이 나타나고 있으나 그 비율이 물을 첨가하지 않은 염욕에 비하여 더욱 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 6은 오스템퍼링 온도 380°C에서 물을 넣지 않은 염욕(a)와 물을 넣은 염욕(b)에서 처리한 시료의 XRD 분석 결과를 나타낸 것이다. 회절실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 본 실험 조건에서는 시멘타이트의 존재가 나타나지 않았으며, 베이나이틱

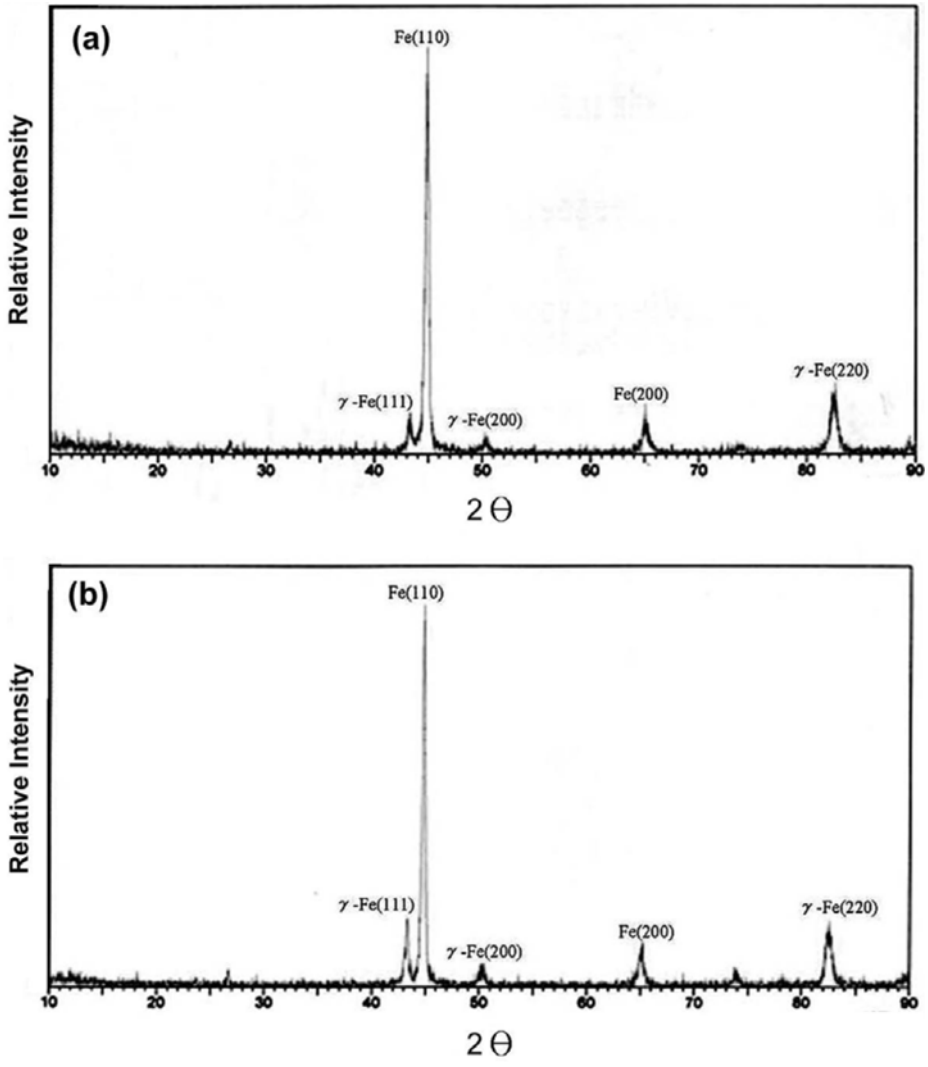

Fig. 6. XRD diffraction results of austempered specimens in (a)salt bath only and (b) 5% water-salt at 380°C for 1 hr.

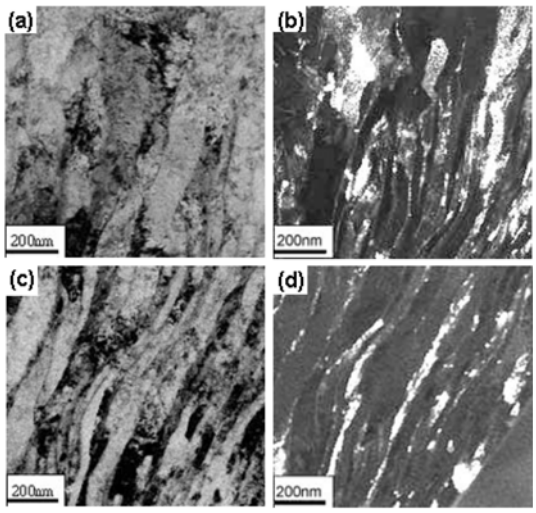

Fig. 7. TEM micrographs of the ADI after austempering treatment in salt bath only for 1 hour at 380°C(a, b), 330°C(c, d).

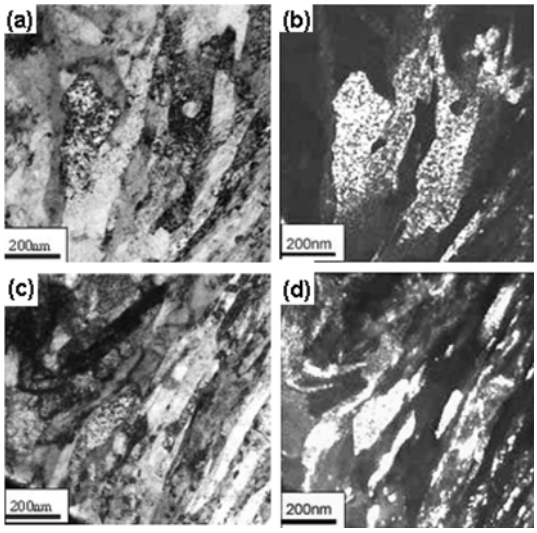

Fig. 8. TEM micrographs of the ADI after austempering treatment in 5% water-salt for 1 hour at 380°C(a, b), 330°C(c, d).

페라이트와 잔류 오스테나이트의 존재만 확인 되었다.

Fig. 7은 900°C에서 2시간 동안 오스테나이트화 처리 후 물을 첨가하지 않은 염욕에서 각 온도 동안 오스템퍼링 처리를 한 TEM의 명시야상(Bright field image) 사진(a), (c)와 암시야상(Dark field image) 사진(b), (d)를 나타낸 것이다. 길이 200~1000 nm, 폭 10~50 nm 크기를 갖는 판상의 베이나이틱 페라이트 라스(Lath)로 구성되어 있으며, 오스템퍼링 온도가 낮을수록 미세하였다. ADI의 열처리 시 베이나이틱 페라이트와 잔류 오스테나이트 등이 혼재하고 있는 것으로 알려져 있으며[15], 사진(a)와 (c)에서 어둡게 관찰되는 부분이 잔류 오스테나이트로 본 실험의 열처리 조건에서도 일부 잔류오스테나이트가 존재하고 있으나 탄화물은 존재하지 않고 있다. 따라서 본 열처리 조건에서 존재하는 조직은 베이나이틱 페라이트와 잔류 오스테나이트의 혼합 조직임을 알 수 있었다.

Fig. 8은 900°C에서 2시간 동안 열처리 한 후 5% 물을 첨가한 염욕에서 각각의 온도 동안 오스템퍼링 처리를 한 시료의 투과전자현미경 사진으로, 사진(a)와 (c)는 명시야상이며, 사진(b)와 (d)는 암시야상을 나타내었다. 여기서도 탄화물의 존재는 관찰되지 않았다. 이 조직사진에서 관찰되는 베이나이틱 페라이트 라스(Lath)는 비교적 크기가 균일하며 고르게 분포하고 있고, 사진 (d)에서는 빠른 냉각능과 낮은 오스템퍼링 온도의 영향으로 매우 미세한 판상 베이나이틱 페라이트 라스(Lath)를 관찰할 수 있었다.

3.2 기계적 성질

Fig. 9는 오스테나이트화 처리를 거치고 5% 물을 첨가한 염욕과, 첨가하지 않은 염욕에 380°C, 330°C, 280°C, 230°C에서 1시간 유지시킨 오스템퍼링 처리에 이어 공랭시킨 시험편의 인장시험 결과를 나타내었다. 인성향상을 위한 ADI 소재개발과 적용확대를 위해 인장특성 평가에 있어(인장강도 × 연신율) 값을 평가방법으로 활용하였다[16].

염욕에 5% 물을 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우 다 같이 오스템퍼링 처리온도가 증가함에 따라 연신율은 증가하였지만, (인장강도 × 연신율) 값은 오스템퍼링 온도증가에 따라 330°C까지 증가하다가 이후에는 감소하는 경향을 나타내었다.

모든 오스템퍼링 처리 온도구간에서 5% 물을 첨가한 염욕으로 오스템퍼링 처리한 시험편의 연신율과 (인장강도 × 연신율)값이 높게 나타났다.

본 실험에서 5%의 물을 첨가한 염욕에서 280°C 오스템퍼링 처리한 조건에서 인장강도값은 138 kgf/mm^{2}으로 가장 높게 나타났으며, 연신율은 5%의 물을 첨가한 염욕에서 380°C로 오스템퍼링 처리한 조

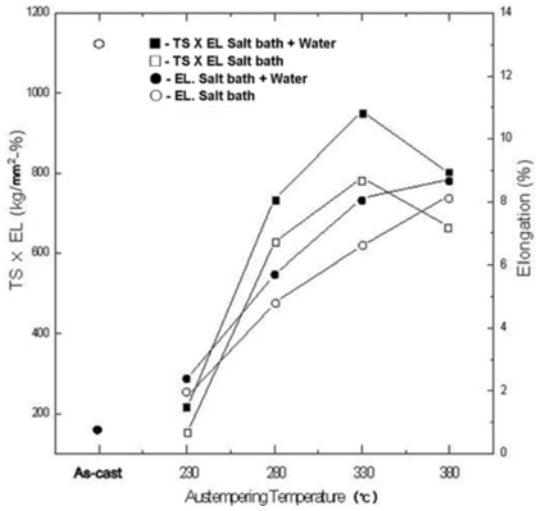

Fig. 9. Effect of austempering temperature on tensile strength, elongation after ADI austempering treatment for 1 hour at 380°C, 330°C, 280°C and 230°C.

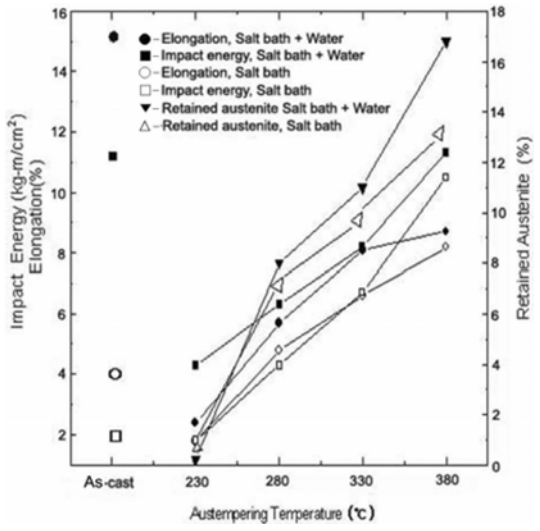

Fig. 10. Effect of austempering temperature on elongation, impact energy and retained austenite after austempering treatment for 1 hour at 380°C, 330°C, 280°C and 230°C.

건에서 가장 높은 11.8%를 나타내었다. 그러나, ADI재료의 정적상태(static state)에서 (인장강도 × 연신율)을 동시에 고려한다면, 5% 물을 첨가한 염욕에서 330°C 오스템퍼링 처리한 조건이 963.7 kgf/mm²%로 가장 우수하였다.

Fig. 10은 오스템퍼링 온도변화에 따른 연신율과 충격흡수에너지의 영향과, 잔류 오스테나이트 체적분율 변화량을 나타낸 것이다. 오스템퍼링 온도가 증가함에 따라 연신율, 충격흡수에너지의 및 잔류 오스테나이트 체적분율은 모두 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 5% 물을 첨가한 염욕으로 오스템퍼링 처리한 시험편이 모든 오스템퍼링 처리 온도구간에서 높은 연신율과 충격흡수에너지를 나타내었다.

5%의 물을 첨가한 염욕에서 380°C 오스템퍼링 처리시 잔류 오스테나이트 체적분율이 최고로 17%를 나타낼 때 충격 흡수에너지와 연신율은 각각 11.4 kgf · m/cm²와 8.7%로 최고 값을 나타내었다. 잔류 오스테나이트 체적분율 증가는 충격흡수에너지 향상과 직접적인 영향을 미친 것으로 실험결과 분석되었다.

ADI재료의 동적상태(dynamic state) 인성을 고려한다면 380°C 오스템퍼링 처리 조건이 효과적인 것으로 평가되었다.

이상의 연구결과로부터 5% 물을 첨가한 염욕에서 오스템퍼링 처리한 조건이 잔류 오스테나이트의 생성량이 많았으며, 미세한 베이나이틱 페라이트와 잔류 오스테나이트 혼합조직으로 우수한 연신율, 충격 흡수에너지 특성을 나타내어 경화능 증진효과를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

구상흑연주철 GCD 50을 900°C에서 2시간 동안 오스테나이트화 처리하여 800°C로 서랭시킨 후 5% 물을 첨가한 380°C, 330°C, 280°C, 230°C의 염욕에 1시간 동안 오스템퍼링 처리하였을 때 금속 조직적 특성과 기계적 성질의 변화에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 5% 물을 첨가한 염욕에서 오스템퍼링 처리시, 베이나이틱 페라이트 결정은 미세하고 치밀하게 분포하였으며, 잔류 오스테나이트의 생성량도 많아 물을 첨가하지 않은 경우보다 염욕의 경화능 증진효과를 얻었다.

2. 오스템퍼링 온도가 낮을수록 베이나이틱 페라이트 결정은 미세하였다. 230°C 오스템퍼링 온도에서 일부 마르텐사이트 조직이 관찰되었으나, 탄화물의 존재는 확인되지 않았다.

3. 5%의 물을 첨가한 염욕에서 280°C 오스 템퍼링 처리시 인장강도가 138 kgf/mm^{2}로 최고값을 나타내었으며, 동일 염욕에서 380°C 오스템퍼링 처리 조건에서 연신율은 11.8%로 최고였다(인장강도 × 연신율). 값은 5% 물을 첨가한 염욕에서 330°C 오스템퍼링 처리시 963.7 kgf/mm^2%로 가장 우수하였다.

4. 오스템퍼링 온도변화에 따른 충격 흡수에 너지와 연신율을 평가한 결과, 5%의 물을 첨가한 염욕에서 380°C 오스템퍼링 처리시 잔류 오스테나이트 체적분율이 최고 17%일 때 충격 흡수에너지와 연신율은 각각 11.4 kgf · m/cm^{2}와 8.7%로 최고값을 나타내었다.

참고문헌

1. J. Zimba, M. Samandi, D. Yu, T. Chandra, E. Navara, and D. J. Simbi : Mater. Des. **25**(5) (2004) 431.
2. J. Yang and S. K. Putatunda : Materials and Design **25**(3) (2004) 219.
3. Yoshisada, Mitsuhara, Hiroyuki : IMONO **7**(11) (1985) 46.
4. C. Ishigawa : Casting, Forging & Heat-treatment, (1980) 3.
5. F. S. Rossi and B. K. Gupta : Metal Progress **119**(5) (1981) 25.
6. M. Johanson : AFS Trans., **85** (1977) 117.
7. Moore D. J., Rouns T. N. and Rundman K. B. : A processing window concept. AFS Trans., **94** (1986) 255.
8. M. Gagne : AFS Trans., **93** (1985) 801.
9. Takeshi Hiraoka, Hironobu Yamamoto : IMONO, **62** (1990) 543.
10. Mitsuo Niinomi, Hironobu Yamamoto : IMONO, **58** (1986) 287.
11. Toshimi Sasaki, K. Hoshino, K. Nakamura, and H. Sumimoto : IMONO **65**(6) (1993) 491.
12. T.Y Chung : J. Kor. Soc. for Heat-treatment, **15** (2002) 3-8.
13. Kovacs B. V. : AFS Trans., **102** (1994) 417.
14. J. Yang and S. K. Putatunda : Materials and Design **25**(3) (2004) 219.
15. R. Elliott : Heat Treatment of Metals, **3** (1997) 55.
16. N. Darwish and R. Elliott : Materials Science and Technology, **9** (1993) 572.