

열간 금형강의 기계적 성질에 미치는 진공열처리와 염욕열처리 조건의 영향

김제돈[†] · 김경식¹ · 박기호²

공주대학교 공과대학 신소재공학부^{1,†} · (주)한국금형열처리 생산기술연구소²

Effect of Vacuum Heat Treatment and Salt Bath Heat Treatment Conditions on Mechanical Properties of Hot Work Die Steel

Je-Don Kim[†] · Kyung-sik Kim¹ · Ki-Ho Park²

Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University^{1,†}

Korea · Research Institute of Industrial Technology in Korea Mold Heat Treatment Co., Ltd.²

(Accepted November 00, 2014)

Abstract : Salt bath heat treatment is usually used but recently vacuum heat treatment is increased for the heat treatment of hot work die steels. The differences in two heat treatment processes were compared by testing the mechanical properties of heat treated products. With two different features of processes, mechanical properties such as hardness, tensile strength and impact strength of products show very different results. In this study salt bath heat treated products showed higher tensile strength and impact strength than vacuum heat treated products but hardness was not much different. These lower mechanical properties of vacuum heat treated products are due to differences in heating and quenching process.

Key Words : STD61, Vacuum heat treatment, Salt bath heat treatment, Hardness, Tensile strength, Impact strength, Nitrogen gas quenching, Mar-quenching, Mar-tempering

1. 서 론

현재 Al, Mg 등의 다이캐스팅 제품은 자동차부품의 경량화 또는 고강도 부재에의 적용 및 전자기기, 컴퓨터 케이스, 휴대전화 등의 관련 산업의 급속한 발전과 진보에 따라 수요가 증대하고 있다. 그러나 고기능성 다이캐스팅 제품에 요구되는 정밀도나 품질 및 기능성은 점점 더 높은 수준이 요구되고 있는 상황이다¹⁾.

특히 다이캐스팅 주조에 의해 제조되는 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg) 및 아연(Zn)제품은 자동차의 엔진부품, 차체부품, 알루미늄 휠 등으로 경량화를 목

적으로 철계 제품을 대체할 수 있는 대체품으로 그 수요가 대폭 증대하고 있다.

또한 컴퓨터기기, 전자부품, 휴대전화 등의 제품이나 부품에는 두께가 얇고 경량화가 가능하며, 복잡한 형상 부품 등의 일체화 요구를 만족시킨 제품이 제작되고 있다.

이들 제품의 엄격한 기술적 요구에 대응하여 보다 안정된 특성을 지닌 금형에 대한 요구가 증대하고 있다. 안정된 특성을 지닌 금형이란 보다 강하고 튼튼한 기계적 성질과 열적 특성을 지닌 금형이라 할 수 있다²⁾.

실제 제품을 생산할 때 금형의 열적, 기계적 성질이 좋은가 아닌가에 따라 제품의 생산량은 큰 차이를 갖는다. 따라서 금형강의 열처리는 그 재료의 기능을 유효하게 발휘시키는 것이 중요한 기반 기

[†] 교신저자 : 공주대학교 공과대학 신소재공학부
E-mail : kjd2524@naver.com

술이며, 열처리의 좋고 나쁨에 따라 얻을 수 있는 성능은 현저하게 다르다. 이것은 아무리 좋은 강재(금형강)를 사용할 지라도 적절한 열처리가 실시되지 않으면 금형의 사용과정에서 문제발생 요인으로 작용하는 경우가 많다. 선진국의 금형강 열처리 동향은 진공가압 냉각타입의 열처리로 사용이 많아질 것으로 생각할 수 있다³⁾.

이러한 배경으로서는 작업환경 개선, 금형의 광휘열처리가 가능할 수 있고, 냉각시 높은 압력을 가할 수 있고, 대형열처리로의 제작이 가능했기 때문이다.

Table 1 Chemical compositions of STD61 steel

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
0.37	1.2	0.5	0.03	0.02	•	5.0	1.5	•	1.1

국내에서는 열처리 업계 대부분이 소기업인 경우가 대부분이라 금형강에 염욕열처리를 주로 실시하고 있으나 최근 진공열처리로가 도입되어 금형강의 열처리에 사용이 증대되고 있다.

따라서 국내 열처리 업계의 경우 열간공구강에 대한 진공열처리 자료가 부족한바 진공열처리 하느냐, 염욕열처리 하느냐의 의사 결정에 어려움이 많은 실정이다. 이에 본 연구에서는 진공열처리와 기존의 염욕열처리에 대한 차이점은 없는지에 대하여 큰 관심을 갖고 연구하게 되었다.

열간금형이 제품에 맞는 기계적 성질의 특성을 발휘하기 위해서는 무엇보다도 중요한 요점은 기계적 성질을 최대한 얻을 수 있는 열처리가 되어야 한다는 점이다⁴⁾.

이에 본 연구에서는 산업현장에서 활용하고 있는 그대로의 진공열처리와 염욕열처리 설비를 활용하여 각각 조건에 따라 열처리 실험 후 상호간 기계적 성질에 미치는 경도, 인장강도, 충격인성 및 미세조직 관찰을 통하여 진공열처리와 기존의 염욕열처리에 대한 차이점을 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시험편 제작

본 연구에 활용된 강종은 STD61이며 사용된 소요 시험편은 Fig. 1 ~ Fig. 3과 같이 인장강도 시험편, 충격인성 시험편, 미세조직관찰 시험편으로 나

눌 수 있다. 실험에 사용한 강종은 국내기업에서 생산된 것으로 시중의 특수강 업체에서 구매하여 제작 사용하였다. 별도의 규격은 없으나 STD61 강재의 조성은 구매처에 의뢰하여 비교 자료로 활용하였으며 간단한 조성을 확인하고자 그라인더 불꽃시험과 정확한 데이터를 활용하고자 분광분석실험 결과를 종합하여 볼 때 STD61 강재의 조성은 Table 1과 같다.

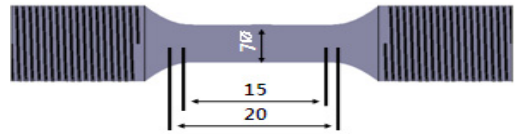


Fig. 1 Specimen for tensile strength test

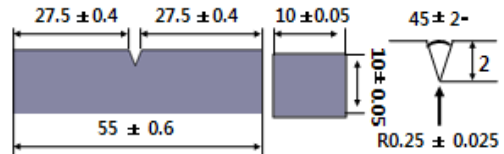


Fig. 2 Specimen for impact strength test

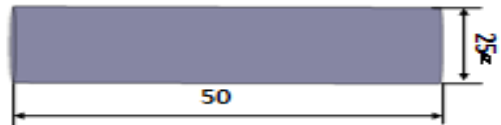


Fig. 3 Specimen for SEM microstructure test

2.2 기계적 성질 시험

2.2.1 경도 시험

로크웰경도 시험은 열처리 후 기계적 성질을 간단히 파악하기 위하여 3번씩 측정하여 평균을 산출하여 사용하는 것이 보통이다.

경도시험기는 태원사가 제작한 TW-D500 모델로 최대 시험하중이 150kgf으로 120° 원뿔형 다이아몬드 콘 끝의 압자가 시료 표면을 밀고 들어간 깊이를 경도로 나타내는 기기로써 수치형 디지털 방식의 로크웰경도 시험기를 활용하였다.

2.2.2 인장강도 시험

인장강도시험기는 Instron사가 제작한 4484 모델의 만능시험기로 마이크로프로세서 방식으로 컨트롤 된다. 최대 용량 15ton(150kN), Cross Speed

0.001~750mm/min로 15×Ø7시험편에 인장하중을 가하여 시험편이 파단 될 때 까지 시험한 후 강도와 변형률을 산출하였다.

2.2.3 충격인성시험

태원사가 제작한 TW-D502 모델의 전자충격시험기로 스펙 용량은 50kg/m, 인상각도 135°, 충격속도 5.5m/sec이며, 충격인성값은 파단 하는데 필요한 에너지를 노치부의 원단면적으로 나눈 값이다.

2.2.4 미세조직관찰

고분해성 주사 전자현미경은 TESCAN사가 제작한 MIRALMH 모델로 분해능은 가속전압이 30kV일때 1nm 까지 관찰 가능하며 배율은 X12~X1,000,000이며 가속전압은 500V~30KV이다. 15×Ø25 미세현미경시험편을 나이탈 5%을 사용하여 부식 후 동일한 배율 5000배의 10µm 입도 크기로 비교 관찰하였다.

2.3 열처리 실험

본 연구에 사용된 진공열처리와 염욕열처리로는 산업체에서 사용되고 있는 그대로의 설비를 활용하였으며 STD61의 정해진 인장강도시험편, 충격인성시험편, 미세조직관찰시험편 즉, 진공열처리 시험편 6개, 염욕열처리 시험편 6개의 시험편을 조건에 따라 로에 각각 장입하여 열처리 실험을 한다. 공열처리 로에서 오스테나이트화 한 후 질소가스담금질한 상태 그대로의 시험편을 (A)그룹으로 나타내고, 질소가스담금질한 후 1차 뜨임한 시험편을 (B)그룹으로 구분한다.

염욕열처리 로에서 오스테나이트화 한 후 염욕담금질 한 시험편을 (a)그룹으로 나타내고, 염욕담금질 후 1차 뜨임한 시험편은 (b)그룹으로 구분한다.

열간금형강 시험편을 진공열처리와 염욕열처리를 조건에 따라 실시하여 기계적 성질에 미치는 영향을 (A)(a),(B)(b) 그룹 간 상호 차이점을 비교 분석한다. 뜨임 온도는 모두 550℃로 통일한다.

2.3.1 진공 열처리 조건

진공열처리는 진공로에 인장시험편, 충격시험편, 미세조직관찰시험편 6개를 동시에 넣고 450℃에서 1차 승온 예열 50min, 850℃에서 2차 승온 예열 40min 한 후 1020℃로 승온하여 40min 유지한 뒤 질소가스 분사로 80~60℃범위까지 냉각 후 (A)그룹 3

개의 시험편은 떼어 공랭하고, 나머지 (B)그룹 3개의 시험편은 전기로에 넣고 550℃로 승온 후 150min 동안 뜨임 유지한 후 꺼내어 공랭한다. 세부적인 진공열처리 사이클은 Fig. 4와 같다.

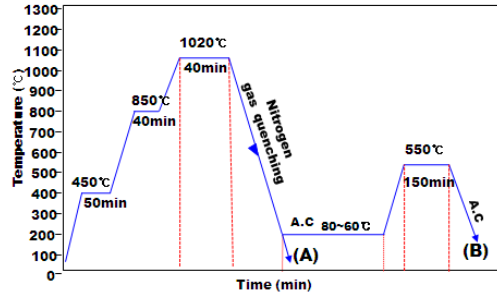


Fig. 4 Heat treatment cycle of vacuum furnace

2.3.2 염욕 열처리 조건

염욕열처리는 인장시험편, 충격시험편, 미세조직관찰시험편 6개를 동시에 넣고 400℃에서 1차 예열 50min, 800℃에서 2차 예열 15min, 1020℃온도에서 7min 간 유지한 후 준비된 450℃의 염욕에서 담금질하여 30min 유지 후 꺼내어 (a)그룹 3개의 시험편은 떼어 공랭하고, 나머지 (b)그룹 3개의 시험편은 120℃정도까지 공랭 후 곧바로 350℃ 전기로에 넣어 50min 예열 유지 한 뒤 준비된 550℃ 염욕에서 150min 간 뜨임 후 꺼내어 공랭 한다. 세부적인 염욕열처리 사이클은 Fig. 5와 같다. 염욕열처리에 사용된 염욕의 조성은 표 2와 같다.

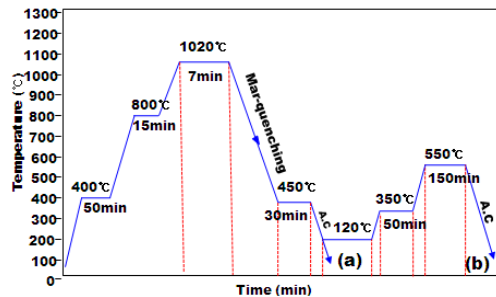


Fig. 5 Heat treatment cycle of salt bath furnace

Table 2 Chemical compositions of Salts (Wt %)

Salt	BaCl ₂	NaCl	KCl	Temperature (°C)
I	98	2	-	1100~1300
II	-	55	45	720~900
III	≥30	≥60	≥20	350~650

3. 결과 및 고찰

3.1 경도에 미치는 냉각 방법의 영향

경도와 인장강도가 정비례하는 최대점을 갖는 공구강이 내구력이 가장 양호한 반면 최대점 이상이 되는 경우는 경도와 인장강도가 역비례하기 때문에 경도가 높은 재료라고 하여 기계적 성질이 좋은 것은 아니다. 이번 인장강도 시험편, 충격인성 시험편, 미세조직 관찰시험편 모두에 경도시험을 실시하였으며 평균 산출 시험편 기준은 충격인성 시험편을 활용하였다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 진공로에서 오스테나이트화 가열 후 80~60℃까지 질소가스담금질한 (A) 그룹의 로크웰 경도 값은 HRC 53.5가 측정된 반면 염욕담금질 한 (a)그룹의 로크웰 경도값은 HRC 54.6 이 측정되었다. 염욕담금질 한 것이 HRC 1.1 만큼 높게 측정되었으나 차이는 미비하다.

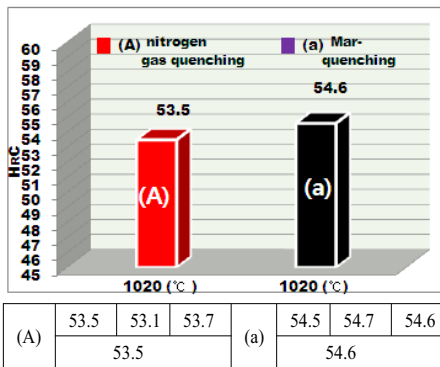


Fig. 6 Surface hardness comparison of (A) group and (a) group(HRC)

3.2 경도에 미치는 뜨임의 영향

열간금형강을 진공로에서 1020℃오스테나이트화한 후 80~60℃까지 질소가스담금질 한 뒤 550℃에서 150min 1차 뜨임을 실시한 그룹(B)의 로크웰경도시험 결과는 HRC 53.8을 나타냈다.

Fig. 7은 염욕로에서 1020℃오스테나이트화한 후 450℃로 담금질한 뒤 120℃까지 공랭한 후 곧바로 350℃에서 50min 유지 후 550℃에서 150min 1차 뜨임을 실시한 후 측정된 그룹(b)의 로크웰경도시험 결과는 HRC 54.7을 나타냈다.

결과적으로 진공열처리 된 (B)그룹이 HRC 0.9 만큼 2차 경화가 일어났으며, 염욕열처리 된 (b)그룹도 HRC 0.9 만큼 2차 경화가 일어났지만 2차 경화

는 거의 일어나지 않았다고 생각할 수 있다.

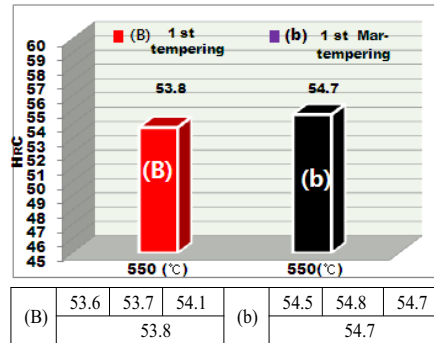


Fig. 7 Surface hardness comparison of (B) group and (b) group(HRC)

3.3 인장강도에 미치는 냉각 방법의 영향

열간금형강 공구의 수명은 접촉하는 재료와의 접촉마찰에 얼마나 잘 견딜 수 있느냐에 달려있으며 이것은 경도와 인장강도에 크게 좌우된다고 할 수 있다. 경도와 인장강도가 비례하는 최대점이 높은 공구가 강하면서도 취성에 잘 견디고 좋은 기계적 성질을 갖춘 공구라 할 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 질소가스 담금질된 (A)그룹의 인장강도 값은 1692MPa이 측정된 반면 염욕담금질 된 그룹(a)의 인장강도 값은 1978MPa가 측정되어 경도는 비슷하지만 염욕담금질한 (a)그룹의 인장강도가 286MPa이 높게 나타났다.

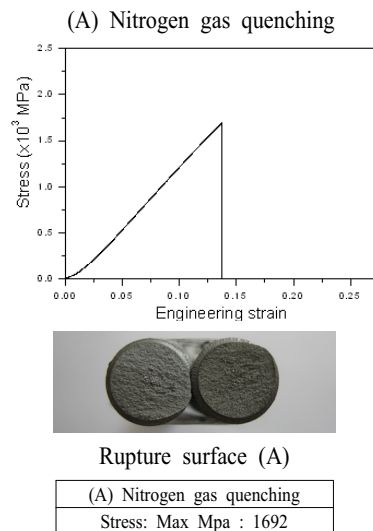


Fig. 8 Tensile strength of(A) group.

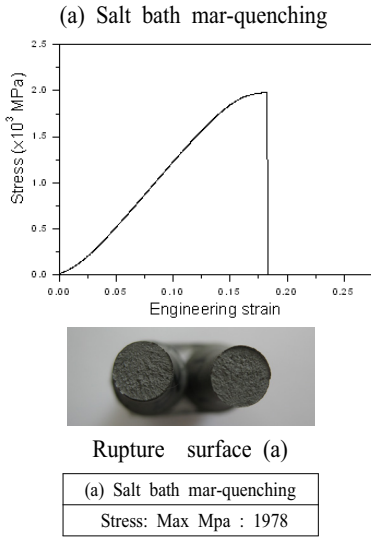


Fig. 9 Tensile strength of (a) group.

3.4 인장강도에 미치는 뜨임의 영향

열간금형강은 2차 경화 공구강으로 인장강도 값이 뜨임 처리된 시험편의 결과가 보다 중요하다. Fig. 10은 (B)그룹의 인장강도시험을 실행한 결과는 1967MPa이 측정되었다. Fig. 11은 (b)그룹의 인장강도시험을 실행한 결과는 2152MPa가 측정 관찰되었다. 진공열처리 된 것은 뜨임처리에 의하여 인장강도 값이 174만큼 증가했으나 염욕열처리 된 것은 뜨임처리에 의해 인장강도 값이 185만큼 증가하였다.

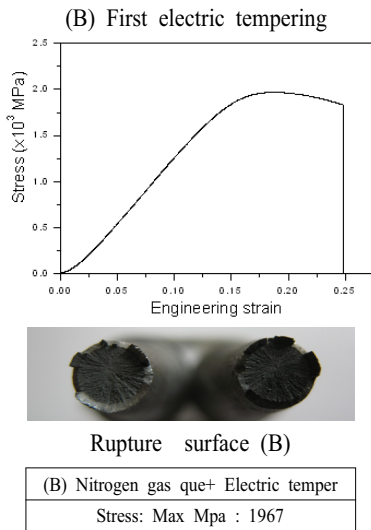


Fig. 10 Tensile strength of (B) group

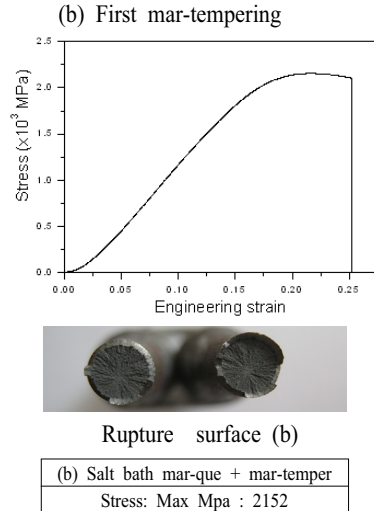


Fig. 11 Tensile strength of (b) group

3.5 충격인성에 미치는 냉각방법의 영향

열간금형강은 담금질 후 경화 취성이 잠복하고 있어 약간의 충돌이나 부딪침이 발생하면 취성을 일으키게 된다. Fig. 12는 1020°C에서 오스테나이트화한 후 질소가스담금질한 그룹(A)와 염욕담금질한 그룹(a)의 충격인성 값을 비교하였다. 질소가스담금질 된 (A)그룹의 충격인성시험 결과는 413kJ/m²가 측정되었다. 염욕담금질 된 (a)그룹의 충격인성시험 결과는 435kJ/m² 로 측정되었다. 염욕담금질된 시험편이 22kJ/m² 가 높게 측정되었다.

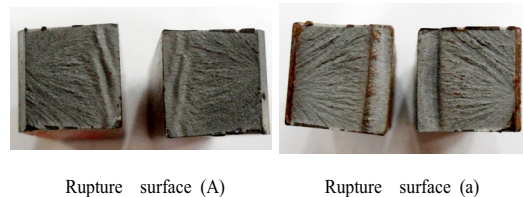
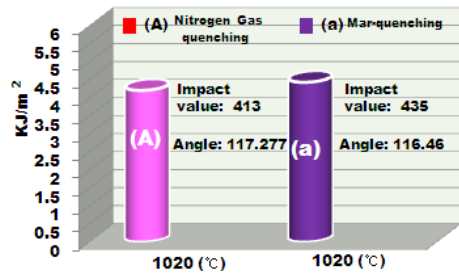


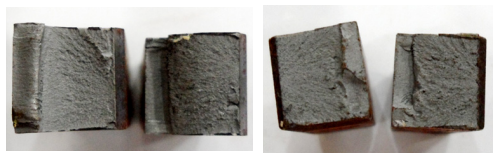
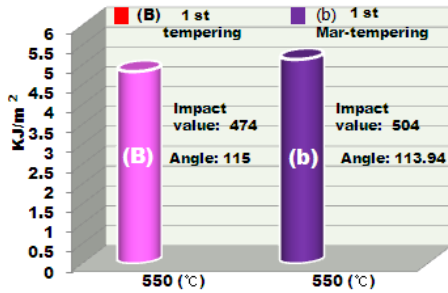
Fig. 12 Impact value comparison of (A) group and (a) group

3.6 충격인성시험에 미치는 뜨임의 영향

1020℃에서 오스테나이트화 한 후 뜨임 한 (B) 그룹과 (b)그룹의 충격인성시험 결과는 Fig. 13과 같다. (B)그룹의 충격인성시험 결과는 474kJ/m² 이 관찰된 반면 (b)그룹의 충격인성시험 측정 결과는 504 kJ/m² 가 관찰되어 염욕뜨임 된 것의 충격인성시험 결과가 30kJ/m² 높게 나타난 것을 알 수 있다.

결과적으로 뜨임 된 열간금형강은 (B)그룹 진공 열처리 한 것보다 염욕열처리 한 (b)그룹이 충격에 더 잘 견딘다는 것을 알 수 있다.

이것은 진공에서 오스테나이트화한 후 가스냉각 방식보다 염욕에 의한 액체냉각 방식이 일정하고 균일하게 냉각이 되면서 미세하나 높은 충격값을 얻을 수 있게 되었다고 할 수 있다.



Rupture surface (A) Rupture surface (a)

Fig. 13 Impact value comparison of (B) group and (b) group

3.7 미세조직에 미치는 냉각방법의 영향

Fig. 14는 1020℃ 진공로에서 오스테나이트화 한 후 질소담금질한 (A)그룹과 1020℃ 염욕에서 오스테나이트화 한 후 염욕담금질한 (a)그룹의 조직 관찰에 관한 것이다.

염욕담금질 된 (a)그룹보다 질소가스분사담금질 된 (A) 그룹 조직은 결정입계에 탄화물이 많이 형성되어 있고 M₂C침상 탄화물이 많이 형성되어 있는 반면, (a) 그룹 조직은 결정입계에 탄화물이 적게 형성되어 있고 구름 같은 MC석출탄화물이 많이 석출되어 있음을 알 수 있다.

이로 인하여 염욕담금질 된 (a) 그룹의 인장강도

및 충격인성 값이 높게 나타난 것으로 판단된다.

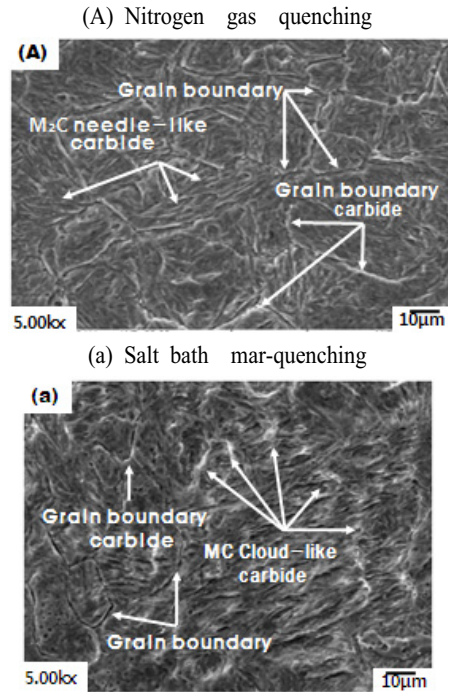


Fig. 14 Microstructure comparison of (A) group and (a) group

3.8 미세조직에 미치는 뜨임의 영향

Fig. 15는 진공로 중에서 1020℃ 오스테나이트화 후 진공질소가스담금질 한 뒤 550℃에서 150min 1차 뜨임 한 (B)그룹과 1020℃ 염욕에서 오스테나이트화 후 7min유지한 후 염욕담금질 30min 유지한 후 120℃ 공랭 후 350℃에서 예열 550℃에서 150min 유지 1차 뜨임한 (b)그룹의 미세조직을 관찰하였다.

(B)그룹과 (b)그룹의 미세조직을 관찰하면 경화된 기지에 구상의 잔류탄화물이 균일하게 분산되어 있는 상태가 좋음을 알 수 있다. 이 잔류탄화물이 고온에서 내마모성을 유지하는데 큰 역할을 한다.

그러나 풀림 된 상태에서 오스테나이트 결정립계에 그물상 탄화물이 존재하는 경우는 오스테나이트화된 후 담금질, 뜨임되어도 이것이 잔존하여 인성을 감소시키는 것이 있다. (B)그룹조직이 잔류오스테나이트 결정립계에 탄화물이 많이 존재하는 것으로 관찰되며 이로 인해 (b)그룹조직이 (B)그룹 조직보다 인장강도 및 충격인성값이 높게 나온 것으로 판단된다.

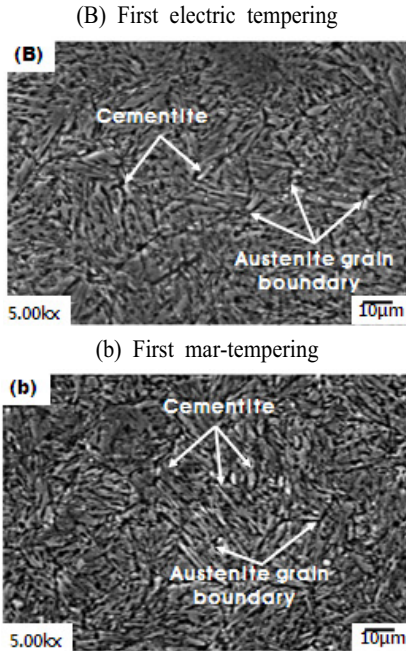


Fig. 15 Microstructure comparison of (B) group and (b) group

4. 결론 및 토의

본 연구는 산업현장에서 활용되고 있는 그대로의 진공열처리와 염욕열처리 조건을 활용하여 열간공구강인 STD61 강종을 열처리하여 경도, 인장강도, 충격인성 등의 기계적 성질 시험 및 미세조직관찰을 실시하여 비교한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 진공가열 및 염욕가열로 오스테나이트화 한 후 담금질한 상태의 경우 경도, 인장강도, 충격인성 모두 염욕열처리 한 것이 높게 나왔다.

2) 담금질 후 뜨임 처리한 경우 경도는 거의 동일 하였지만 인장강도 및 충격인성 모두 염욕열처리 된 것이 우수하였다.

3) 미세조직 관찰 결과 염욕열처리 된 것 보다 진공열처리 된 것이 입계탄화물이 많이 관찰 된 것으로부터 위와 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과로 부터 가열과 냉각을 정확하게 제어할 수 있는 열처리가 보다 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있으며 본 연구에서는 염욕열처리한 경우가 진공열처리 한 경우보다 우수한 결과를 얻었다.

참고문헌

- 1) G.A. Roberts, J.C. Hamaker, A.R. Johnson, "Tool Steels 3rded," ASTM, p. 684, 1962.
- 2) John Y. Riede, "Tool and Die failures source Book," ASM., p. 29, 1982.
- 3) B. Bryson, "Heat Treatment Selection and Application of Tool steels," Modern Machine Shop Publications, p. 63, 1997.
- 4) P. Payson, "The Metallurgy of Tool Steels Wiley & Sons," p. 205, 1962.