[논문] 열처리공학회지, 제26권 제1호(2013)
J. of the Korean Society for Heat Treatment.
http://dx.doi.org/10.12656/jksht.2013.26.1.7

# 금속도 공구강의 기계적 성질에 미치는 진공열처리와 염욕열처리 조건의 영향

**김제돈† · 김경식**
공주대학교 공과대학 신소재공학부

# Effects of Vacuum Heat Treatment and Salt bath Heat Treatment Conditions on Mechanical Properties of High Speed tool Steel

**Je-Don Kim†, Kyung-Sik Kim**
*Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University, korea*

**Abstract** Vacuum heat treatment(indirect heating method) has long exposure time at high temperature and low quenching rate. Contrarily salt bath heat treatment (direct heating method) has short exposure time at high temperature and fast cooling rate. With these 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 heat process and secondary hardening with high temperature tempering process. Consequently, It indicates that salt bath heat treatment is better way than vacuum heat treatment for product to have high mechanical properties.

*(Received October 3, 2012; Revised November 20, 2012; Accepted January 13, 2013)*

***Key ward :*** *SKH55, Salt bath heat treatment, Vacuum heat treatment, Hardness, Tensile strength, Impact strength Mar-quenching, Mar-tempering, Nitrogen gas quenching*

## 1. 서 론

기계가공이나 절삭가공에 따른 공구와 재료의 접촉 마찰에 적정한 경도와 강도를 유지하지 못하면 공구의 수명은 대단히 떨어져 절삭가공 하는데 가공 장해를 일으키게 된다.

일반 강재와 다르게 95% 이상이 기계부품을 정밀가공 하거나 절삭 가공하는데 있어 고속도공구강(SKH9~SKH50계열 등)의 소재가 아니면 기계가공이 사실상 불가능한 것이 오늘날 현실이다.

고속도공구강은 ① 18-4-1형(W 18%, Cr 4%, V 1%) ② 텅스텐계 + 코발트 ③ 몰리브덴계열 등 여러 가지 강종의 재질이 있으나 이번 실험에 사용된 강종은 몰리브텐 계열의 SKH55이다.

고속도공구강의 기계적 성질에 가장 민감한 영향을 미치는 C도 W, Cr, V등과 화합하여 복탄화물을 만들고 C가 낮으면 2차 경화가 적고 역으로 C가 지나치게 높으면 용융점이 내려가 오스테나이트화 온도를 낮추지 않으면 안 된다.

고속도공구강의 열처리는 염욕열처리를 하여 왔으나 오늘날 새로운 진공열처리 기술이 발전하면서 간단히 진공열처리로 처리할 수 있다는 점이 기계 산업계는 물론 열처리 산업계의 큰 관심사였다.

고속도공구강은 열처리 후 기계적 성능이 부족하거나 열처리 불량이 되면 고속도공구강의 소재비용, 열처리비용, 가공비용이 고가인 점에서 볼 때 거래 업체 간 갈등을 비롯한 시시비비가 많이 발생하는 등, 물질적, 경제적 낭비를 포함하면 수백억에서 수천억원의 손실이 추정되는바 고속도강의 보다 적정한 열처리 방법을 선정하기 위하여 진공열처리와 염욕열처

†Corresponding author. E-mail : kjd2524@ naver.com
Copyright ⓒ The Korean Society for Heat Treatment

**Table 1.** Chemical compositions of the test materials

| Sorts of steel | Chemical Composition (wt.%) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Si | Mn | P | S | W | Cr | Mo | Co | V |
| SKH55 | 0.87 | 0.29 | 0.27 | 0.025 | 0.0012 | 6.09 | 4.00 | 4.92 | 4.65 | 1.89 |

리 싸이클 곡선을 적용하여 퀜칭 경화와 1차 템퍼링 후 각각 기계적 성질 실험(경도, 인장강도, 충격인성 등)과 미세조직관찰을 통하여 고속도공구강의 열처리 방법이 기계적 성질에 미치는 문제점을 심층 분석하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시험편 제작

본 실험에 사용된 강종은 국내에서 생산되지 않으므로 히다찌 금속사가 제조한 강종을 구매 사용하였다. 이번 실험에 사용된 소요 시험편은 인장시험편(5Ø, $L_0 = 15$, $P = 20$), 충격시험편(Charpy type), 별도의 미세조직시험편을 각각 제작하였다.

고속도공구강은 일반강과 다르게 퀜칭 경화 후 조직시험편 채취 가공이 쉽지 않아 금속현미경 규격에 적당한 25Ø × 50 L 크기로 별도 제작하여 열처리 후 적당히 절단하여 내부 미세조직을 관찰하였다.

SKH55강의 조성은 구매처에 의뢰하여 참고로 하였으며 정확한 시험을 하기 위하여 그라인더 불꽃시험을 통하여 간단하게 성분 분석을 하였고. 보다 정확을 기하기 위하여 분광 분석기를 사용하여 분석한 결과를 종합하여 볼 때 SKH55 재료로 확인 되었다. 성분 결과는 [Table 1]과 같다.

### 2.2 열처리 실험

실험에 사용된 시험편은 인장시험편, 충격인성시험편, 조직시험편을 동일한 강재의 규격으로 각각 제작하여 진공열처리와 염욕열처리로 구분하여 열처리 실험하였다.

진공열처리에서 오스테나이트화 한 후 질소퀜칭한 상태 그대로의 시험편은 (A)그룹으로 나타내고, 질소퀜칭 후 템퍼링한 시험편은 (B)그룹으로 표시한다.

염욕열처리에서 오스테나이트화 한 후 염욕마르퀜칭 한 시험편은 (a)그룹으로 나타내고 염욕마르퀜칭 후 템퍼링 한 시험편은 (b)그룹으로 구분하여

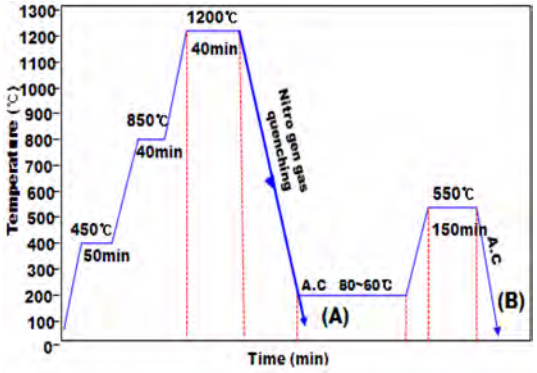



**Fig. 1.** Heat treatment cycle of vacuum furnace.

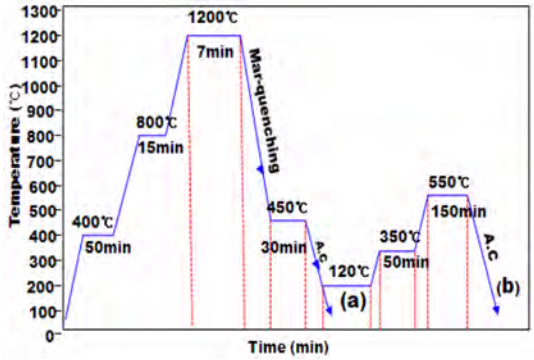



**Fig. 2.** Heat treatment cycle of salt bath furnace.

나타내고 표시한다.

고속도공구강의 진공 및 염욕열처리가 기계적 성질에 미치는 영향을 **(A)(B), (a)(b)** 그룹 간 상호 비교 분석한다.

템퍼링 온도는 모두 550°C로 통일하였다.

#### 2.2.1 진공 열처리

진공열처리는 진공로에 시험편을 넣고 450°C에서 1차 예열 50 min, 850°C에서 2차 예열 40 min 한 후, 1200°C로 승온 하여 40 min 가열 유지한 후 질소가스로 분사 퀜칭하여 80~60°C 범위까지 냉각시켰다.

질소 냉각된 상태에서 그대로의 시편 (A)그룹을

떼어놓고, 일부 시험편은 550°C에서 150 min 템퍼링하여 (B)그룹 시험편을 만들었다.

2.2.2 염욕 열처리

염욕열처리는 400°C에서 1차 예열 50 min, 800°C에서 2차 예열 15 min 실시 한 뒤 1200°C까지 승온하여 7 min 유지한 후 (a)그룹은 450°C로 유지된 염욕에서 마르퀜칭 하여 30 min 유지한 뒤 상온까지 냉각하였다. 한편 (b)그룹은 450°C로 유지된 염욕에 퀜칭하여 30 min 유지한 뒤 꺼내어 120°C 정도 까지 상온 냉각 후 곧 바로 유지된 350°C 전기로에서 50 min 예열하였다. 그후 다시 550°C 염욕마르템퍼링하여 150 min 유지 후 꺼내어 상온까지 공냉하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 경도에 미치는 냉각방법의 영향

로크웰경도 시험은 보통 3번씩 측정하여 평균을 산출하는 것이 보통으로 질소퀜칭한 (A)그룹의 로크웰 경도는 65.8 HRC이 측정된 반면, 염욕마르퀜칭한 (a)그룹의 로크웰 경도 62.2 HRC 로 측정되었다.

질소퀜칭 한 것이 3.6 HRC 높게 측정되었음을 알 수 있다[Fig. 3]. 이때 경도 값이 차이나는 이유는 냉각속도 차이에 의한 마르텐사이트 변태분열 차이로 판단된다[Fig. 3].

### 3.2 경도에 미치는 템퍼링의 영향

고속도공구강을 진공열처리와 염욕열처리 해서급냉한 뒤 템퍼링 후의 경도를 비교하였다.

질소퀜칭 후 550°C에서 150 min 유지 1차 템퍼링 실시한 그룹(B)의 로크웰경도시험 결과는 66.9 HRC를 나타났다[Fig. 4].

550°C에서 150 min 시간 1차 마르템퍼링 실시한 후 측정된 그룹(a)의 로크웰경도시험 결과는 65.2 HRC을 나타냈다.

결과적으로 진공열처리 된 (B)그룹이 1.1 HRC 만큼 2차 경화가 발생한 반면, 염욕열처리 된(b)그룹은 3 HRC이 2차 경화가 발생한 것을 알 수 있다[Fig. 4].

2차 경화는 마르텐사이트 변태가 더 진행 된 것보다는 W, Cr, Mo 등, 합금탄화물의 석출 효과가 더 크기 때문에 일어나는 것이다.

(A). Nitrogen gas quenching. (a).Salt bath Mar-quenching.

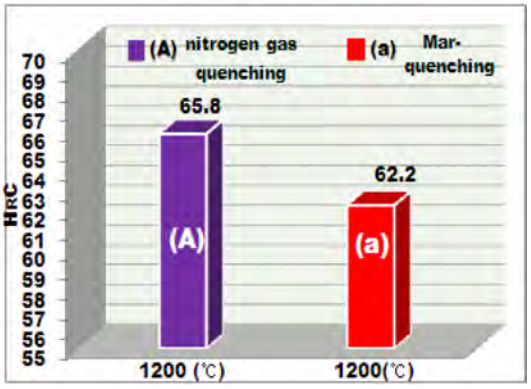



**Fig. 3.** Surface hardness comparison of (A) Nitrogen gas quenching and (a) Mar-quenching (HRC).

(B) First electric tempering . (b) First Mar-tempering.

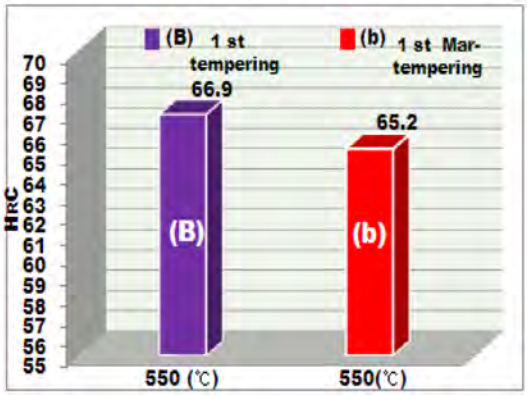


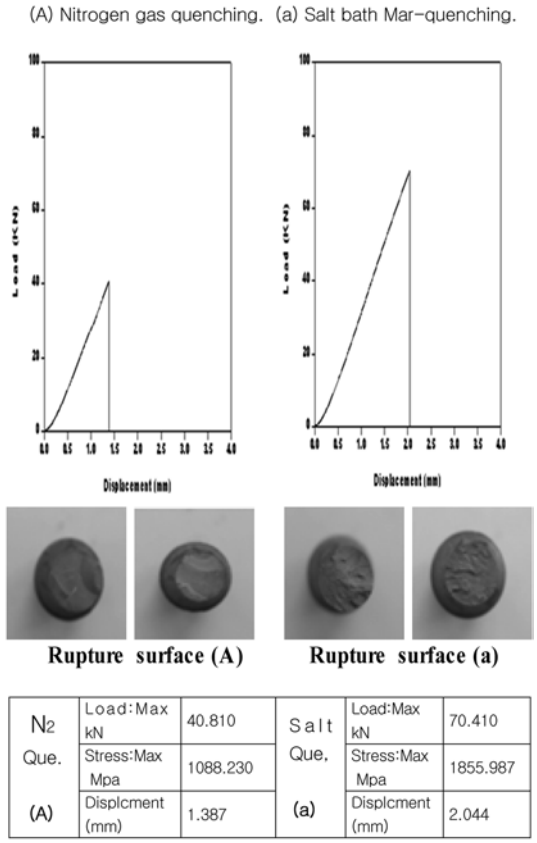

**Fig. 4.** Surface hardness comparison of (B) first tempering in electric furnace and (b) Mar-tempering (HRC).

### 3.3 인장강도에 미치는 냉각방법의 영향

고속도공구강 공구의 수명은 접촉하는 재료와의 마찰에 견딜 수 있는 경도와 인장강도에 좌우된다고 할 수 있다.

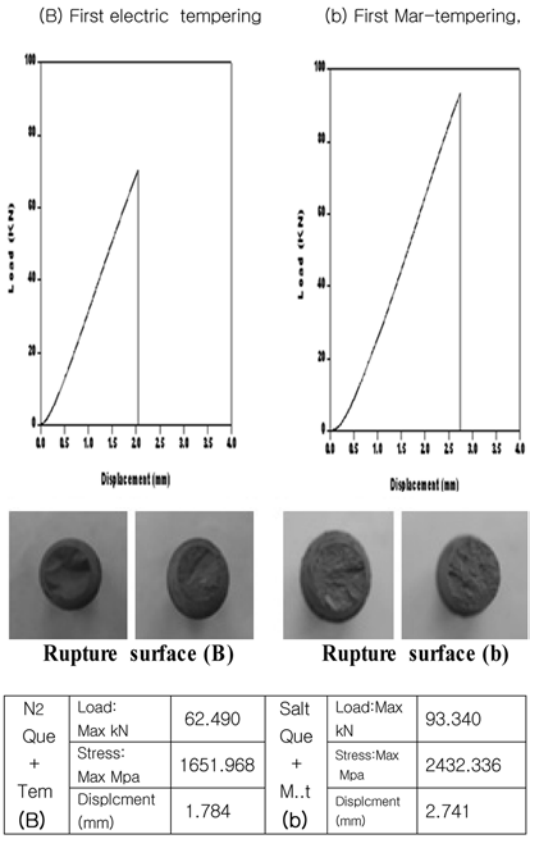
경도와 인장강도는 비례하는 최대점이 높은 기계적 성질을 갖춘 공구가 강하면서도 취성에 잘 견디는 좋은 공구가 될 것이다.

고속도공구강은 경도와 인장강도가 대단히 높아 일반 시험편으로 인장실험이 용이하지 못하다. 별도의




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| N2 Que. (A) | Load:Max kN | 40.810 | Salt Que. (a) | Load:Max kN | 70.410 |
| | Stress:Max Mpa | 1088.230 | | Stress:Max Mpa | 1855.987 |
| | Displcment (mm) | 1.387 | | Displcment (mm) | 2.044 |

**Fig. 5.** Tensile strength comparison of (A) nitrogen gas quenching and (a) Mar-quenching.




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| N2 Que + Tem (B) | Load: Max kN | 62.490 | Salt Que + M..t (b) | Load:Max kN | 93.340 |
| | Stress: Max Mpa | 1651.968 | | Stress:Max Mpa | 2432.336 |
| | Displcment (mm) | 1.784 | | Displcment (mm) | 2.741 |

**Fig. 6.** Tensile strength comparison of (B) first tempering in electric furnace and (b) Mar-tempering.

인장시험편(5Ø, $L_0 = 15$, $P = 20$)을 제작하여 실험에 임하였다. 실험 장비는 MTS 만능시험기 이며 인장강도 값은 재료가 파단하기까지의 최대하중을 시험편의 평행부 원래의 단면적으로 나눈 값이다. 질소 퀜칭 된 (A)그룹의 인장강도 값은 1088 MPa이 측정된 반면, 염욕마르퀜칭 된 그룹(a)의 인장강도 값은 1855 MPa가 측정되어 경도는 낮지만 매우 높은 인장강도 값이 측정 되였다[Fig. 5].

염욕마르퀜칭 한 (a)그룹의 인장강도가 767 MPa이 높게 나타났다. 이것은 가열 및 냉각 방법에 따른 차이라 할 수 있다.

### 3.4. 인장강도에 미치는 템퍼링의 영향

고속도공구강은 2차 경화가 뚜렷하게 발생하므로 경도, 인장강도, 충격인성 값은 2차 경화의 결과가 보다 중요하다. (B)그룹의 인장강도시험을 실행한 결과는 1651 MPa이 측정되었다.

(b)그룹의 인장강도시험을 측정한 결과는 2432 MPa가 측정 관찰되었다[Fig. 5].

결과적으로 진공열처리 보다 염욕열처리 된 시편이 2차 경화 후 인장강도가 780 MPa 만큼 높게 나타나 있다. 이것은 공구의 수명을 좌우 할 수 있는 결과로 염욕열처리가 가열 냉각이 일정하고 균일하여 진공열처리 보다 높게 나타난 결과라 할 수 있다[Fig. 6].

특히 진공열처리는 가열이 불균일한 단점과 질소 냉각제의 기체 밀도가 액체 밀도 보다 낮기 때문에 냉각성이 불균일하게 나타 낫다고 생각할 수 있다.

### 3.5 충격인성에 미치는 냉각방법의 영향

1200°C에서 오스테나이트화 한 후 질소퀜칭한 그룹(A)와 염욕마르퀜칭한 그룹(a)을 비교하였다.

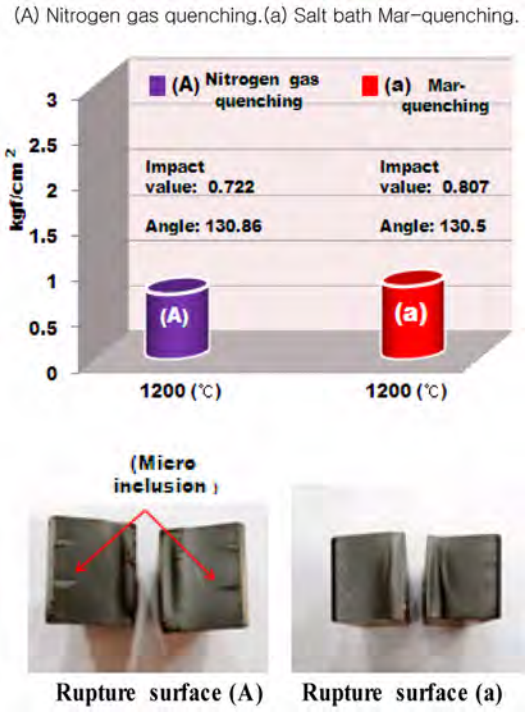



**Fig. 7.** Impact value comparison of (A) nitrogen gas quenching and (a) Mar-quenching.

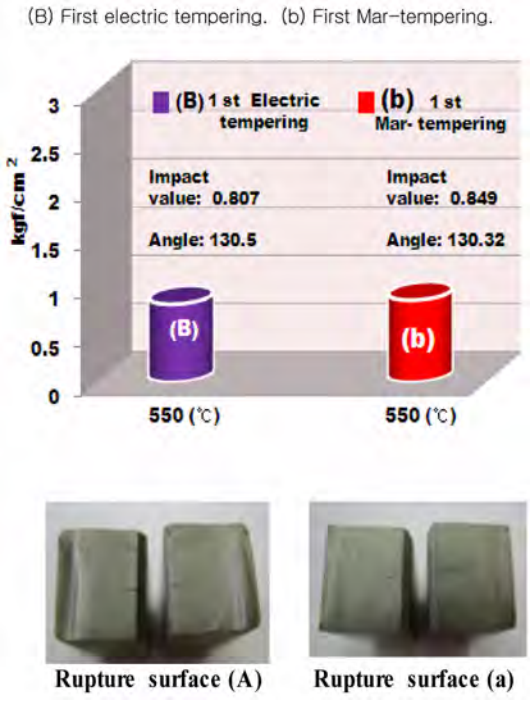



**Fig. 8.** Impact value comparison of (B) first tempering in electric furnace and (b) Mar-tempering.

충격인성시험은 파단 하는데 필요한 에너지(kgf·m)를 노치부에서 원단면적으로 나눈 값(kgf·m/cm²)이다.

고속도공구강은 퀜칭 후 경화 취성이 잠복하고 있어 약간의 충돌이나 부딪침이 발생하면 취성을 일으키게 된다.

질소퀜칭 된 (A)그룹의 충격인성시험 결과는 0.722 kgf · m/cm²로 파단면에 미세한 불순물이 발견되었다.

염욕마르퀜칭 된 (a)그룹의 충격인성시험 결과는 0.807 kgf · m/cm²로 높게 측정되었다[Fig. 7].

### 3.6 충격인성시험에 미치는 템퍼링의 영향

1200°C 염욕에서 오스테나이트화 한 후 마르퀜칭한 (B)그룹과 (b)그룹의 충격인성시험 결과는 다음과 같다.

(B)그룹의 충격인성시험 결과는 0.807 kgf · m/cm²이 관찰된 반면, (b)그룹의 충격인성시험 측정결과는 0.849 kgf · m/cm²가 관찰되어 염욕마르템퍼링된 것의 충격인성시험 결과가 0.042 kgf · m/cm² 높게 나타난 것을 알 수 있다.

결과적으로 고속도강 공구는 진공열처리 한 것보다 염욕열처리 한 것이 충격에 더 잘 견딘다는 것을 알 수 있다[Fig. 8].

또한 진공열처리 된 공구 보다 염욕열처리 된 공구가 가열 및 냉각시 온도가 일정하고 균질하게 열처리 되었으므로 좋은 기계적 성질을 갖춘 공구라 할 수 있다.

### 3.7 미세 조직에 미치는 냉각방법의 영향

25Ø × 50 크기로 제작된 조직관찰 시편은 1200°C 진공에서 오스테나이트와 한 후 질소퀜칭한 (A)그룹과 1200°C 염욕에서 오스테나이트화 한 후마르퀜칭한 (a)그룹의 조직을 관찰 하였다.

부식액은 10% 나이탈 용액을 사용하고, 고분해성 주사 전자현미경을 사용하여 5000배의 배율로 조직을 비교 관찰하였다.

질소퀜칭 된 그룹(A)의 조직은 마르텐사이트 결정립이 조대하며, 석출탄화물 량이 적은 반면에 미

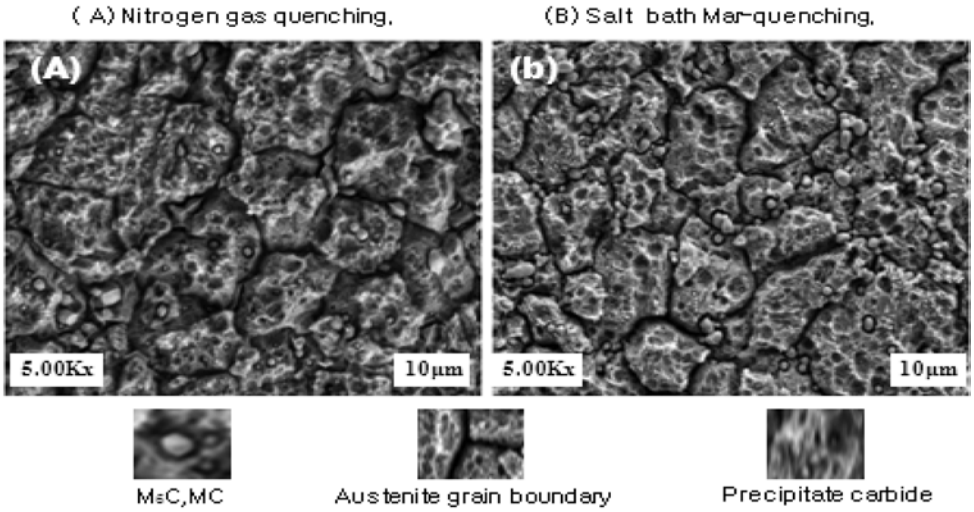



**Fig. 9.** Microstructure comparison of (A) nitrogen gas quenching and (a) Mar-quenching.

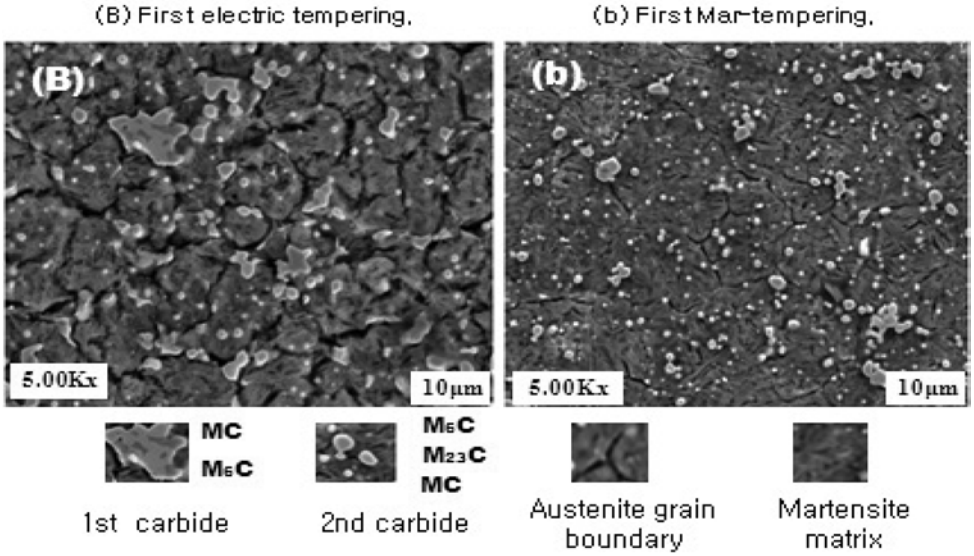



**Fig. 10.** Microstructure comparison of (B) first tempering in electric fumace and (b) Mar-tempering.

고용탄화물(M6C,MC) 량이 마르퀜칭한 (a)그룹보다 많다.

이로 미루어 진공 중에서 질소퀜칭 될 때 불안정한 과냉이 이루어 졌다고 생각할 수 있다[Fig. 9].

### 3.8 미세조직에 미치는 템퍼링의 영향

25Ø × 50 크기로 제작된 조직관찰 시험편을 1200°C 진공에서 오스테나이트화한 후 질소퀜칭한 후 350°C에서 50 min 예열 한 후 550°C에서 1차 템퍼링한 그룹(B)과 1200°C 염욕에서 오스테나이트화 한 후 마르템퍼링한 그룹(b)의 조직을 5% 나이탈 용액으로 부식하여 조직을 비교 관찰 하였다.

(B)그룹의 조직은 앞의 Fig. 9의 (A)그룹 조직보다 잔류오스테나이트 량이 크게 감소하였음을 알 수 있으며, 탄화물과 마르텐사이트 조직은 크게 변하지 않아다. 한편 (b)그룹의 조직은 미세한마르텐사이트 조직에 탄화물이 미세하게 석출되어 있음을 알 수 있다 [Fig. 10].

## 4. 결 론

고속도공구강의 사용 수명을 결정하는 것은 그 공구 소재의 기계적 성질이다. 그러나 그 소재의 기계적 성질은 어떤 열처리를 하였느냐에 따라 크게 좌우된다. 이에 본인은 고속도공구강의 경화 열처리 방법으로써 널리 사용되고 있는 염욕 열처리 방법과 최근 적용범위가 확대되고 있는 진공열처리법을 선정하여 경도, 인장강도, 충격인성 등 기계적 성질을 분석하고 미세조직관찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 1200°C 진공에서 오스텐나이트화 한 후 질소퀜칭한 (A)그룹의 경도는 65.8 HRC이며, 질소퀜칭 뒤 1차 템퍼링한 (B)그룹의 경도는 66.9 HRC이다.

진공열처리 된 시험편에서 1차 템퍼링 된 (B)그룹의 경도가 (A)그룹보다 1.1 HRC 만큼 2차 경화가 발생하였다.

2. 1200°C 염욕에서 오스테나이트화 한 후 마르퀜칭한 (a)그룹의 경도는 62.2 HRC이며, 마르템퍼링한 (b)그룹의 경도는 65.2 HRC 이다.

한편 염욕열처리 경우 마르퀜칭된 (a)그룹의 경도보다 마르템퍼링 된 (b)그룹의 경도가 3.0 HRC 만큼 2차 경화가 발생하였다.

3. 인장강도시험 결과 (A)그룹의 1088 MPa, (a)그룹은 1855 MPa이며 (B)그룹의 인장강도는 1651 MPa, (b)그룹의 경우 2432 MPa이다.

이상의 결과로부터 템퍼링이 실시된 재료가 인장강도 값이 크게 증가함을 알 수 있다.

4. 충격인성시험 결과 (A)그룹의 충격값은 0.722 kgf · m/cm$^2$이며, (a)그룹의 충격값은 0.807 kgf · m/cm$^2$이다.

한편 (B)그룹의 충격에너지 값은 0.807 kgf · m/cm$^2$이며 (b)그룹은 0.849 kgf · m/cm$^2$이다.

이상의 결과로부터 템퍼링 실시 된 것이 충격인성이 더욱 우수함을 알 수 있다.

5. 미세조직을 관찰한 결과 템퍼링한 것이 잔류오스텐나이트가 적으며, 진공열처리 된 것보다 염욕열처리 된 것이 탄화물과 기지조직이 미세하게 나타났다.

## 후 기

이상과 같은 결론이 산업체 여러분에게 도움이 되기를 바랍니다.

## References

1. 日本熱處理技術協會 : 金屬 熱處理技術 便覽 日刊工業新聞社 (2000) 471-473.
2. 特殊鋼 ガイド編纂委員會 : 特殊鋼 倶樂部 (1977) 150-152.
3. Harry chandler : Heat Treatter.s Guide. ASM (2001) 639-647.
4. Compiled by consulting : Tool and Die Failures, ASM (1982) 471-473.
5. 大和久重雄 : ハイスの熱處理ノート (1993) 99-140.
6. 김문일 : 熱處理 가이드 북 工具鋼의 熱處理 (1994) 261-301.
7. 한봉희 : 金屬材料 (2011) 393-434.
8. 洪英煥 : 鋼의 熱處理 實務 (1996) 225-257.