

論 文

Mo계 고속도 공구강의 오스템퍼링에
따른 기계적 성질에 관한 연구

최 문 성* · 이 해 우** · 노 용 식** · 김 영 희** · 김 한 군*** · 이 상 윤**

*삼천리 열처리(주)

**동아대학교 금속공학과

***부산공업대학 금속공학과

Study on the Mechanical Properties of Mo Series High Speed Tool Steel Austempered

M.S. Choi*, H.W. Lee**, Y.S. Rho**, Y.H. Kim**, H.G. Kim*** and S.Y. Lee**

*Sam Chully Heat Treatment Co., Ltd

**Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University

***Department of Metall, Pusan National University of Technology

ABSTRACT

This study has been performed to find out the effect of austenitizing temperature, austempering temperature and its holding time, and tempering cycle on the mechanical properties such as impact resistance, hardness etc. of AISI M₂ Mo series high speed tool steel austempered or tempered after austempering treatment.

The results obtained from the experiment are as follows :

(1) Optical micrograph has revealed that the transformation rate of bainite is delayed as the austenitizing temperature increases and that bainite is most apparently transformed at an austempering temperature of 290°C.

(2) The amount of retained austenite during austempering has been analysed to be increased by the X-ray diffraction technique as the transformation product of bainite is increased. It has also been shown that the longer the holding time of austempering, the more the transformation quantity of bainite is formed, exhibiting, however, that the rate of bainitic transformation is considerably retarded after a certain period of holding time elapses.

(3) Hardness measurement has shown that hardness values obtained after austempering increase with decreasing the amount of retained austenite.

(4) The austempering and then tempering cycle has been formed to give hardness values which are more greatly improved as austenitizing temperature is increased.

(5) The mechanical property of the specimen primary-tempered for 1 hour at 550°C after austempering for 2 hours at 290°C from the austenitizing temperature range of 1180°C to 1210°C have been estimated to be good values.

1. 서 론

몰리브덴계 고속도 공구강(molybdenum series high speed tool steel)은 고정밀의 치수를 요구하는 가공 영역인 자동선반 가공이나 전자동가공 시스템의 절삭용 공구로 많이 사용되는데 특히 선반공구, 셰이퍼공구, 드릴, 탭, 리머, 밀링카터, 앤드밀, 기어카터 등의 소재로써 어떠한 절삭조건하에서도 초기의 성능과 치수를 오래도록 유지하여야 하는 내구성과 고정밀도, 내충격성 등이 요구된다.

몰리브덴 고속도공구강은 텅스텐계(tungsten series) 고속도 공구강과 용도범위는 거의 같으나 값비싼 텅스텐을 적당량의 몰리브덴으로 대체하여 내충격성과 내마모성이 우수하고 고온 경도가 높으며, 텅스텐계보다 낮은 경화온도에서 열처리가 가능하고 기계 가공성도 좋다.

절삭용 공구에 있어서 사용조건에 따라 내마모성은 다소 저하되더라도 내충격성과 고정밀도를 요구하는 열처리가 필요하다. 이러한 성질을 향상시키기 위하여, 몰리브덴계 고속도 공구강에 오스템퍼링 처리된 고속도 공구강의 특성 및 파괴거동에 대한 연구자료는 거의 없는 실정이다. 쾨칭 및 다수 템퍼링처리된 AISI M₂, M₄₂ 및 M₇ 고속도 공구강의 파괴인성을 일반적인 탄성 파괴 기구의 적용에 의하여 연구된 자료는 다수 있으며¹⁻⁴⁾, Gorbe와 Roberts⁵⁻⁶⁾는 파괴인성의 개념에 대하여 첫째, 파손 전의 변형되려는 능력이며 둘째, 영구변형에 대한 저항능력이라고 정의하였고, Weigand⁷⁾는 인성의 정의에 대하여 정적굽힘 또는 비틀림시험에서 측

정된 소성적 변형에너지량이라고 하였는데 이는 인성과 단속적인 절삭에 있어서 공구수명과의 사이에 상호관계는 있으나 절대적인 관계가 아니라고 하였다. 고속도 공구강에서의 오스템퍼링 처리는 1200°C 부근의 오스테나이트화 온도에서, 베이나이트 변태(bainitic transformation)가 일어나는 온도로 신속하게 냉각시키고 상온으로 냉각함에 따라 미변태된 오스테나이트가 상당량 잔존하게 되며 따라서 2차 경화효과를 얻을 수 있는 온도에서 템퍼링함으로써 기계적성질의 향상을 기대할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 Mo계 고속도 공구강의 오스테나이트화 온도, 오스템퍼링 온도와 유지시간 및 템퍼링 싸이클을 변화시킴으로써 내충격성, 경도 등의 기계적성질 향상을 고찰코자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시 료

본 연구에 사용된 시료는 수입품의 Mo계 고속도 공구강으로서 발광분광 분석기(Lab Test사, model V 25)로 화학조성은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Chemical Composition of Specimen. (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V
0.84	0.18	0.31	0.030	0.002	4.30	5.20	5.95	1.75

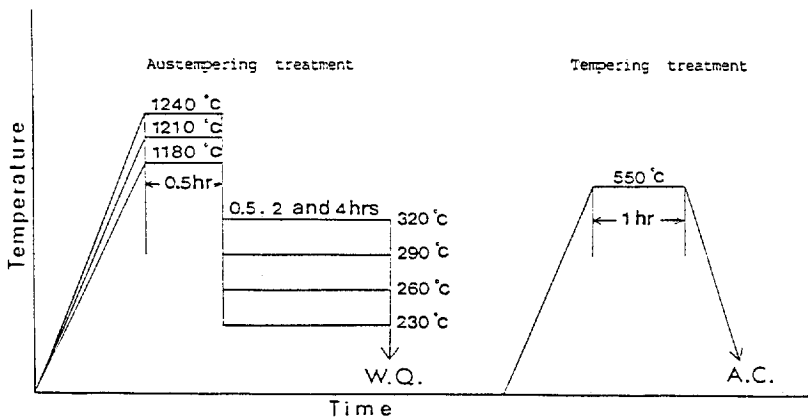


Fig.1. Heat treating cycles.

2.2. 충격시험편

충격시험편은 고경도 재료의 인성을 측정하는데 적합하도록 하기 위하여 노치없는 시험편(8 W×10 H×55 C, mm)을 제작하여 사용하였다.

2.3. 열처리

본 연구에 사용된 시료는 열처리 전에 초음파세척 후 사용하였으며, 열처리 사이클은 Fig.1 과 같다.

오스테나이트화 처리는 고온 처리중에 탈탄 및 탈 Cr 화를 방지하기 위하여 진공도가 10^{-3} mmHg로 유지된 수직형 진공관상로(Vertical vacuum tube furnace, tube size $\Phi 35 \times 900$ mm, 5 kW)를 사용하였으며, 시료를 장입하기 전에 고순도의 Ar가스를 2~3 차례 퍼징(purging)한 다음, Ar가스가 충전된 상태에서 시료를 장입하였다. 온도의 정밀도는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이내로 유지하였다.

오스템퍼링에 사용된 염욕으로는 저온염으로써, 55% KNO_3 -45% NaNO_2 의 혼합염을 사용하였고 각 염욕내의 정확한 온도를 측정하기 위하여 시료와 같은 위치에 열전대를 넣고 디지털멀티미터(digital multimeter, Takeda사, model 6865)를 사용하여 측정하였으며 온도의 오차는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이내로 유지하였다.

2.4. 현미경조직 시험

열처리된 시편을 마운팅한 후 일반적인 현미경조직 시험용 준비과정에 따라 정마하여 5% Nital과 베이나이트 조직을 우선적으로 부식시키는 부식액(picric acid 4 g + HNO_3 5 ml + ethylalcohol 100 ml)을 사용하여 부식시킨 후 광학현미경(Optical microscope, Nikon, model AFX)을 사용하였다. 또한 오스템퍼링 시간변화에 따라 베이나이트의 성장 및 증가를 더욱 상세히 관찰하고 파단면 조직을 분석하기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope, model JSM-35 CF)을 사용하였다.

2.5. 정량금속조직 시험

각 오스테나이트화 온도에서 30 분동안 유지한 후에 유냉한 시료에서 오스테나이트의 평균결정입도를 측정하기 위하여 10% Nital로 부식시킨 후 400 배로 촬영된 광학현미경조직 사진을 사용하여 Heyn의 교차법(intercept method)에 의해 평균결정입도 \bar{D} 를 다음식으로 계산하여 구하였다.

$$\bar{D} = \frac{P}{M \cdot N}$$

여기서, P는 측정그릿(grid)의 원둘레이며, M은 배율이고, N은 측정용그릿과 결정입계와의 교차점의 수이다.

2.6. X-선 회절시험

오스템퍼링 처리된 시료에 형성된 오스테나이트의 양을 측정하기 위하여 Miller의 잔류오스테나이트 측정법에 의하여 X-선 회절시험기(X-ray diffractometer, Rigaku model D/MAX-IIA)를 사용하였다.

2.7. 경도시험

각 열처리조건에 따른 경도값을 얻기 위해 디지털로크웰 경도기(digital rockwell hardness tester, matsuzawa, model DTR-M)와 마이크로비커스(micro vickers hardness tester, Matsuzawa, model MVK-E)를 사용하여 시편당 5회 측정하여 최소값과 최대값을 제외한 나머지 3번의 경도값을 평균하여 얻은 값을 그 시편의 경도값으로 정하였다.

2.8. 충격시험

오스템퍼링 후 1차 템퍼링한 시편과 퀴칭 후 2차 템퍼링한 시편의 인성을 비교하기 위하여 상온에서 샤르피충격 시험기(charpy impact tester, 한국, model TST-105)를 사용하여 해머 인상각(hammer lift angle)을 141.2° 로 하여 실시하였으며, 이때 충격속도는 5.52 m/s였다. 각 열처리 온도당 각각 3개의 시편에 대해 평균값을 계산하여 상온 충격값으로 결정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 현미경조직

각 오스테나이트화 온도에서 30 분동안 유지한 후 유냉시킨 현미경조직은 Photo.1에 나타낸 바와 같으며 오스테나이트화 온도가 높을수록 전오스테나이트(prior austenite)의 결정입계는 급격히 조대화되고, 미고용합금탄화물(undissolved alloy carbides)의 양은 감소되고 있음을 알 수 있다. 이것은 결정입계에 대부분 위치한 미고용 합금탄화물들이 결정립의 성장을 억제하고 있었으나, 오스테나이트화 온도가 높아질수록 입계에 석출되어 있던 미고용 합금탄화물들이 기지조직인 오스테나이트 입내에 고용됨으로써, 미고용합금 탄화물의 양이 감소됨에 따라 결정립성장에 대한 억제력이 약화되어 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라 급격히 결정립의 성장이 일어난 것으로 사료된다. 따라서 오스테나이트

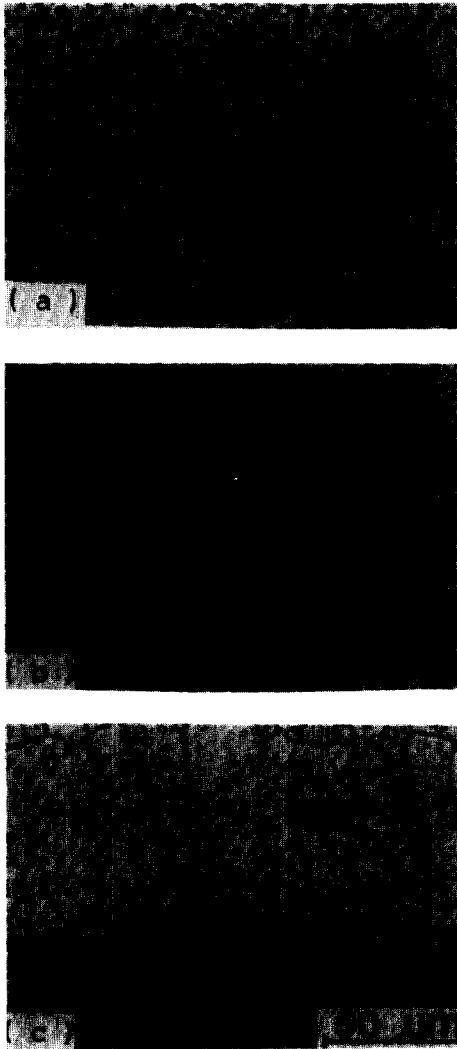


Photo.1. Optical micrographs of type M₂ high speed steel quenched in oil after austenitizing for 0.5 hr at ; (a) 1180°C, (b) 1210°C, (c) 1240°C.

의 평균결정 입도는 Fig.2에 나타낸 바와 같이 1180°C에서 5.0 μm이며 1240°C에서 12.5 μm로 증가한다.

Photo.2는 1210°C의 오스테나이트화 온도에서 30분 동안 유지한 후 230°C, 260°C, 290°C 및 320°C에서 각각 2시간 동안 오스템퍼링하였을 때의 현미경조직을 나타낸 것이다. (a)의 기지조직은 마르텐사이트이며, 합금탄화물과 소량의 베이나이트 및 잔류오스테나이트로 구성되어 있으며, 특히 합금탄화물은 몰리브덴계에서

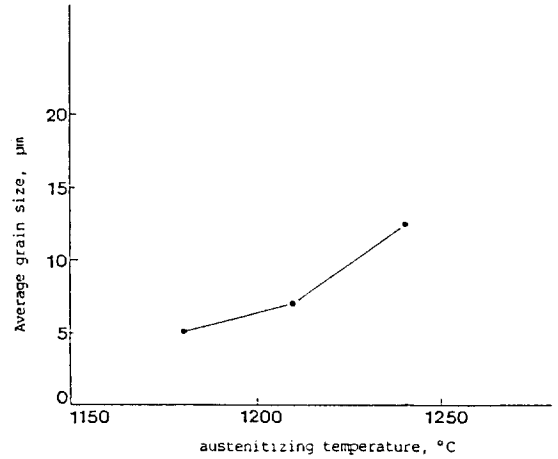


Fig.2. Relation between average grain size and austenitizing temperature after holding for 0.5 hr at each temperature.

볼 수 있는 Fe₃Mo₃C, Fe₄Mo₂C로 구성된 M₆C형과, 바나듐이 풍부한 VC, V₄C₃의 MC형일 것으로 사료된다. (b)와 (c)를 비교하여 볼 때, 침상의 형태로된 미세한 베이나이트가 높은 온도일수록 증가되었고, X-선 회절시험에서 나타났듯이, 잔류오스테나이트의 양도 베이나이트 변태량의 증가와 더불어 증가되었음을 알 수 있다. 오스템퍼링 온도가 320°C인 (d)의 경우는 베이나이트 변태량이 상당히 적게 나타난 반면에, 기지조직은 마르텐사이트로써 미고용합금 탄화물들과 잔류오스테나이트로 구성되어 있다.

오스테나이트화 온도 1210°C에서 30분 동안 유지한 후 오스템퍼링 온도를 290°C로 일정하게 하고 유지시간을 단계적으로 변화시켰을 때의 현미경조직을 Photo.3에 나타내었다. 유지시간이 1시간인 (a)의 경우 소량의 침상 베이나이트, 미고용합금 탄화물, 마르텐사이트 및 잔류오스테나이트로 구성되어 있으며 오스템퍼링 시간이 증가함에 따라 침상의 베이나이트 양이 증가하나 4시간 이후 그 증가속도가 둔화되며 처리시간이 10시간인 경우에도 베이나이트 외에 미고용합금 탄화물, 마르텐사이트로 구성되어 있다. 이와같은 현미경조직의 변화를 더욱 상세히 관찰하기 위하여 Photo.4에서와 같이 290°C에서 30분, 2시간 및 4시간에서 오스템퍼링 했을 때의 주사 전자현미경조직에서 볼 수 있듯이, 미세한 침상의 베이나이트가 유지시간의 증가와 더불어 급격히 증가되

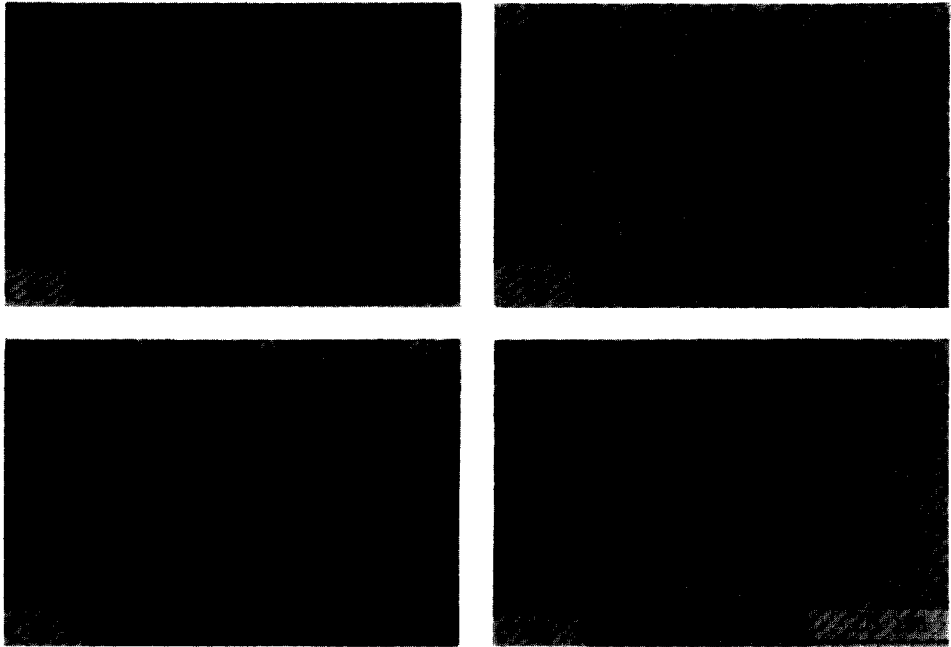


Photo.2. Optical micrographs of type M₂ high speed steel after austenitizing for 0.5 hr at 1210°C and then austempering for 2 hours at ; (a) 230°C, (b) 260°C, (c) 290°C, (d) 320°C.

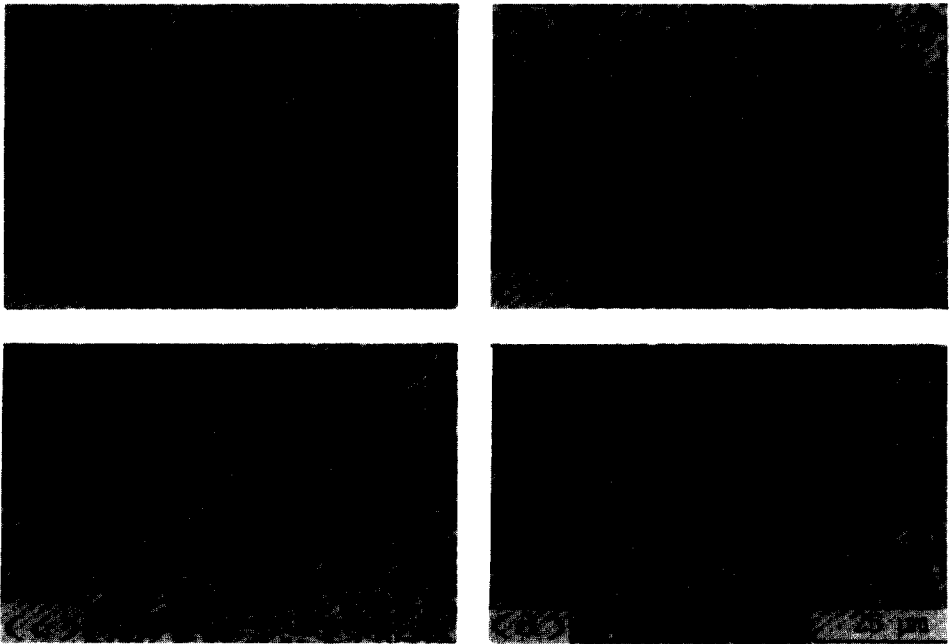


Photo.3. Optical micrographs of type M₂ high speed steel after austenitizing for 0.5 hr at 1210°C and then austempering at 290°C for ; (a) 1 hr, (b) 2 hr, (c) 4 hr, (d) 10 hr.



Photo. 4. Scanning electron micrographs type M_2 high speed steel after austenitizing for 0.5 hr at 1210°C and then austempering at 290°C for ;
 (a) 0.5 hr, (b) 2 hr, (c) 4 hr.

고 있으며 유지시간이 30 분인 (a)에서 베이나이트 변태가 소량 형성되기 시작하고 4 시간인 (c)에서는 급격히 증가되었고 더욱 미세하게 형성되어 있음을 알 수 있다.

3.2. 경도특성

3.2.1. 오스템퍼링 후 경도변화

Fig.3은 오스테나이트화 온도를 1180°C , 1210°C 및 1240°C 에서 30 분간 유지한 후 230°C , 260°C , 290°C 및

320°C 의 오스템퍼링 온도에서 유지시간에 따른 경도변화를 나타낸 것이다. (a), (b), (c)에서 오스템퍼링 온도가 290°C 인 경우, 유지시간이 2 시간 까지는 오스테나이트화 온도가 낮은 1180°C 에서 경도가 가장 급격히 저하되었고, 4 시간 이후에는 경도변화폭이 아주 미세함을 볼 수 있다. 320°C 의 경우는 유지시간이 증가함에도 불구하고 오스테나이트화의 온도 1240°C 에서 경도변화가 상당히 완만하게 저하되고 있다. 오스템퍼링 온도가

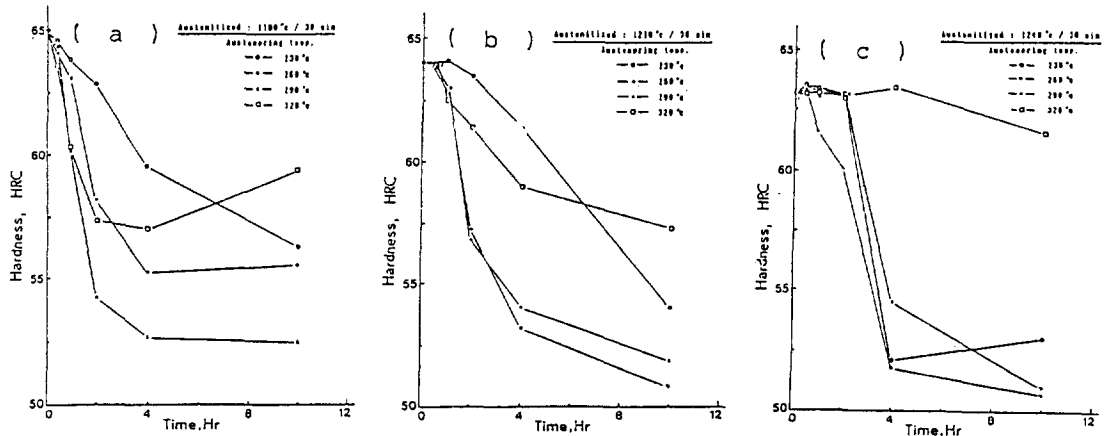


Fig. 3. Relation between hardness and austempering time for various austempering temperatures after austenitizing for 30 minutes at ;
 (a) 1180°C , (b) 1210°C , (c) 1240°C .

230°C에서는 유지시간이 증가함에 따라 오스테나이트화 온도가 높을수록 경도가 급격히 저하되고 있음을 알 수 있다. 이것은 오스테나이트화 온도가 높을수록 등온변태 곡선상에서 베이나이트 변태곡선이 아래쪽으로 이동되기 때문이라고 생각된다. 따라서 오스템퍼링 처리시 유지시간이 2시간 까지는 오스테나이트화 온도가 낮을수록 경도변화가 저하하고 각 오스테나이트화 온도에서 경도변화는 Fig.4에 나타낸 바와 같이 오스템퍼링 온도가 290°C일 때 가장 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 각 오스테나이트화 온도에서 30 분동안 유지한 후 유냉

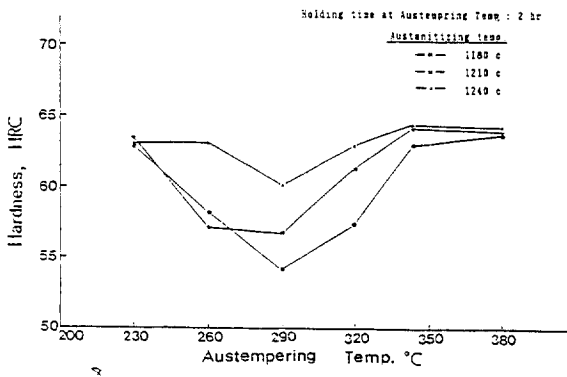


Fig.4. Change in hardness as a function of austempering temperatures for various austenitizing temperatures at which the holding time of 2 hours is maintained.

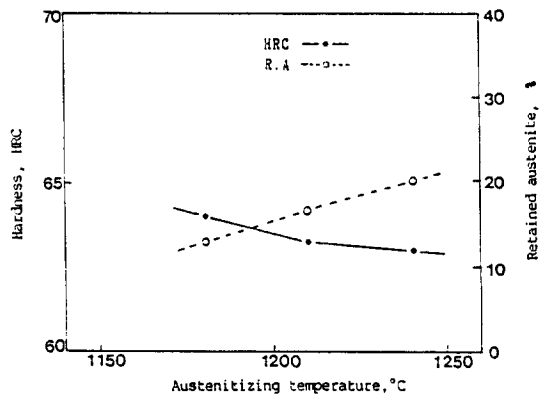


Fig.5. Variation of retained austenite and hardness of type M_2 high speed steel quenched in oil after austenitizing for 0.5 hr at each temperature.

한 시편의 경도 및 잔류오스테나이트량의 변화를 Fig.5에 나타내었으며 오스테나이트화 온도가 높아질수록 경도는 감소하고 따라서 높아질수록 경도는 감소하고 따라서 잔류오스테나이트량이 증가함을 알 수 있다. 이것은 오스테나이트화 온도가 높아짐에 따라 미고용합금 탄화물이 분해되어 주변의 오스테나이트 입내로 탄소가 고용되어 오스테나이트의 탄소함량이 증가하게 됨으로써, Ms점을 저하시켜 냉각중 잔류오스테나이트의 증가를 가져온다고 생각된다.

오스테나이트화 온도 1180°C, 1210°C 및 1240°C에서 30 분동안 유지한 후 오스템퍼링처리 조건에 따른 경도와 잔류오스테나이트량의 변화를 각각 Fig.6, Fig.7 및 Fig.8에 나타낸다. 오스테나이트화 온도가 높을수록 경도는 감소하고 잔류오스테나이트량은 증가하고 있고, 오스템퍼링 온도가 290°C인 경우 가장 급격하게 경도감소를 보이며 잔류오스테나이트의 양은 현저하게 증가되고 있음을 볼 수 있다. 오스템퍼링 온도가 290°C에서 베이나이트 변태가 가장 많이 형성되어 있는데 이것은 오스템퍼링중 베이나이트 변태는 오스테나이트의 결정입계에서 우선적으로 성장하고 동시에 탄소는 페라이트에서 주변의 오스테나이트 입내로 들어가기 때문이다^{8,9)}. 변태가 진행됨에 따라 오스테나이트는 다량의 탄소를 함유하게 되어 탄소량이 풍부한 오스테나이트가 안정화

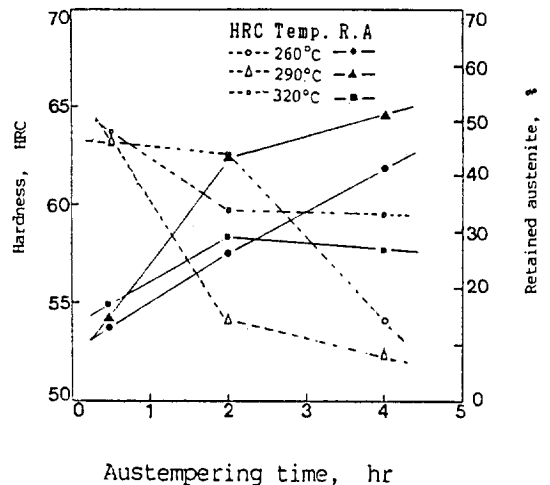


Fig.6. Various of retained austenite and hardness with austempering holding times after austenitizing for 0.5 hr at 1180°C.

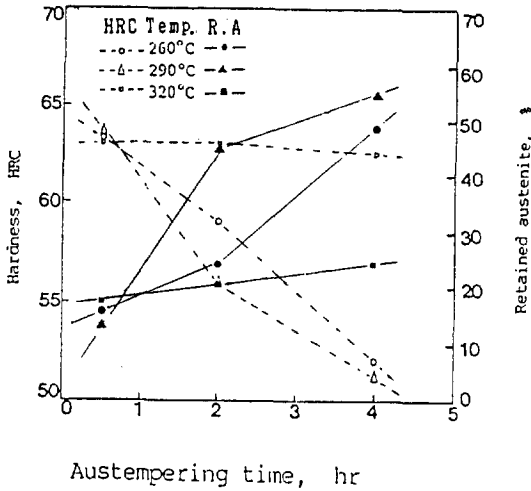


Fig. 7. Various of retained austenite and hardness with austempering holding times after austenitizing for 0.5 hr at 1210°C.

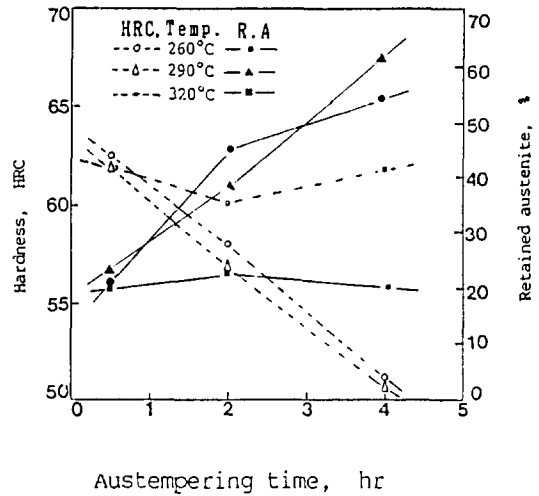


Fig. 8. Various of retained austenite and hardness with austempering holding times after austenitizing for 0.5 hr at 1240°C.

하여 잔류하게 된다¹⁰⁻¹⁴). 오스템퍼링 온도가 320°C 인 경우의 유지시간 변화에 따른 경도 및 잔류오스테나이트 량의 변화는 거의 없는데 이것은 M₂계 고속도 공구

강에서의 등온변태 곡선에서 예측할 수 있듯이 320°C의 오스템퍼링 온도는 베이나이트 변태곡선의 상부측의 온도영역으로써 미변태 오스테나이트가 많아 냉각후의 기

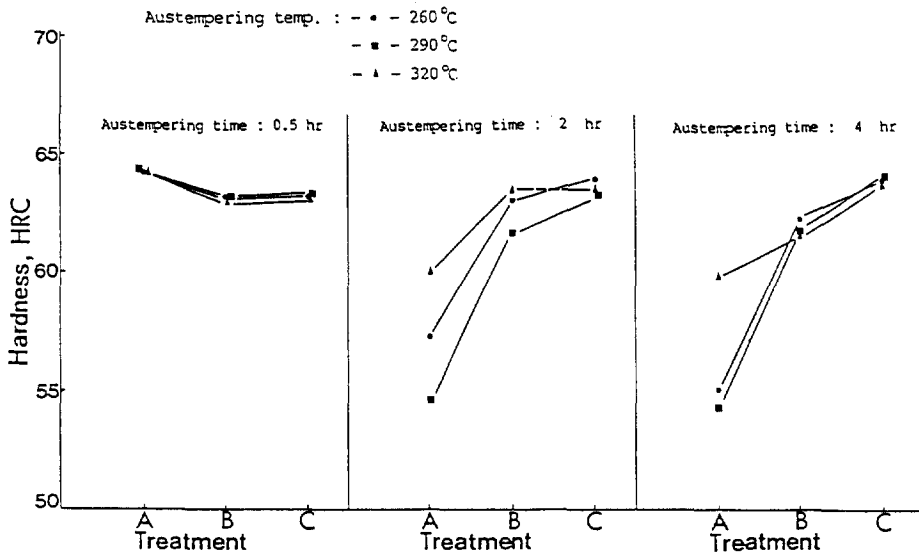


Fig. 9. Variation of hardness and heat treatment conditions with the change of austempering times after austenitizing temperature for 0.5 hr at 1180°C.

- A : only austempered,
- B : austempered-1st tempering at 550°C,
- C : austempered-2nd tempering at 550°C.

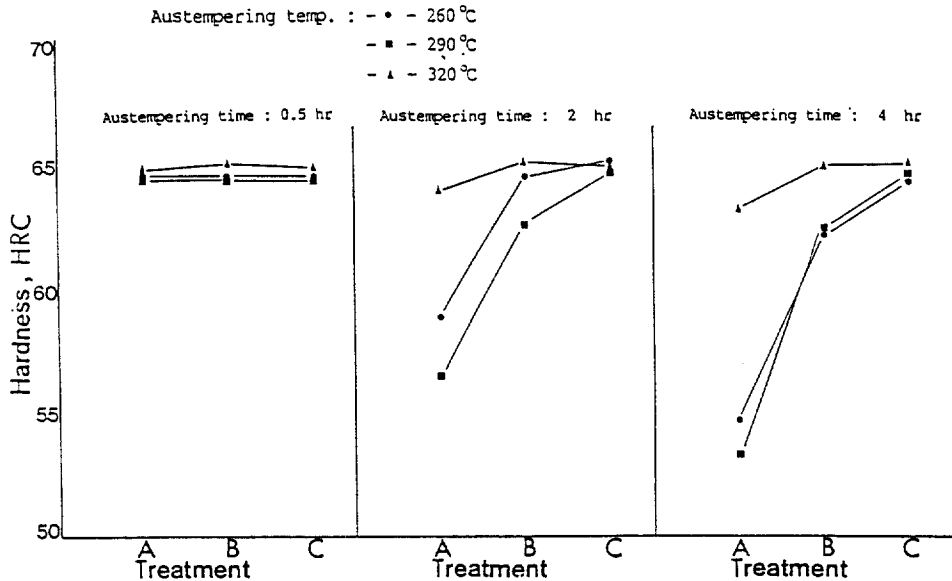


Fig.10. Variation of hardness and heat treatment conditions with the change of austempering times after austenitizing temperature for 0.5 hr at 1210°C.
 A : only austempered,
 B : austempered-1st tempering at 550°C,
 C : austempered-2nd tempering at 550°C.

지조직은 대부분 마르텐사이트와 소량의 미세한 침상의 베이나이트 및 잔류오스테나이트가 혼재함으로 경도는 비교적 높게 나타난다.

3.2.2. 오스템퍼링-템퍼링 후 경도변화

Fig.9는 오스테나이트화 온도 1180°C에서 30분동안 유지한 후 260°C, 290°C 및 320°C에서 오스템퍼링 후 1차 및 2차 템퍼링했을 때의 경도변화를 오스템퍼링 시간에 따라 상호 비교한 것이다. 오스템퍼링 유지시간이 30분인 경우 열처리 싸이클에 따른 경도변화는 거의 없으나 오스템퍼링 유지시간이 증가하고, 또 오스템퍼링 후 템퍼링 횟수가 증가함에 따라 경도증가가 현저히 나타나며 특히 오스템퍼링만 했을 경우에 비해서 오스템퍼링 후 1차 템퍼링했을 경우 그 증가폭이 크게 나타났다. 1210°C에서 오스테나이트화 처리한 다음 각 열처리 싸이클에 따라 오스템퍼링 유지시간의 변화에 대한 경도변화를 Fig.10에 나타내었으며 Fig.9와 마찬가지로 오스템퍼링 유지시간이 30분일 경우는 처리조건에 변화가 없으며, 유지시간이 증가할수록 템퍼링 실시에 대한 경도의 증가가 나타났다. 또한 오스템퍼링 온도 320°C

에서는 템퍼링에 의한 경도의 상승효과가 다소 낮게 나타났다. Fig.11에서는 1240°C에서 오스테나이트화 처리한 경우 Fig.9 및 Fig.10과 같이 경도변화를 비교한 것으로 오스템퍼링 유지시간이 30분인 경우 오스템퍼링만 한 것이 경도는 낮게 나타났으나 오스템퍼링 후 템퍼링한 결과 경도가 크게 증가하였다. 따라서 템퍼링으로 인한 경도값의 증가요인은, 오스템퍼링중에 베이나이트 변태량의 증가와 더불어 잔류오스테나이트량이 증가하였고 오스템퍼링함에 의해 잔류오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하게 되어 경도가 상승한 것과 템퍼드 마르텐사이트(tempered martensite)로부터 M₂C형 합금탄화물로 석출되면서 경도의 상승이 동시에 일어나기 때문이다¹⁵⁾.

3.3. 충격특성

Fig.12는 오스템퍼링 후 1차 템퍼링처리한 시편에 대하여 오스템퍼링시간 변화가 충격에너지에 미치는 오스테나이트화 온도의 영향과 퀴칭 후 2차 템퍼링한 경우를 비교하여 나타낸 것이며 특히 오스템퍼링 시간이 2시간 이상인 경우 충격에너지 값이 퀴칭 후 2차 템퍼

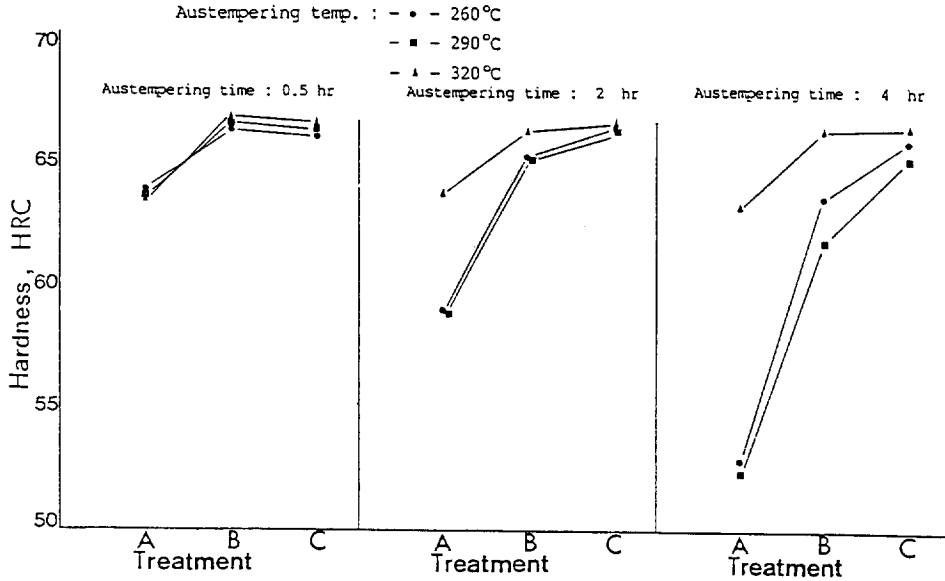


Fig. 11. Variation of hardness and heat treatment conditions with the change of austempering times after austenitizing temperature for 0.5 hr at 1240°C.
 A : only austempered,
 B : austempered-1st tempering at 550°C,
 C : austempered-2nd tempering at 550°C.

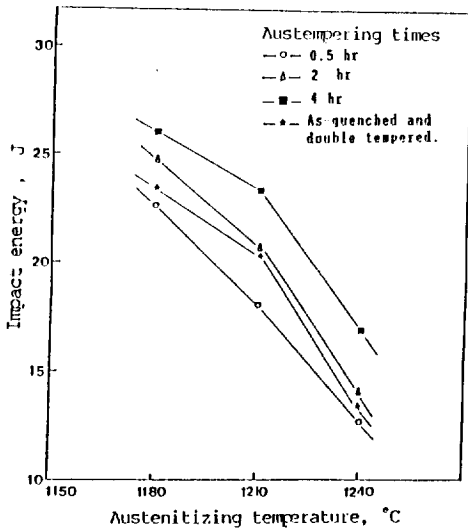


Fig. 12. Variation of impact energy with austenitizing temperature for various austempering times at a austempering temperature of 290°C followed by tempering for 1 hr at 550°C in comparison with the impact property of as-quenched and double-tempered specimen.

링 했을 경우에 비교해서 향상되고 있음을 알 수 있다. Fig. 13은 290°C에서 오스템퍼링한 후 550°C에서 1차 템퍼링 했을 때 오스테나이트화 온도가 오스템퍼링 시간에 따라 충격에너지와 경도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 오스테나이트화 온도가 낮을수록 그리고 오스템퍼링의 유지시간이 증가함에 따라 충격에너지의 값이 뚜렷하게 높아지고 특히 1180°C와 1210°C 온도구간에서는 유지시간 2시간 이후에 내충격성이 비교적 우수하게 나타났다. 경도값의 변화는 충격에너지값과 반대현상을 보이고 있으나 역시 1180°C와 1210°C 온도구간에서 2시간동안 오스템퍼링된 시편의 경도값은 양호함을 알 수 있다.

1180°C에서 오스테나이트화 처리 후 290°C에서 4시간 동안 오스템퍼링한 다음 550°C에서 1시간동안 템퍼링한 시료와 1240°C에서 오스테나이트화 처리 후 290°C에서 30분동안 오스템퍼링한 후 550°C에서 1시간동안 템퍼링한 시료의 충격시험편의 파단면을 Photo.5에 나타내었으며 (a)의 경우 미소딤플(small dimple)로 구성되어 있고 미세한 합금탄화물을 볼 수 있으며 연성과 단면을

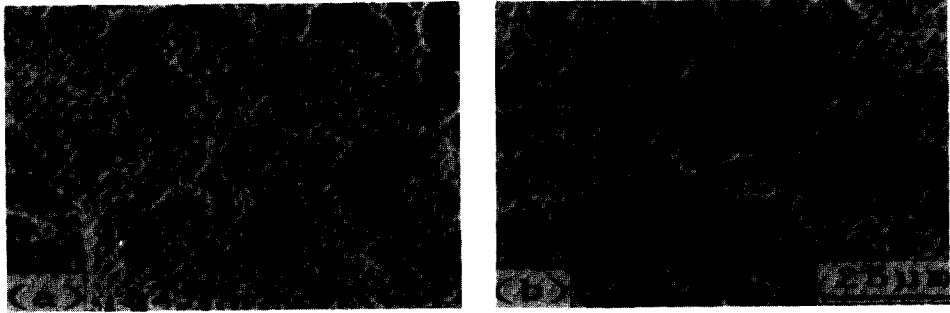


Photo.5. Scanning electron micrographs showing the fracture surfaces of impact-tested specimens treated by the following heat treating cycles :
 (a) austempering for 4 hours at 290°C and then tempering for 1 hours at 550°C after austenitizing for 30 minutes at 1180°C,
 (b) austempering for 30 minutes at 290°C and then tempering for 1 hours at 550°C after austenitizing for 30 minutes at 1240°C.

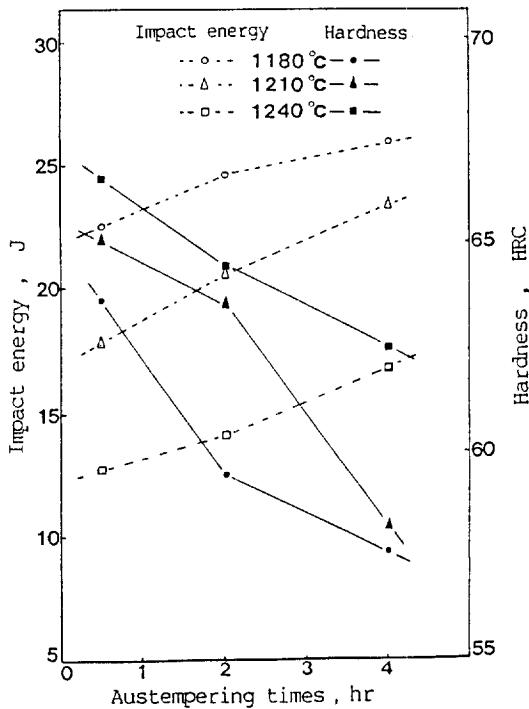


Fig.13. Variation of impact energy and hardness with austempering times at a austempering temperature of 290°C followed by tempering for 1 hr at 550°C after three different austenitizing temperatures of 1180°C, 1210°C, and 1240°C.

나타낸다. 이것은 오스테나이트 결정립이 미세하고 베이나이트가 많이 형성되어 있으며 잔류오스테나이트가 다소 함유하여 충격에너지가 증가하기 때문이라고 생각된다. (b)의 경우는 대체로 취성파단면을 나타내며 부분적으로 미소한 딥플을 볼 수 있으나 (a)와 달리 낮은 충격에너지값을 가지는데, 이것은 오스테나이트 결정립이 조대하고 베이나이트 변태량이 적고 고탄소 마르텐사이트 량이 증가함에 기인됨을 알 수 있다.

4. 결 론

AISI M₂ Mo계 고속도 공구강을 오스텨퍼링 및 오스텨퍼링 후 템퍼링 했을 때 오스테나이트화 온도, 오스텨퍼링 온도와 유지시간 및 템퍼링 싸이클이 내충격성, 경도 등의 기계적성질에 미치는 영향에 관한 연구를 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 오스테나이트화 온도가 상승할수록 베이나이트 변태속도가 지연되고, 오스텨퍼링 온도가 290°C일 때 가장 현저하게 베이나이트 변태가 일어난다.
- 2) 오스텨퍼링시 형성된 잔류오스테나이트의 양은 베이나이트 변태량이 증가할수록 증가한다. 그리고 오스텨퍼링 유지시간이 증가할수록 베이나이트 변태량은 증가하나 어느 일정시간 이상에서는 증가속도가 현저하게 둔화한다.
- 3) 오스텨퍼링한 후 측정된 경도값은 잔류오스테나이트

트의 양이 감소함에 따라 증가한다.

4) 오스템퍼링 후 템퍼링 처리하여 얻은 경도값은 오스테나이트화의 온도가 상승할수록 더 크게 향상된다.

5) 1180°C에서 1210°C의 온도구간에서 오스테나이트화 하여 290°C에서 2 시간동안 오스템퍼링한 후 550°C에서 1 시간동안 1차 템퍼링한 시편의 기계적 성질이 우수하다.

5. 후 기

본 연구비는 과학기술처 주관의 특정연구 개발의 연구비 지원에 의하여 수행된 것의 일부로서 본 지원에 깊이 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. A.R. Johnson, Metall. Trans., 8 A, 891 (1977).
2. P. Hellman and H. Wisell, Bull. Cercle Etud. Met., XIII November 483 (1975).
3. M.E. Bush and R. Ward, Metall. Met. Form., 41, 17 (1974).
4. K. Eriksson, Scand. J. Metall., 4, 182 (1975).
5. A.H. Grobe and G.A. Robert, Trans. Amer. Soc. Metals, 40, 435 (1948).
6. A.H. Grobe and G.A. Robert, Trans. Amer. Soc. Metals, 42, 686 (1950).
7. H.H. Weigand, Iron Steel Inst., London, Publ. 126, 176 (1970).
8. R.C. Klug, M.B. Hintz, K.B. Rundman, Met. Trans., 16 A, 797 (1985).
9. S.J. Matas and R.F. Trans. Met. Soc., AIME, 221, 179 (1961).
10. M. Cohen, Trans. ASM, 14, 35 (1949).
11. H.K. Bhadeshia, D.H. and D.V. Edmonds, Met. Trans. A, 16 A, 895 (1979).
12. 上田叔完, 撞田光晴, 生田浩之, 鑄物, 57, 728 (1985).
13. 律崎廉彰, 稱田淳, 松本賢治, 牧正志, CAMP-ISIP, 1, 1855 (1988).
14. 澤田巖, 內田尙志, 熱處理, 30, 27 (1989).
15. I. Kayser, M. Cohen, Metal Progress, 61, 79 (1952).