

# SCM415강의 열처리 변형제어를 위한 냉각 매질의 특성

안민주\*, 류성기#

## Characteristic of Refrigerant for Heat-treatment Deformation Control of SCM415 Steel

Min-ju Ahn\*, Sung-ki Lyu#

(Received 16 December 2010; received in revised form 25 November 2010; accepted 2 December 2010)

### ABSTRACT

This study deals with the characteristic of refrigerant for heat-treatment deformation control of SCM415 steel. The control of heat-treatment deformation must need the progress of production parts for an industry machine. Most of the deformation is occurred on unequal cooling. The unequal cooling is occurred by a property of quenching refrigeration. When a heated metal is deposited in the refrigeration, the cooling speed is so slow in early period of cooling because of occurring a steam-curtain. After more cooling, the steam-curtain is destroyed. In this progress, the cooling speed is very fast. The object of this study is to control the deformation of heat-treatment for the part of the industry machine by improving the conditions of quenching. The cooling curves and cooling rates of water, oil and polymer solution are obtained and illustrated. From the characteristics of the quenching refrigerant, the effects of heat-treatments on the thermal deformation and fatigue strength are also investigated.

**Key Words** : Heat-treatment Technique(열처리기술), Quenching(켄칭냉매), Conditions of Quenching(켄칭조건), Nonuniform Cooling(불균일냉각)

### 1. 서론

산업기계용 부품은 높은 정밀도와 내구성을 필요로 하는 고부가가치의 제품이다. 특히 산업기계용 부품의 제조과정 중 열처리 및 표면처리에 관하여 많은 연구가 필요한 실정이다. Lisic<sup>[1]</sup>은 켄칭 매질을 체계적으로 평가 할 수 있는 장치를 고안하였으며, Beck<sup>[2]</sup>은 은과 강으로 만든 시험편에 대한 냉각곡선을 그려 여러 가지 경화용 기름의 냉

각능을 조사하였다. 그리고 Ueym<sup>[3]</sup> & Kim<sup>[4]</sup>은 유한요소법을 사용하여 열변형을 해석한 바 있지만 열처리 변형에 대한 원인은 규명되지 않았다. 산업기계 부품에 주로 사용되고 있는 SCM415강은 모두 켄칭에 의하여 마르텐사이트를 형성시키고 템퍼링하는 열처리를 통하여 고강도를 얻는 대표적인 재료이다. 따라서 보통의 탄소강에 비하여 합금 원소 첨가에 의하여 경화능이 매우 향상된 강으로 보통 오일켄칭을 이용한다. 그러나 산업기계 부품과 같이 부품의 크기가 큰 경우 질량효과(mass effect) 및 불균일 냉각에 의하여 열처리 변형이 발생할 수 있으므로, 공정의 마지막 단계에 속하는

\* 한국폴리텍VII대학 &경상대학교 기계항공공학부

# 교신저자 : 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : sklyu@gnu.ac.kr

열처리 공정에서 열처리 변형의 발생은 곧 부품의 사용가능 여부를 결정하는 중요한 인자가 된다. 따라서 열처리변형의 제어기술은 산업기계 부품의 제조공정에 있어 반드시 필요하다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 쿨링조건을 개선하여 산업기계 부품의 열처리 변형을 제어하는 기술을 개발하는데 목적이 있다. 쿨링조건을 개선하기 위하여 물, 오일, 폴리머 솔루션의 쿨링냉매의 냉각곡선과 냉각속도를 고찰하여 쿨링냉매의 특성을 밝히고, 각종 열처리법이 열처리 변형과 피로강도에 미치는 영향에 대하여 고찰 하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험편의 제원

본 연구에서 사용한 재료는 KS D규격의 SCM415를 사용하였으며 화학적 조성비를 Table 1에 나타냈다. 본 실험에서는 표준 시험편<sup>[4]</sup>(제10호)을 채택하였다. 표준 시험편을 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of SCM415 [wt %]

SCM415	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Range	0.13~0.18	0.15~0.35	0.60~0.85	≤0.03	≤0.035	0.9~1.2	0.15~0.3
Measured	0.44	0.28	0.73	0.026	0.019	1.0	0.16

### 2.2 시험편의 가공 및 열처리

직경 18 mm의 SCM415 환봉을 절단하여 선반으로 센터구멍(center hole)을 만들어 CNC선반을 사용하여 프로그램한 후 시험편을 제작하였다. 그리고 시험편의 표면은 원통연삭기를 사용하여 진원도와 진직도가 0이 되도록 연삭하였다.

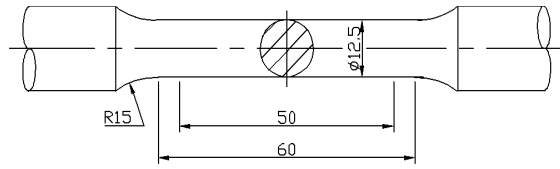


Fig. 1 Shape of standard test piece

본 연구에서는 위 폴리머 솔루션 중 PAG를 사용하였으며, 비교시험을 위한 다른 냉매로서는 물과 상온용 오일을 사용하였다. 냉각속도 측정은 Fig. 2에 나타난 냉각속도 측정장비(IVF. Corp. Quenhotest)를 사용하였다. 원리는 probe를 로에서 845℃로 가열한 후에 로(bath)에 쿨링하게 되면 probe 내에 있는 열전대(thermal couple)가 온도를 감지하여 그 신호를 기록장치에 보내게 된다. 그리고 이것을 컴퓨터로 전송함으로써 냉각속도 데이터를 얻을 수 있게 된다.

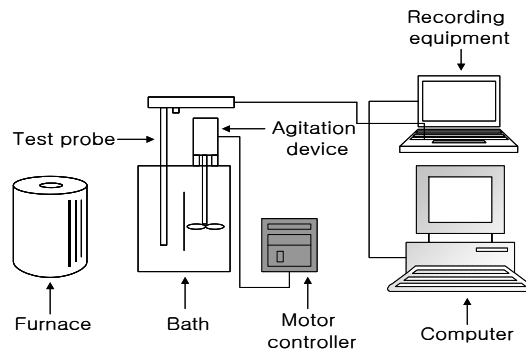


Fig. 2 Apparatus for measuring cooling rate

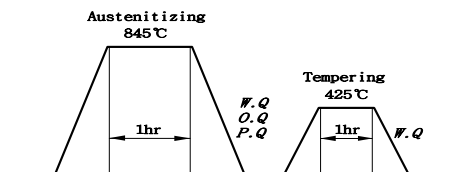


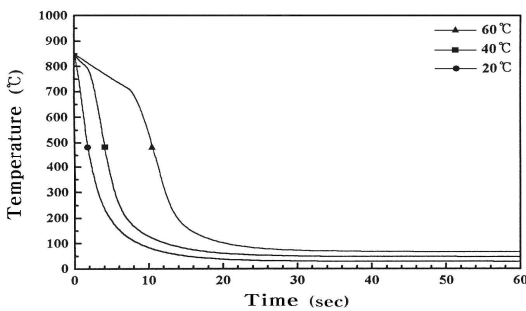
Fig. 3 Schematic diagrams of heat treatment

폴리머 솔루션의 경우 교반속도를 2.36 m/s로 고정하고 각각 농도를 15, 20%, 온도를 20, 40, 60℃ 변화시키면서 냉각속도를 측정하였고, 물의 경우는 농도의 변수가 없기 때문에 교반속도를 2.36 m/s로 고정하고 온도를 20, 40, 60℃로 변화시키면서 냉각속도를 측정하였다. 오일의 경우는 온도를 20, 40, 60, 80℃로 변화시키고, 거의 무교반으로 실험을 실시하였다. 그 이유는 Fig. 2의 장비에는 두 가지의 bath가 있는데, 하나는 그 재질이 아크릴로써 물이나 폴리머 솔루션을 사용하게 되어 있고, 다른 하나는 스테인레스강으로 오일전용 bath인데 오일 bath에는 교반기가 없다. 하지만 SCM415 강을 열처리할 때는 교반기를 장착하여 실험을 실시하였다.

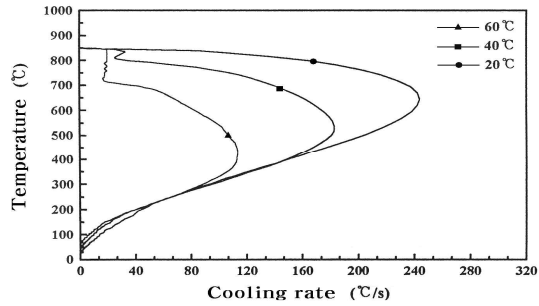
### 2.3 냉각 매질의 특성<sup>[5]</sup> 및 냉각곡선

#### 2.3.1 물(Water)

845℃로 가열한 probe를 2.36 m/s의 교반속도로 고정된 쿨링냉매인 물속에 쿨링시켰을 때의 냉각곡선과 냉각속도의 측정결과를 Fig. 4(a), (b)에 나타냈다. 냉매의 온도가 20℃일 때는 쿨링과 동시에 증기막이 깨어지면서 냉각속도가 급격히 증가하였지만 온도가 40℃에서 60℃로 증가함에 따라 증기막단계가 증가하였다.



(a) Temperature-time cooling curve



(b) Differential cooling rate curve

Fig. 4 The quenching characteristics of water

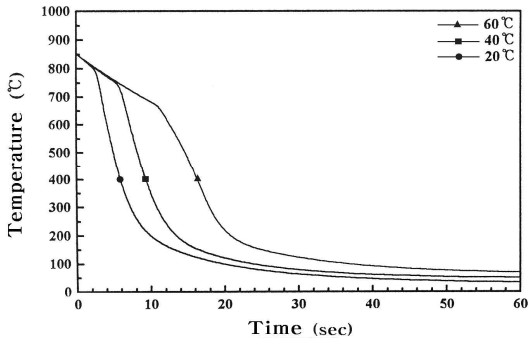
#### 2.3.2 폴리머 솔루션(Polymer solution)

일반적으로 재료의 열처리 변형에 영향을 미치는 인자는 온도와 농도이다. 온도의 영향을 고찰하기 위하여 폴리머 솔루션 15% 위하여 수용액 온도를 변화시키면서 냉각곡선과 냉각속도의 측정결과를 Fig. 5(a), (b)에 나타냈다.

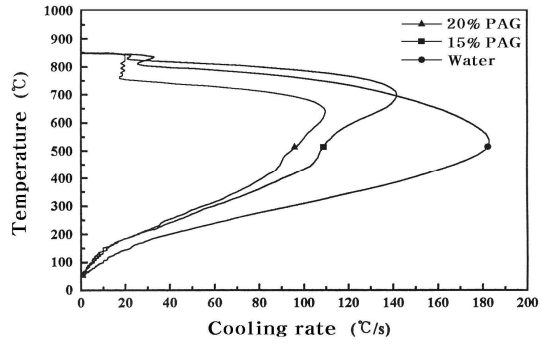
온도가 20℃에서 40℃까지 증가하면서 증기막 단계 구간이 약간 증가하다가 60℃가 되면 크게 증가하였다. 그 이유는 사용하는 폴리머 솔루션을 60℃ 이상 가열하게 되면 물에서 폴리머의 분리가 일어나서 냉각능이 떨어지기 때문이다. 따라서 냉매온도의 최적조건을 20℃로 선택하였다.

냉각속도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 온도를 20℃로 고정하고 농도를 변화시키면서 냉각속도를 측정된 결과를 Fig. 6(a), (b)에 나타냈다. Fig. 6(a), (b)에는 쿨링냉매가 물인 경우의 결과도 함께 나타냈다.

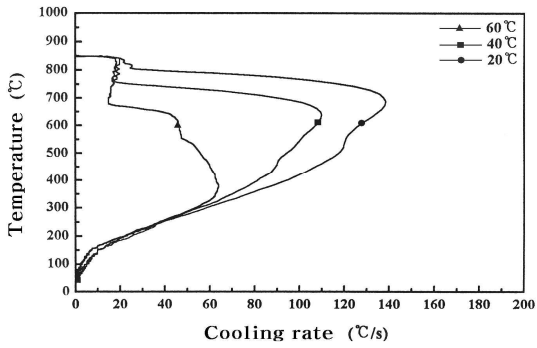
Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이 폴리머 솔루션의 농도가 20%인 경우 증기막 단계구간이 크게 증가하였다. 그리고 Fig. 6(b)에서 농도 15%인 경우 최대 냉각속도가 농도 20%보다 크고 물보다 작지만 철강재료의 마르텐사이트 변태 개시온도 부근인 400℃에서 속도가 느리다 경화효과를 극대화 시키면서 열처리 변형을 극소화 시키기 위해서는 증기막 단계 구간이 짧아야하고 대류단계의 냉각속도가 느린 냉매를 선택하여야 한다. 따라서 15% 폴리머 솔루션을 최적의 농도로 결정하였다.



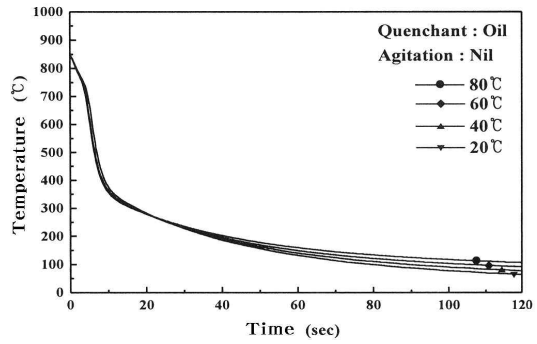
(a) Temperature-time cooling curve



(b) Differential cooling rate curve

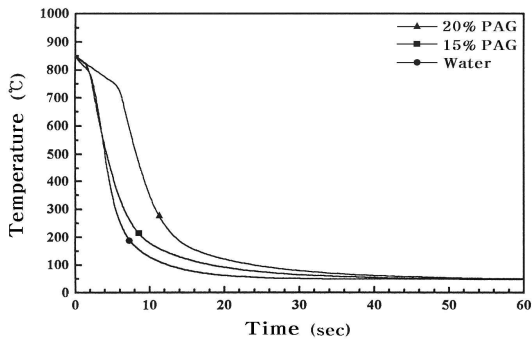


(a) Temperature-time cooling curve

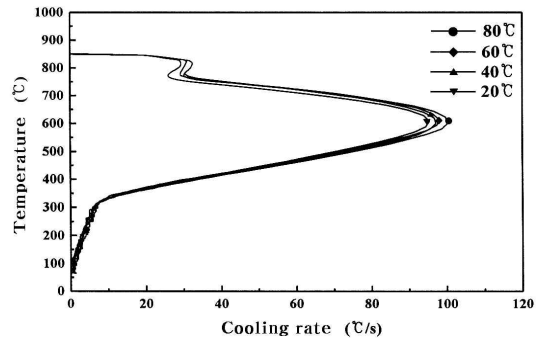


(b) Differential cooling rate curve

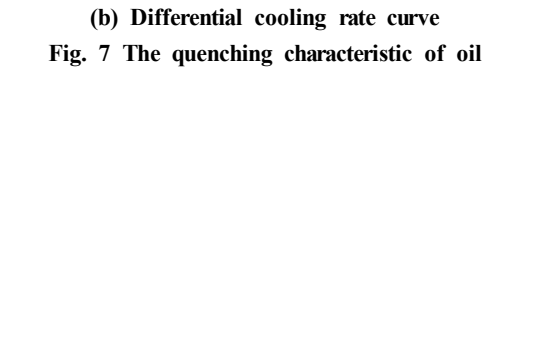
Fig. 5 The quenching characteristics of polymer solution (Concentration=15%)



(a) Temperature-time cooling curve



(a) Temperature-time cooling curve



(b) Differential cooling rate curve

Fig. 7 The quenching characteristic of oil

### 2.3.3 오일

Fig. 7(a)는 상온용 열처리 오일을 이용하여 온도를 변화시키면서 시간에 따른 온도변화를 측정 한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 냉각초기에는 모든 온도의 오일이 비슷한 냉각특성을 나타내었지만 80℃의 오일이 미소 하지만 약간 더 양호하다. 그 이유는 이 오일이 상온보다 더 높은 온도에서 우수한 유동성을 가지므로 좀더 빨리 냉각되기 때문이다. 특히 80℃오일은 300℃이하의 온도에서 다른 냉매들보다 천천히 냉각되는 것을 알 수 있다. 특히 Fig. 7(b)를 보면 최대 냉각속도 또한 가장 빠르기 때문에 오일 온도가 80℃일 때가 가장 적합한 조건이라 할 수 있다.

냉각 속도는 물이 가장 빠르고, 오일이 가장 느리게 나타났다. 그리고 수냉의 경우에는 680℃, 폴리머 솔루션과 유냉의 경우에는 590℃부근에서 냉각속도가 가장 높게 나타났다. 폴리머 솔루션은 증기막을 한꺼번에 제거하기 때문에 수냉 시에 발생하는 증기막을 제거 할 수 있으며, 최대 냉각속도에 도달하는 시간이 수냉보다 빠르게 나타났다.

## 3. 열처리 변형 측정 결과 및 고찰

열변형 측정은 열처리를 하기 전에 연삭하여 진원도<sup>[6]</sup>와 진직도<sup>[7]</sup>를 “0”로 맞춘 다음 위의 실험에서 결정된 최적의 열처리 조건으로 SCM415 강에 열처리 한 후 원통연삭기에 물려 회전시키면서 다이얼 인디케이터(dial indicator)를 이용하여 진원도를 측정하였으며, 테이블을 이송시켜 진직도를 측정하였다. Fig. 8, 9에서 알 수 있듯이 진원도와 진직도는 폴리머 솔루션, 오일, 물 순으로 나타났으며 15%, 20℃ 폴리머 솔루션의 경우가 가장 양호한 진원도와 진직도를 보였다.

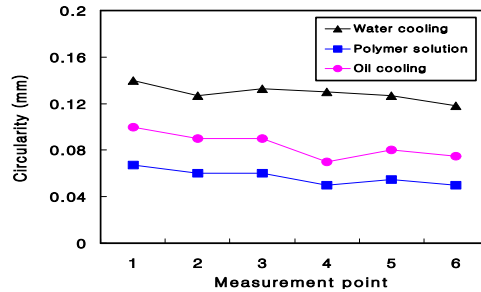


Fig. 8 Circularity of standard test piece

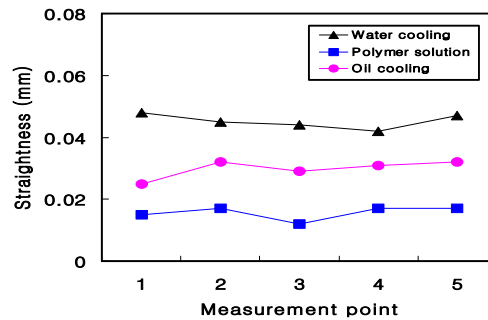


Fig. 9 Straightness standard test piece

## 4. 각 열처리시험편의 경도 및 금속조직

물, 오일, 폴리머 솔루션의 냉매를 사용하여 SCM415 표준시험편을 퀴칭 후 템퍼링을 실시한 각 시험편에 대하여 로크웰 경도를 측정하여 Fig. 10에 나타냈다. 각각의 시험편의 로크웰 경도측정<sup>[8]</sup>결과, 로크웰 경도 차는 크게 나타나지 않았지만, 각각의 시험편에서 물을 냉매로한 시험편의 경도가 가장 높게 나타났다.

시험편의 금속조직 관찰은 금속현미경(Nikon Epiphot 200)을 사용하였으며, 금속조직의 관찰위치는 표면 부근에서 관찰하였으며 금속현미경으로 관찰한 각 시험편의 금속조직 사진을 Fig. 11에 나타냈다. 물을 냉매로한 열처리 시험편은 대부분 마르텐사이트조직이 관찰 되었으며, 평균경도는 HRC 31.58로 나타났다. 그리고 폴리머 솔루션을 냉매로 사용한 시험편은 베이나이트 분율이 다소 많이 나타났으

며, 평균경도는 HRC 27.22로 나타났다. 오일을 냉매로 사용한 시험편은 퍼얼라이트 분율이 다소 많이 나타났으며, 평균경도는 HRC 22.32로 나타났다.

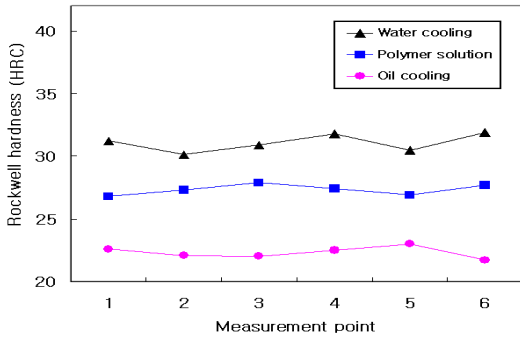
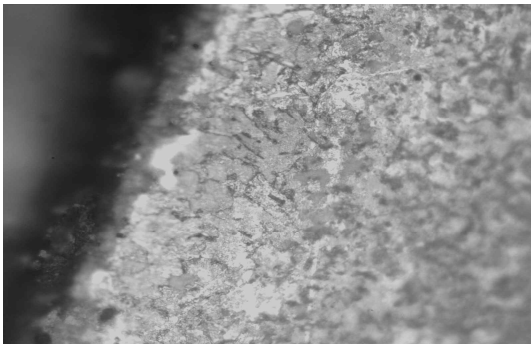
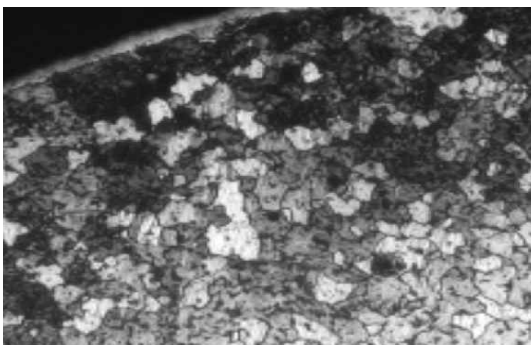


Fig. 10 Rockwell hardness distribution of standard test piece



(a) Water quenching(50×)



(b) Polymer solution(50×)



(c) Oil quenching(50×)

Fig. 11 Metallography of surface

## 5. 결 론

본 연구에서는 켈칭조건을 개선하여 산업기계 부품의 열처리변형을 제어하는 기술을 개발하기 위하여 물, 오일, 폴리머 솔루션 켈칭냉매의 냉각곡선과 냉각속도를 고찰하고, 켈칭냉매의 특성을 밝혀, 각종 열처리법이 열처리 변형과 피로강도에 미치는 영향에 대하여 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 켈칭냉매의 최적조건은 물의 경우 20℃, 폴리머 솔루션의 경우 농도는 15%, 온도는 20℃, 오일의 경우 80℃로 나타났다.
2. 진원도와 진직도는 냉각매질이 폴리머 솔루션, 오일, 물 순으로 나타났으며, 농도가 15% 온도가 20℃인 폴리머 솔루션이 가장 열변형이 적게 나타났다.
3. 경도 측정결과 경도는 수냉, 폴리머 솔루션, 유냉 순으로 나타났다.
4. 피로시험결과 피로강도는 열처리에 의하여 52~54% 향상되었으며, 폴리머 솔루션을 냉매로 사용한 경우 피로강도가 다른 냉매에 비해 6~10% 높게 나타났다.

## 후 기

이 논문은 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Lisic, B., 'Assessing the Absolute Quenching Capacity During Hardening from the Surface Temperature Gradient', Härtereitechn, Mitt., 33. No. 4. 179-191, 1978(in German).
2. Beck, G., Dumont. C., Moreaux, F., and SIMON, A., 'Guiding Principles in Choosing and Selection a Hardening Oil', Härtereitechn, Mitt., 30. No. 6. 346-358, 1975(in German).
3. T. Ueyama etc., 'Improved Computer simulation Method for Shadow Mask Thermal Deformation' , Japan Display 89, pp. 558-561, 1989.
4. H. Kim and S. Im, 'Analysis of Beam Landing Shifts due to Thermal Deformation of Shadow Mask', IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 40, No. 1, pp. 44-54, 1993.
5. 李澤淳 著, 材料試驗, 螢雪出版社 pp. 379, 1994.
6. 宋地復, 鄭泰煥 共譯, 精密機械設計製圖法, 성안당, pp. 46~48, 1999.
7. 宋地復, 鄭泰煥 共譯, 精密機械設計製圖法, 성안당, pp. 39~40, 1999.
8. 이상윤 외 5명, 최신 금속열처리, 원창출판사, pp. 299~306, 1993.