

단조품의 등온 어닐링에 따른 미세조직 변화

김동배 · 이종훈

한국기계연구원 재료기술연구부

The Effect of Isothermal Annealing on Microstructure of Forged Parts

D. B. Kim and J. H. Lee

Materials Processing Laboratory, Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, Kyungnam, 641-010

Abstract The ring gears of automobile parts are manufactured generally process chart of which is as follows : forging → annealing or normalizing → rough machining → hardening(Quenching-Tempering or carburizing process) → finish machining. Isothermal annealing process after forging is most effective in the side of improvement of machinability. On this study we selected two kinds of steel;SCM415, SCM435 of most universal and investigated microstructures to find out most suitable condition of heat treatment in proportion continuous cooling and isothermal annealing. As the cooling rate is 5°C per minute in continuous cooling process, martensite and bainite are coexisted with ferrite and pearlite in SCM435 steel. If the cooling rate is slower than 5°C per minute, microstructure were only ferrite and pearlite but formation of band structure can't be avoid. On the other hand, microstructure is only ferrite and pearlite regardless of cooling rate because carbon content of SCM415 steel is low. Moreover formation of band structure isn't exposed by faster cooling rate. Most optimal temperature of the isothermal annealing is from 650°C to 680°C in SCM435 steel. When holding time is 60 minute with 650°C, the identical ferrite and pearlite microstructures can be obtained

(Received March 17, 2000)

Key words: Isothermal annealing, Machinability, Holding time, Cooling rate

1. 서 론

지금까지의 열처리 기술 개발은 퀴칭-템퍼링이나 표면경화 등 주로 제품의 강도, 내마모성을 향상시키는 기술에 초점이 맞추어졌으나, Ring Gear 등 주로 자동차 부품의 가공성 향상, 열처리후의 변형량 제어, 제품의 기계적 특성 향상 등을 위하여 제품의 초기 공정인 단조후의 어닐링 공정의 경제성에 관심을 기울이고 있다. 현재 국내의 열처리 기술은 퀴칭-템퍼링에 의한 강도, 미세조직, 변형량 제어 기술은 어느 정도 수준에 도달하였으나 어닐링에 의해서는 단지 강도 제어 수준에 머물러 있는 실정이다. 자동차 부품의 단조품에 있어서 단조 후 어닐링이나 노말라이징 공정을 거쳐서 기계가공 후 퀴칭-템퍼링 또는 침탄 공정을 거쳐서 제품의 강도를 향상시킨 다음 최종 연마 공정을 통하여 제품의 치수를 조절하는 것이 일반적인 제조공정이다. [1~4] 이와 같은 공정중에서 제품의 가공성, 최종 제품의 기계적 특성 그리고 최종 연마 등에 영향을 미치는 중요한 공정으로 단조후의 어닐링 공정이 크게 부각되고 있다. 이와 같은 어닐링 공정은 제품의 가공비, 기

계적 특성 등에 직접적인 영향을 미치므로 자동차 부품의 제조원가 절감에 있어서 중요한 변수로 대두되었다. 어닐링 공정은 기계가공성 향상을 위한 페라이트, 펄라이트의 파괴분율 제어, 최종 열처리 공정에서의 열처리 변형제어, 기계적 특성의 균일성 등을 위한 Banded structure의 제거 등을 목적으로 한다. 이와 같은 목적을 위하여 가장 효과적인 어닐링 공정은 등온 어닐링 공정으로서 최근 그 수요가 급증하고 있다.[1,5] 따라서 본 연구에서는 가장 보편적으로 많이 사용되고 있는 SCM435, SCM415의 두 가지 강종을 선택하여 연속냉각에 따른 미세조직과 등온어닐링 처리에 따른 미세조직을 비교 분석하고 각 강종의 최적 열처리 공정을 찾아내고자 하였다. 또한 질량효과 및 열처리 시 가열에 따른 탈탄층 발생 정도를 확인하였다.

2. 실험방법

실험에 사용한 시편은 대표적인 단조 처리품으로 침탄용 강재인 SCM415강과 탄소함량이 0.33~0.38wt%인 중탄소강 SCM435 강 Ring Gear를 선택하였다. 두 강

재의 화학조성은 Table 1에 나타난 바와 같다[2~5]. 처리품의 변태 특성을 파악하기 위하여 우선적으로 연속 어닐링 시 냉각속도에 따른 미세조직 변화를 강종별로 관찰하였다. 시편은 $\phi 3 \times 50$ mm 봉상으로 가공하여 900°C에서 약 20분 가열한 뒤 각각 5°C/min, 10°C/min, 15°C/min, 20°C/min의 냉각속도로 Dilatometer에서 연속 냉각시험을 실시하였다. 등은 어닐링에 따른 미세조직의 변화를 관찰하기 위하여 시편을 단면적에 기준하여 15 × 15 × 10mm 크기로 절단한 후 연속냉각 실험 시와 마찬가지로 900°C에서 약 20분간 유지시킨 후 각각 600°C, 620°C, 650°C, 680°C의 Salt bath에 급속히 침적시켜 각 온도에서 5분에서 120분까지 일정 시간 유지시킨 후 물에 퀘칭시켜 각 온도에서의 등은 변태 양상을 관찰하였다. Fig. 1에 연속 냉각시험과 등은 어닐링시험의 열처리 사이클을 나타내었다. 열처리 후의 시편들은 광학현미경을 이용하여 미세조직을 관찰하였고, image analyser를 이용하여 각 상들의 부피분율을 측정하였다. 그리고 가열에 따른 표면부위에 탈탄층이 생성될 우려가 있기 때문에 탈탄층 발생 정도를 정량적으로 파악하기 위하여 가열 온도 및 시간에 따른 표면부위의 미세조직 변화를 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 연속냉각 어닐링 특성

Table 1. Chemical composition of specimens

Specimen	Composition						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SCM 415	0.13~0.18	0.15~0.35	0.60~0.85	max. 0.03	max. 0.03	0.90~1.20	0.15~0.30
SCM 435	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.85	max. 0.03	max. 0.03	0.90~1.20	0.15~0.30

(Unit: wt %)

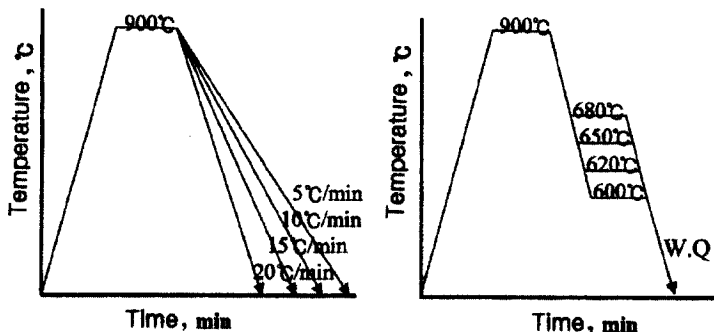


Fig. 1. Heat treatment cycle of continuous cooling and isothermal annealing.

SCM435강의 경우 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타난 바와 같이 냉각속도가 5°C/min로 아주 느린 경우에도 베이나이트의 부피분율이 약 12% 정도 생성되었으며 냉각속도가 그 이상일 경우에는 베이나이트의 함량이 증가하며 페라이트와 펄라이트의 양은 그만큼 감소하고 있다. 따라서 경도값도 냉각속도가 빨라짐에 따라 베이나이트 분율의 증가만큼 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 가공성을 향상시키기 위해서는 페라이트와 펄라이트만의 조직을 얻기 위한 연화 어닐링을 해야하며, 따라서 SCM435강의 경우에는 극도로 장시간에 걸친 매우 느린 냉각속도가 요구된다는 것을 의미한다. 한편 Fig. 2(a)에서 볼 수 있듯이 완전 어닐링 공정으로 5°C/min 보다 더 느린 냉각속도를 유지할 경우 페라이트와 펄라이트만의 조직은 얻을 수 있으나 Fig. 2(a)와 같은 페라이트, 펄라이트 Band structure 형성은 피할 수가 없다. 그러므로 SCM435강의 경우에는 등은 어닐링 공정을 통한 미세조직 제어가 경제적이고 또한 용이할 것이다. 반면 침탄강인 SCM415강은 Table 2와 Fig. 4에 각각 나타난 바와 같이 탄소함량이 낮은 관계로 연속냉각 시 베이나이트가 생성되지 않았고 페라이트와 펄라이트만의 조직을 얻을 수 있으나 냉각속도가 5°C/min 나 10°C/min로 느린 경우 페라이트, 펄라이트 Band structure를 형성하였으며 펄라이트의 부피분율이 페라이트에 비해 너무 적은 양을 나타내었다. 냉각속도를 빠

Fig. 2. Micrographs of SCM435 steel by continuous cooling; (a) 5°C/min, (b) 10°C/min, (c) 15°C/min, (d) 20°C/min.

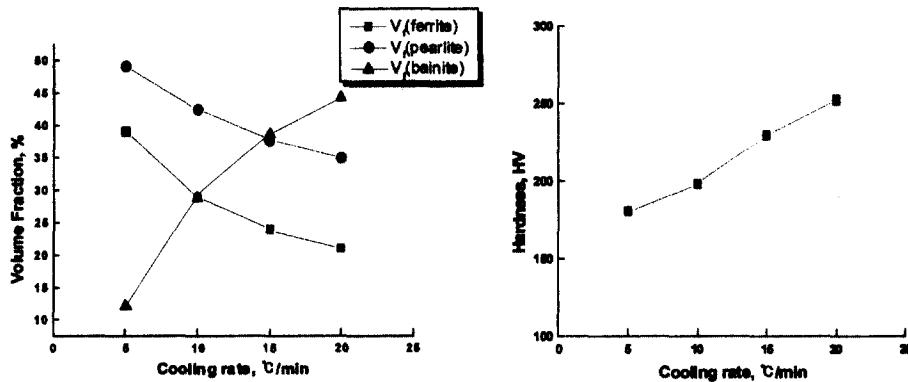


Fig. 3. Volume fraction and hardness of phases by continuous cooling in SCM435 steel.

Table 2. Volume fraction of phases by cooling rate in SCM415 steel

cooling rate	Volume fraction of ferrite	Volume fraction of Pearlite	HV (0.3 Kgf)
5°C/min	73.4	26.6	143
10°C/min	72.9	27.1	149
15°C/min	71.7	28.3	159
20°C/min	69.6	30.4	154

르게 할 경우 펄라이트의 부피분율은 증가하는 양상을 보이고 있으나 실제적으로 가공업체가 이상적인 가공성을 위해 원하는 부피비인 50:50의 부피비를 얻기 위해서는 좀더 급속한 냉각이 필요하며 이 경우 동시에 Band structure를 피할 수 있다는 잇점도 있다. 즉, SCM415강은 연속냉각에 의해서 원하는 미세조직을 얻

을 수 있다. 두 재질의 이러한 차이는 탄소함량에 따른 경화능의 차이에 따른 것으로 사료된다.

3.2. 등은 어닐링 특성

SCM435강의 600~680°C 온도 범위에서 유지 시간에 따른 미세조직 및 각 상들의 분율을 Fig. 5와 Fig.

Fig. 4. Micrographs of SCM435 steel by continuous cooling; (a) 5°C/min, (b) 10°C/min, (c) 15°C/min, (d) 20°C/min.

Fig. 5. Micrographs of SCM435 steel by isothermal annealing; (a) 600°C/120min holding, (b) 600°C/120min holding, (c) 650°C/60min holding, (d) 680°C/20min holding.

6에 나타내었다. Fig. 5의 결과를 온도와 시간에 따른 등온 변태를 나타내는 TTT 곡선으로 나타낸 것이 Fig. 6이다. SCM435강의 Ms점은 대략 340°C로 예측되며 페라이트와 펄라이트 변태가 일어나는 최단시간인 Nose 점의 온도는 대략 650~680°C이다. 등온변태 시험 결과 변태가 완료되는 시간이 TTT 곡선과 거의 일치함을 확인하였다. 600°C와 620°C에서 각각 등온변태

시킨 경우 여전히 페라이트와 펄라이트 외에 마르텐사이트와 베이나이트가 혼합된 미세조직을 보이고 있다. 이는 120분 동안 등온유지시켜도 변태가 완료되지 않은 오스테나이트가 냉각과정에서 변태된 것으로 판단된다. 반면 650°C에서 변태시킨 경우 약 60분 유지시켰을 때 약 50:50 비율의 페라이트와 펄라이트 조직을 그리고 680°C에서 변태시킨 경우 20분 유지시켰을 때 약 60:40 비율

Fig. 7. micrographs of surface by heating in SCM435 steel; (a) 900°C/1hr, (b) 900°C/2hr, (c) 600°C/2hr, (d) 700°C/2hr.

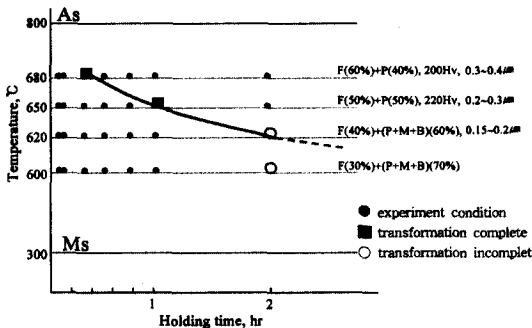


Fig. 6. Volume fraction of phases, hardness, and distance of cementite by isothermal annealing in SCM435 steel (F:Ferrite, P:Pearlite, B:Bainite, M:Martensite).

의 페라이트와 펄라이트 조직을 얻을 수 있었다. 따라서 Nose 점의 온도는 680°C에 가까움을 알 수 있으나, 변태가 완료된 상태의 조직은 페라이트가 약 60%로 많고 이에 따라 경도값이 200HV 정도로 650°C에서 60분 유지시킨 조직보다는 약간 낮은 경도값을 보이고 있다. 즉, SCM435강의 가장 적당한 변태 조건은 650°C에서 약 60분 등은 변태 시키는 것으로 이때 Band structure의 형성도 없어 가장 이상적인 공정으로 사료된다.

3.3. 가열 온도 및 시간에 따른 표면 미세조직 변화

열처리 시 분위기 가스의 사용으로 표면 탈탄층의 발생 및 미세조직의 변화는 거의 억제시킬 수 있으나 실

제 현장에서 등은 어닐링 공정 시 분위기 가스의 사용의 거의 불가능한 실정이다. 따라서 실험실적 실험을 통해 가열온도와 유지시간에 따른 표면 부위의 탈탄층 형성 정도를 정량적으로 파악할 필요가 있다. 그림 7에 각각 600°C에서 2시간, 700°C에서 2시간, 900°C에서 1시간과 2시간 유지시킨 시편의 표면 부위의 미세조직을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 온도가 A₁ 변태점 이하인 600°C와 700°C인 경우에는 거의 탈탄이 일어나지 않았으나 900°C에서 가열시 약 100 μm 정도의 탈탄층을 형성하였음을 확인할 수 있다. 유지시간이 2시간인 경우가 1시간인 경우 보다는 약간 큰 탈탄층을 형성하였다. 따라서 실제 공정시 탈탄층 형성량을 고려한 치수상의 고려는 매우 중요한 문제라 할 수 있다.

4. 결 론

SCM435와 SCM415 강 of 연속냉각과 등은열처리에 따른 미세조직을 관찰하고 최적의 열처리 공정을 찾아내고자 실시한 일련의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) SCM435 강은 연속냉각 시 냉각속도가 5°C/min 이상인 경우 마르텐사이트와 베이나이트가 혼합된 조직을 형성하며 냉각속도를 매우 느리게 할 경우 페라이트와 펄라이트만의 조직을 얻을 수는 있으나 페라이트의

부피분율이 50% 이상이며 Band structure가 잔류한다.

(2) SCM415 강은 탄소함량이 적음에 따라 연속냉각에 의해서도 페라이트와 펄라이트만의 조직을 얻을 수 있으며 냉각속도를 빠르게 함으로써 페라이트와 펄라이트의 조직을 얻음과 동시에 Band structure의 형성도 피할 수 있다.

(3) SCM435 강의 가장 적당한 등은 변태온도는 650~680°C로 650°C에서 60분 정도 유지시킬 때 페라이트와 펄라이트의 부피 분율이 50:50인 가장 이상적인 조직을 얻을 수 있다.

참고문헌

1. I. Y. Cho, K. J. Lee, C. H. Lee.: Journal of KWS, vol. 16, No. 3, June, 1998.
2. A. A. Petrunenkov, : phys. Met. Metall. Vol. 71, No. 5, pp.87-92, 1991.
3. M.Umemoto, Zing Hai Guo, I. Tamura,: Material Science and Technology, Vol. 3, April, 1987.
4. M Atkins BSc, B Met, FIM,: American Society for Metals, 1980.
5. Howard E. Boyer,: American Society for Metals, 1977.