

단조용 자동차 부품 T/P Housing과 Valve의 열처리에 따른 조직 및 변형 속도에 관하여

유형종* · 이호진* · 이건영* · 최진일*

A study on the Structure and Transformation Rate of Heat Treatment of Forged T/P Housing and Valve for Automotive Parts

Hyoung Jong Yoo*, Ho Jin Lee*, Gun Young Lee* and Jin Il Choe*

요 약 자동차 부품 T/P housing과 valve에 사용되는 S20C 제철의 강에 Mn과 V 첨가에 따른 냉각속도의 영향과 조직의 거동, 단조 시 변형속도와 경도 변화를 조사하였다. 냉각속도를 증가하면 오스테나이트 결정립에 의한 변태 지연에 의해 변태개시 온도가 저하되었다. 미소한 Mn 함량의 증가는 냉각속도를 민감하게 하여 변태개시 온도를 감소 시켜 결정립 미세화를 일으킨다. 또한, 성형압이 클수록 내부보다 표면이 큰 경도값이 나타났다.

Abstract The effects of Mn, V addition on the behavior of structure and the effects of cooling rate of S20C steel for use of T/P housing and valve for automotive parts have been investigated. Transformation start temperature measured from inflection point of cooling curves has been found out to decrease with increasing cooling rate and to be more sensitive to Mn contents when cooling rate is fast. It was therefore shown that the grain was refined. If there is a big compacting pressure, it is indicated that hardness becomes much greater at surface than inside.

Key Words : microstructure, transformation start temperature, cooling rate, compacting pressure, grain refinement

1. 개 요

단조란 여러 금형 및 공구로 소재에 압축하중을 가하여 원하는 형상으로 성형 가공하는 공정으로 가공온도에 따라 냉간, 온간, 열간으로 구분하는데 일반적으로 가공온도(T)/용융 온도(T_m)의 비가 0.3이하를 냉간 단조, 0.6이상이면 열간 단조, 0.3~0.5를 온간 단조로 구분한다[1]. 그런데 공정 해석적 측면에서 가공 시 일어나는 물리적 현상에 대한 정량적 해석이 매우 복잡하다. 즉, 소성변형 중 소재의 흐름, 공구와 재료간의 마찰, 가공 시 열발생 및 열전도, 미소야금학적 인자와 기계적 성질간의 관계 등은 예측과 분석이 어려우므로 변형이 일어나는 부위와 변형이 일어나지 않는 부위사이의 형상, 속도, 변형률 속도, 변형량 등의 분석을 통해 소재의 흐름을 파악하고 소재의 성형한계 및 생산성 등을 고려하여 소요되는 힘과 응력을 예측하여 결함이 없는 건전한 제품을 제조하여야 한다.

Figure 1은 금형 공동부를 채우는 형단조조업도를 보

이고 있다.

최근 US Navy's manufacturing Technology Program의 하나로 Fe계 합금, Al, Cu합금 외에 Ti 및 초내열합금에서의 조성, 조직, 소성유동곡선, 변형온도 및 변형속도 민감도 등을 나타낸 공정지도나 소성 FEM(Finite

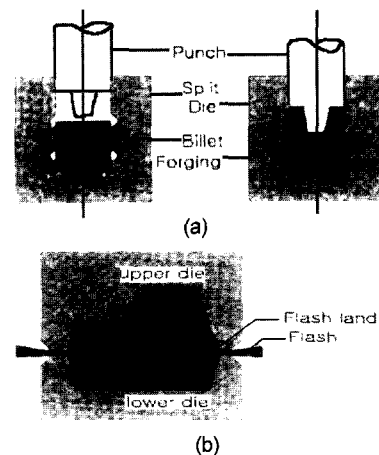


Figure 1. Closed die forging (a) without flash, (b) with flash

*단국대학교 신소재공학과
Tel: 041-550-3535

element Method) Program 등을 DB화하는 것은 단조공정에서 중요하다[2]. 또 합금의 경우 변형 및 열처리 이력에 따라 단조품의 미세조직 및 기계적 성질이 결정되므로 단조조건 및 결정립 크기에 따라 제품의 특성이 결정되므로 본 연구에서는 Yoke에 사용되는 S20C계열의 미세조직의 변화를 조사하고 합금원소 첨가에 따른 연속 냉각특성과 열처리조건에 따른 단조 시 변형거동을 경도, 인장강도 및 내마모성과 같은 기계적 성질과 연계하여 석출거동을 고찰하고자 한다[3].

2. 실험 방법

Table 1은 본 실험에 사용된 시편의 화학조성으로써 Mn에 따른 연속냉각특성, 미세조직의 변화를 조사하고자 하였으며 미량의 V첨가는 페라이트기지에 미세한 탄질화물의 석출에의 강화효과를 얻고자 하였다. Figure 2는 연속냉각장치으로써 1000°C에서 15분, 30분, 60분 동안 가열한 후 냉각속도를 제어하였으며 상변태에 의해 생성되는 변태잠열의 방출현상을 고려하여 10×10×1 mm로 한 시편으로 700-800°C의 평균냉각속도를 150°C/min, 250°C/min 및 400°C/min로 연속 공냉 하였다. Austenite 결정입도는 950°C에서 1200°C까지 50°C 간격으로 15분, 30분 및 60분 동안 오스테나이트로 한 후 소입하고 450°C에서 20시간 소려 후 Heyn의 교차법으로 평균결정입도를 측정하였으며 경도값은 Rockwell 경도계를 이용하여 5회 측정된 값의 평균값을 취하

Table 1. Chemical composition of specimen

| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | Al | V |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| A | 0.21 | 0.26 | 0.83 | 0.02 | 0.01 | 0.19 | 0.55 | 0.54 | 0.21 | 0.24 | 0.1 |
| B | 0.23 | 0.31 | 1.5 | 0.02 | 0.01 | 0.19 | 0.51 | 0.58 | 0.20 | 0.31 | 0.1 |

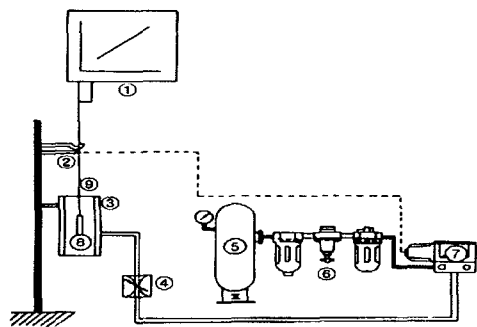


Figure 2. Schematic diagram of experimental apparatus. 1. X-Y recorder, 2. On-off switch, 3. Cooling device, 4. Flow control valve, 5. Air tank, 6. Air regulator, 7. Solenoid valve, 8. Specimen, 9. Thermocouple

였다[4].

3. 결과 및 고찰

3.1 냉각속도의 영향

변태온도가 저하되면 오스테나이트가 과포화 되어변태생성물의 핵생성 속도가 증가하고 성장속도는 감소하여 결정입자가 미세해지는데 일반적으로 고온영역에서는 체류시간이 짧고 저온영역에서는 체류시간이 긴 특성을 갖고 있다[5]. Figure 3은 1000°C에서 30분간 가열한 후 냉각속도를 변화시킬 때의 A시편의 냉각속도를 나타낸 것인데 특정온도에서 냉각곡선의 기울기가 변하고 있고 이것을 변태개시온도로 하였는데 냉각속도가 느릴수록 변태영역에서의 체류시간이 늦어지고 있음을 보이고 있다.

Table 2는 1000°C에서 가열 후 냉각속도에 따른 변태개시온도의 변화를 나타낸 것인데 냉각속도가 증가할수록 변태개시온도가 감소하고 있는데 이것은 오스테나이트 결정립에 의한 변태지연에 의한 것이며 또 Mn함량이 증가할수록 변태곡선의 이동량이 현저하게 증가하며 냉각속도에 민감함을 알 수 있다.

3.2 조직의 변화

Figure 4는 온도에 따른 Austenite결정립의 변화를

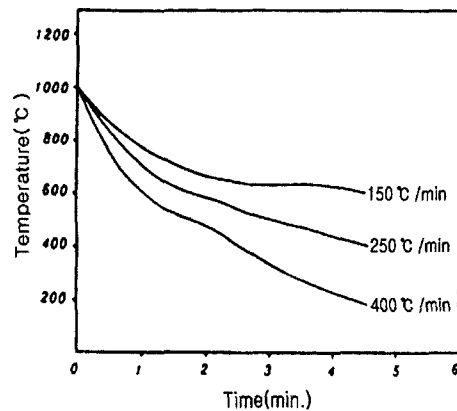


Figure 3. Typical air cooling curves obtained from steel B heated at 1000°C and then air cooled with different cooling rate.

Table 2. Transformation start temperature from inflection point of the cooling curves at 1000°C

| Cooling rate (°C/min) | 150 | 250 | 400 |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| A | 650 | 640 | 630 |
| B | 630 | 590 | 530 |

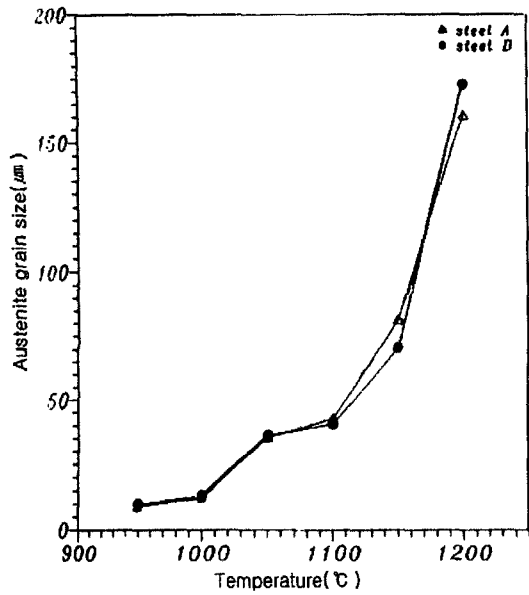


Figure 4. Austenite grain coarsening behavior as a function of heating temperature.

나타낸 것인데 온도증가에 따라 결정립이 성장하고 있는 것을 보이고 있으면 1000°C까지는 약 10 μm 정도의 등축정 결정으로 변화가 없으나 1100°C 이상에서는 급격히 성장하고 있는 것을 보인다. 이것은 약 1000°C까지는 VC나 AlN과 같은 탄질화물은 고용온도가 높아 결정립성장을 방해한 것으로 고려된다.

오스테나이트 결정립 조대화 온도에 대한 Cuddy 등의 관계식은[6]

$$T_c = A + B [Q / (F - \log(MC)) - 273]$$

T_c: Grain-Coarsening Temperature

A(°C), B: Grain-Coarsening Constants

F, Q(°K): Solubility Constants

MC: Simple Carbide

MCF[M]+[C]

으로 나타내는데 이것을 고려하면 결정립 성장개시 온도는 탄질화물에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

Figure 5는 steel B를 1100°C로 가열 후 400°/m로 냉각시킨 것의 조직을 나타낸 것인데 탄화물 띠가 페라이트상에 일정한 방향을 이루고 있는 불연속적인 상부 베이나이트 조직을 구성하고 있는 것을 보이고 있다.

Figure 6은 1100°C 가열 후 150°/min으로 공냉한 A, B의 조직인데 B의 조직이 미세한 것을 보이고 있다. 이것은 치환형 합금원소인 Mn 이 오스테나이트의 평형 탄소농도 및 변태온도를 저하시키기 때문에 베이나이트

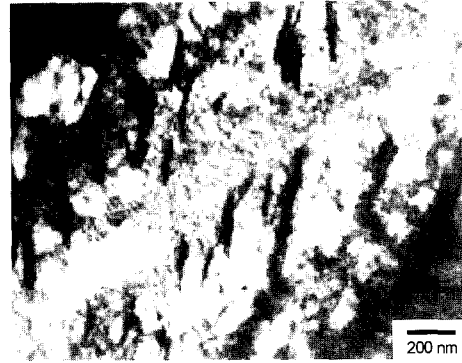


Figure 5. TEM micrograph of steel B heated at 1100° for 30 mins. and then air cooled with 400°/min.

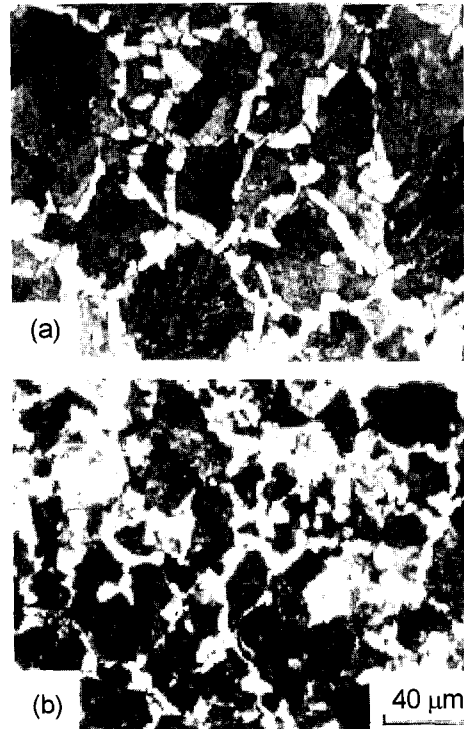


Figure 6. Optical micrographs showing the effect of alloying elements on microstructure of steels air cooled with 150°/min. after heating at 1100° for 30 mins. (a) steel A, (b) steel B

변태 시 초석 페라이트를 미세화 시키고 펄라이트의 양이 증가 된 것으로 고려된다.

3.3 성형 시 경도변화

Figure 7은 Yoke제조를 위한 성형공정을 나타낸 것인데 1차 성형압은 450 tsi, 2차 성형압은 600 tsi였다. (tsi: ton/in²)



Figure 7. Processes for Yoke forging

Table 3. Hardness of S20C with forging process. (B scale, 1/16"steel)

| | 성형 전 | 1차 성형 | 2차 성형 | 2차성형시 ring 부위 |
|------|------|-------|-------|---------------|
| 표면경도 | 56.5 | 92.4 | 94.2 | 98.9 |
| 내부경도 | 56 | 88.4 | 92 | 92.1 |

Table 3은 이들 공정에서의 표면 및 내부경도 변화를 나타냈다. 표에서 나타난바와 같이 표면경도가 내부보다 높으며 성형을 가할수록 경도값은 증가하고 있는데 이것은 표면이 내부보다 냉각속도가 빠르고 ring부위에서의 응력 집중에 기인하는 것으로 생각된다.

Figure 8은 U자형부위의 10% reduction과 20% reduction 시의 FEM해석에 의한 변형도 분포인데 그림에서 나타난 바와 같이 20% reduction 시 중심부에 변형이 집중적으로 미치므로 1회 stroke 량을 크게 하는 것이 효율적일 것으로 고려된다. 일반적으로 단조해석에는 rigid plastic 유한요소법이 사용되는데 이것은 비압축성조건이 라그랑주 급수(Lagrange Multiplier)로 만족되고 다음식의 범함수값이 최소값을 갖는다는 변분 원리에서 시작된다[7].

$$\Phi = \int v \delta \epsilon dV + \int \lambda v \delta \epsilon dV - \int S_F F \cdot v dS - \int S_{CF}(v_r) v_r dS$$

∂ : 유효응력

ϵ : 유효변형도

λ : Lanrange multiplier

F: 물체 V의 표면 S_F 에 작용하는 표면력

v : 허용속도장

또 최대응력과 변형속도는

$$\epsilon = A \sigma^n \exp(-Q/RT) \quad (n: \text{응력지수})$$

라는 관계에서 변형속도는 응력 및 가공변화와 관련된 활성화 에너지에 비례함을 알 수 있다. 따라서 위의 것을 종합하면 금형의 폭과 형상, 압하량, 단조비 및 단조온도에 따라 미세조직 관찰에서 재결정조직 뿐 아니라 변형조직이 발생한다는 것을 알 수 있다.

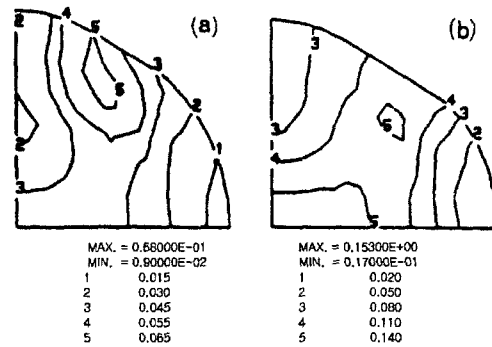


Figure 8. The distribution of effective strain (ϵ). (a) 10% reduction (b) 20% reduction.

4. 결 론

본 논문에서는 S20C계열의 강에 Mn과 V첨가에 따른 냉각속도의 영향과 단조 시 변형속도와 경도변화를 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 냉각속도를 증가하면 오스테나이트 결정립에 의한 변태 지연에 의해 변태개시온도가 저하되었다.
2. 미소한 Mn 및 V는 냉각속도를 민감하게 하여 변태개시온도를 감소시켜 결정립 미세화를 일으킨다.
3. 성형압이 클수록 내부보다 표면이 큰 경도값을 나타낸다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 단국대학교 연구비에 의해 연구 되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, "metal forming fundamentals and Application", Metals Park, Ohio, American society for metals, 1983.
- [2] 中島 등, "塑性 と 加工", Vol. 22, pp. 697, 1981.
- [3] 김인수외, "Alloy718의 동적 및 준동적 재결정 거동", 제 12회 재료강도학회 심포지엄, 1998.
- [4] W. F. Hesford and R. M. Caddel, Metal forming, Mechanics and Metallurgy, Second Ed. Englewood Cliffs, new Jersey, Prentice Hull 1993.
- [5] A. Kelly and G. J. Davies, "Metallurgical reviews", Vol. 10, pp. 37-77, 1985.
- [6] L. J. Cuddy and J. C. Ralley, "Metallurgical Trans", A9A1, pp. 261, 1983.
- [7] S. Kalpakjian, "Manufacturing Engineering and Technology", Adison-Wesley publishing Co. Third Ed., 1995.