

α -Fe에서 열적활성화된 전위들의 운동에 대한 연구

최 금 성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학기술과 기계설비의 발전은 재료의 발전에 의하여 담보됩니다.》《김정일선집》 중보판 제15권 486~487페이지)

지금까지 결정안에 존재하는 응력을 완화시키기 위한 실험적인 연구[3]는 많이 진행되었지만 그에 대한 해석은 정성적인데 머무르고있으며 α -Fe에 대한 응력완화의 미시적물림새 역시 마찬가지이다.

우리는 이론적인 활성화체적변화를 통하여 응력완화실험결과를 해석하였다.

α -Fe와 세멘티트의 기계적혼합물인 빼를리트주물품에 8~12kA/m의 임펄스자기마당을 작용시킨 다음 각이한 온도에서 응력완화실험을 하였다.

각이한 온도에서 시간에 따르는 빼를리트주물품의 응력완화곡선은 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 회복속도가 가장 빠른 구간은 재료마다 다르기는 하지만 대체로 자화처리 5h후 하루동안 방치할 때의 구간이며 이때의 속도는 대략 7.5MPa/h정도이다.

빼를리트주물품의 경우와 마찬가지로 모든 자성재료의 응력완화는 지수함수적으로 오랜 시간동안 진행되며 지어 몇년동안 지속되는 경우도 있다.

결정안에 존재하는 내부응력을 완화시키기 위해서는 반드시 외부적응력을 주어야 하는데 여기서 열응력이 많이 리용된다.

응력완화는 결정안에 존재하는 전위들의 운동과 밀접히 련관되어있다. 그러므로 변형이 일어날 때 전위물림새를 정확히 밝히는것이 매우 중요한 문제로 나선다.

미끄럼면에서 전위운동에 필요한 자름응력은 두가지 성분으로 나누어볼수 있다. 즉

$$\sigma = \sigma_i + \sigma^* . \quad (1)$$

여기서 σ_i 는 내부응력들이고 σ^* 은 유효자름응력이다.

유효자름응력은 짧은 범위의 장애물들을 극복할 때 전위가 열적으로 활성화된 운동을 하는 동안 전위들에 작용한다.

열적활성화과정에 대한 소성변형속도는

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 [-\exp(\Delta G(\sigma^*)/(kT))] . \quad (2)$$

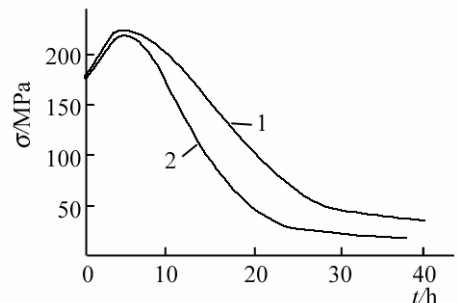


그림 1. 각이한 온도에서 시간에 따르는
빼를리트주물품의 응력완화곡선
1—25℃일 때, 2—100℃일 때

여기서 $\dot{\epsilon}$ 는 소성변형속도, $\dot{\epsilon}_0$ 는 초기소성변형속도, $\Delta G(\sigma^*)$ 는 유효응력에 따르는 기브즈에너지를 나타낸다.

유효응력에 따르는 기브즈에너지를 나타내는

$$\Delta G(\sigma^*) = \Delta G_0 - V\sigma^* = \Delta G_0 - V(\sigma - \sigma_i) \quad (3)$$

이다. 여기서 $V=bdL$ 은 활성화체적인데 b 는 버거스벡토르, d 는 장애물너비, L 은 장애물들 사이에 있는 전위들의 평균길이이다.[1]

활성화체적은 주어진 온도에서 유효응력에 관계되므로 활성화체적이 감소한다는것은 전위밀도가 감소한다는것 즉 응력이 완화되었다는것이다.

각이한 온도에서 측정된 완화시간에 따르는 응력측정자료를 응력차($\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma$)와 완화시간의 로그수 $\ln t$ 의 관계로 그림 2에 보여주었다.

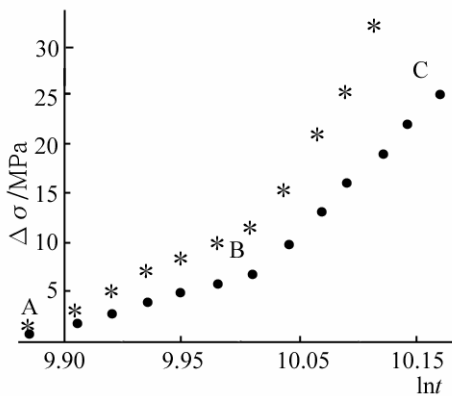


그림 2. 각이한 온도에서 측정된
완화시간에 따르는 응력

●, *은 온도가 각각 25, 100°C인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 A와 B, B와 C사이 즉 완화시간이 5-6, 6-7h사이에서 그래프가 선형관계에 있다.

이로부터 잘 알려진 헬름홀츠정식[2]

$$\sigma_0 - \sigma = S \ln t \quad (4)$$

의 관계가 성립된다는것을 알수 있다. 여기서

$$S = kT/V \quad (5)$$

로서 그래프의 경사도인데 V 는 활성화체적, k 는 볼츠만상수, T 는 절대온도이다.

그림 2에서 A와 B의 경사도는 25°C일 때 0.39, 100°C일 때 0.64, B와 C의 경사도는 25°C일 때 0.53, 100°C일 때 2.71이다. 이로부터 활성화체적을 구하면 25°C일 때 A와 B에서 $1.06 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^3$, B와 C에서 $0.78 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^3$, 100°C일 때 A와 B에서 $0.84 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^3$, B와 C에서 $0.19 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^3$ 이다. 이것은 응력이 완화될 때 활성화체적이 감소 즉 전위밀도가 감소된다는것을 말해준다.

맺 는 말

- 1) 베를리트주물품의 경우 활성화체적은 온도와 독립인 유효응력의 함수이다.
- 2) 유효응력에 대한 활성화체적의 변화는 온도에 따라 다르다.

참 고 문 헌

- [1] P. Lukáč; Journal of Physics, 240, 1, 2010.
- [2] G. A. Sargent; Acta Met., 13, 663, 1965.
- [3] K. Zhan et al.; Materials Transactions, 53, 1578, 2012.

주체105(2016)년 1월 5일 원고접수

Motion of Thermally Activated Dislocation in α -Fe

Choe Kum Song

Stress relaxation tests are used to estimate the activation volume and to determine the change of the internal stress. In the case of the α -Fe, the activation volume is a function of the effective stress independent of temperature because the microstructure is constant in the studied temperature range.

Key words: stress relaxation, activation volume