

변형률속도와 온도에 따른 SPF8090 Al-Li 초소성재료의 물성치 평가

이 기석, 허 훈
한국과학기술원 기계공학과

Characterization of superplastic material SPF8090 Al-Li for the strain-rate and the temperature

Ki-seok Lee, Hoon Huh
Department of Mechanical Engineering,
Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

A superplastic material, aluminum - lithium alloy 8090, were examined with uniaxial tensile test to investigate its thermomechanical behavior. The tests were carried out at the strain-rates ranging from 2×10^{-4} to 1×10^{-2} and at the temperatures from 480°C to 540°C . The experiments produced force-displacement curves which converted to stress-strain curves. From the curves, several important superplastic factor such as strain-rate sensitivity, optimum strain-rate and strength coefficient were obtained.

Keywords : Superplastic factor, strain-rate sensitivity

1 서론

일반적으로 초소성 재료의 구성 방정식은 식(1)로 표현한다.

$$\sigma = K_1 \epsilon^n \dot{\epsilon}^m d^p \tag{1}$$

초소성재료의 변형 응력은 다른 인자에 비해 변형률속도에 지배적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 변형률과 결정립 크기의 영향을 물질 상수에 포함시키면 식(1)은 다음과 같이 간단한 표현된다.

$$\sigma = K \dot{\epsilon}^m \tag{2}$$

변형률속도 민감계수(m)과 그에 상응하는 재료상수(K)는 초소성재료의 거동을 이해하는데 중요한 물성치이다.

2 인장 시험

인장시험에서 일정한 변형률속도를 유지하기 위한 크로스 헤드의 속도 조절이 필요하다. 일정한 크로스헤드 속도에서의 시험은 변형률속도가 계속 감소하여 물성치를 구할 때 오차의 요인이 된다.

시간 t에서의 시편 표점거리(L)과 크로스 헤드의 속도(v)는 식(4), (5)와 같다.

$$L(t) = L_0 \exp(\dot{\epsilon} t) \tag{3}$$

$$v(t) = L_0 \dot{\epsilon} \exp(\dot{\epsilon} t) \tag{4}$$

식(4)의 크로스헤드 속도를 이용하여 진응력 - 진변형률 관계 선도를 구한다. 그 결과를 이용하여 대수 좌표계에 변형률속도와 인장응력의 관계로 도시한 후 근사식을 사용하여 m 과 K 값을 수치적으로 구할 수 있다.

1차식 근사를 통한 m , K 값은 상수로 가정한 것으로 식(2)에 사용할 수 있는 물성치이다. 그러나, 1차식 근사로는 초소성재료의 중요한 변형특성인 변형률속도 민감성에 대한 정보를 구할 수 없다. 따라서, 변형률속도 민감성을 나타낼 수 있는 가장 단순한 3차 다항식으로 근사하여 재료의 변형률속도 민감계수를 구할 수 있다. 이 3차 다항식 근사는 식(2)의 m , K 값이 상수가 아닌 변형률속도에 따른 변수로 가정하기 때문에 식(2)에는 사용할 수 없다.

대수 좌표계에 도시된 진응력 - 진변형률속도 관계의 1차 근사식은 다음과 같다.

$$\log \sigma = a_0 + a_1 (\log \dot{\epsilon}) \quad (6)$$

이때, m , K 는 각각 상수 a_1 , $\exp(a_0)$ 로 구하여 진다.

대수 좌표계에 도시된 진응력 - 진변형률속도 관계의 3차 근사식은 다음과 같다.

$$\log \sigma = a_0 + a_1 (\log \dot{\epsilon}) + a_2 (\log \dot{\epsilon})^2 + a_3 (\log \dot{\epsilon})^3 \quad (7)$$

여기서 변형률속도 민감계수 m 과 재료상수 (K)는 다음과 같이 구할 수 있다

$$m = a_1 + 2a_2 (\log \dot{\epsilon}) + 3a_3 (\log \dot{\epsilon})^2 \quad (8)$$

$$\log K = a_0 - a_2 (\log \dot{\epsilon})^2 - 2a_3 (\log \dot{\epsilon})^3 \quad (9)$$

3차식 근사에 의한 변형률속도 민감계수(m)가 높은 값을 갖는 성형 조건에서 초소성재료는 국부변형에 대한 저항력이 높아진다. 따라서 3차 근사식을 통하여 구한 물성치의 값의 변화로 최적의 성형조건을 찾을 수 있다.

3 시험결과

Fig.1은 각각 성형온도 480°C, 500°C, 520°C, 540°C에서의 인장 시험 결과를 단면적 감소 영향을 보정한 진응력 - 진변형률 선도이다. 온도가 낮을 수록 각 변형률속도에 따른 인장 하중이 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 변형률속도가 높을수록 인장 하중이 높아지는데 이는 변형률속도에 지배적인 영향을 받는 초소성재료의 변형기구의 특성을 잘 보여 준다. 특히 변형률속도가 1×10^{-3} 이하의 실험 결과들은 변형률에 관계없이 변형률속도에 따라 거의 균일한 값을 나타내고 파단까지의 변형률도 1.0 이상의 높은 연신율을 보임을 알 수 있다. 이 결과로부터 변형률속도 변화에 따른 응력의 변화를 살피기 위해 대수 좌표계에 도시하면 Fig.2로 나타내어진다.

Fig.2의 결과로부터 초소성재료의 물성치 변형률속도 민감계수(m)와 재료 상수(K)를 1차식으로 근사하여 Table.1과 같이 구할 수 있다. 변형률속도 민감계수(m)은 시험범위내에서 변형률이 커짐에 따라 온도가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보인다.

초소성 성형의 최적 조건을 구하기 위하여 Fig.2를 3차식으로 근사하여 각 온도와 변형률에서의 변형률속도 민감계수 값을 도시하면 Fig.3에 나타내었다.

변형률속도가 1×10^{-3} 부근에서 변형률속도 민감계수가 최대값을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 성형온도 520°C 조건의 시험결과가 변형률속도 민감계수의 변형률속도와 변형률에 대한 변화가 가장 적게 나타남을 알 수 있다. Table.1, Fig.3에서 성형온도의 변화나 변형이 진행됨에 따라 변하는 변형률속도 민감계수를 이용하여 성형에 알맞은 최적변형률속도를 추적할 수 있다. 이것은 실제적인 성형 해석시에 온도와 변형률속도 두 가지 모두를 동시에 제어해서 성형과정에 따른 최적의 상태를 유지할 수 있는 중요한 정보이다.

이상의 결과에서 SPF 8090 Al-Li 재료의 물성치를 인장시험 자료에서 변형률이 0.6 이하의 범위 내에서 변형률속도에 대하여 안정적인 큰 값의 변형률속도 민감계수를

갖는 조건으로 선택하여 다음과 같이 구하였다.

온도 (°C): 520°C
 최적 상당 변형률속도 ($\dot{\epsilon}$): $1.2589 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$
 재료 상수 (K): $304.80 \text{ sec}^m \text{ MPa}$
 변형률속도 민감계수 (m): 0.50762

이상의 결과로 8090 SPF Al-Li 의 구성 방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma = 304.80 \times \dot{\epsilon}^{0.50762} \quad (15)$$

단, $T = 520^\circ\text{C}$, $\dot{\epsilon} = 1.2589 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$

4 결론

- 1) 초소성 재료의 인장 시험 시에 변형률속도를 일정하게 유지할 수 있는 크로스 헤드 속도 제어 방법을 제시하여 인장시험을 수행하였다.
- 2) 실험의 결과로부터 온도 및 변형률의 변화에 따른 SPF 8090 Al-Li 재료의 물성치를 구하였다.
- 3) SPF 8090 Al-Li 재료의 최적성형조건을 유지할 수 있도록 성형 온도와 변형률속도의 변형률에 따른 관계를 구하였다.

REFERENCES

1. A. Arieli and A.K. Mukherjee, 1982, *Metall. Trans. A*, vol. 13A, p. 717
2. C.A. Henshall, J. Wadsworth, M.J. Reynolds, and A.J. Barnes, 1987, *Materials & Design*, vol. 8, No. 6, p. 324
3. C.H. Hamilton, 1989, *Metall. Trans. A*, vol. 20A, p. 2783
4. Q. Liu, J. Yang, and M. Yao, 1991, *Scr. Metall. et Mater.*, vol. 25, p. 109
5. Q. Liu, J. Yang, and M. Yao, 1991, *Scr. Metall. et Mater.*, vol. 25, p. 115

Table 1 Strain-rate sensitivity coefficient by fitting with 1st order polynomial function

(rounded up values)

ϵ		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	mean
480°C	m	0.593	0.561	0.527	0.471	-	0.538
	K	772.8	691.0	568.5	370.1	-	579.0
500°C	m	0.550	0.468	0.480	0.555	-	0.513
	K	347.9	275.3	309.0	560.5	-	358.9
520°C	m	0.501	0.514	0.484	0.497	0.542	0.508
	K	209.9	298.4	278.2	323.5	466.6	304.8
540°C	m	0.454	0.409	0.398	0.398	0.375	0.407
	K	122.7	130.5	143.1	159.2	143.2	139.2

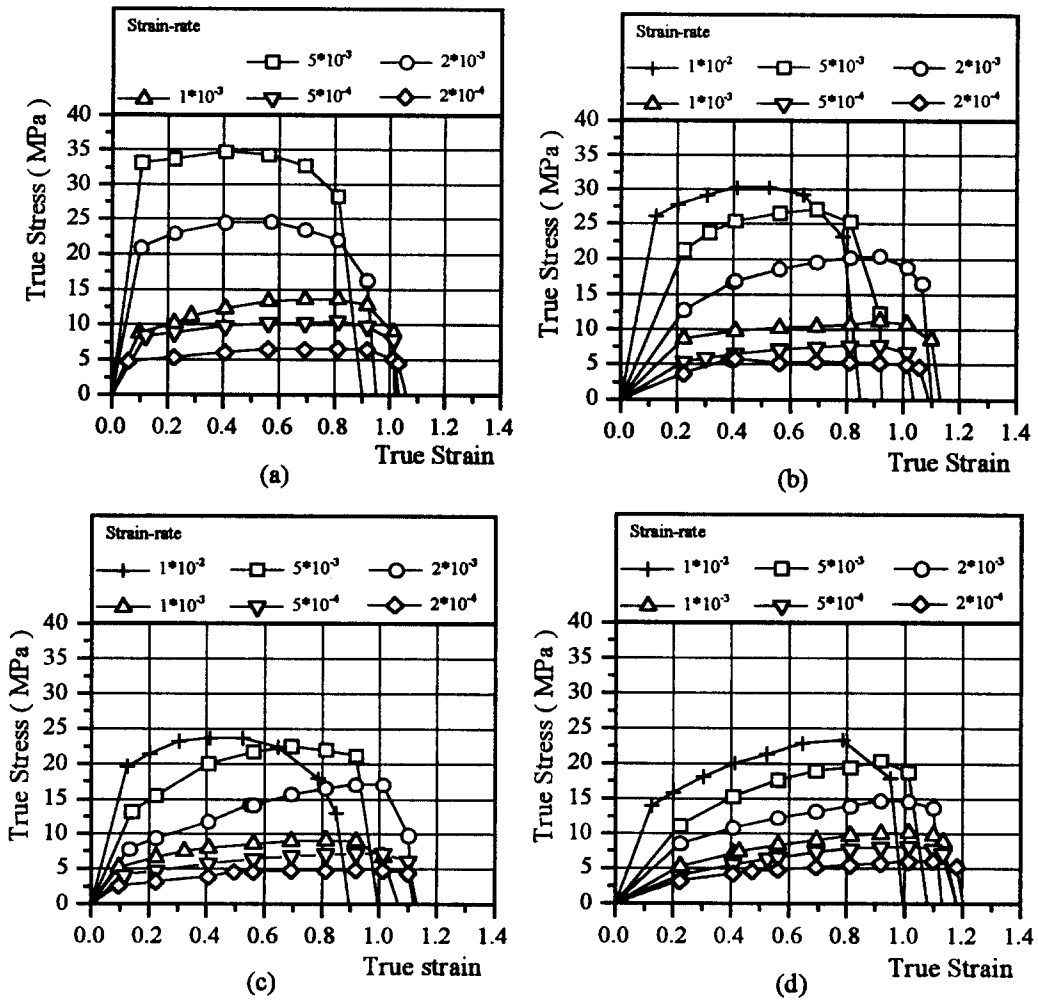
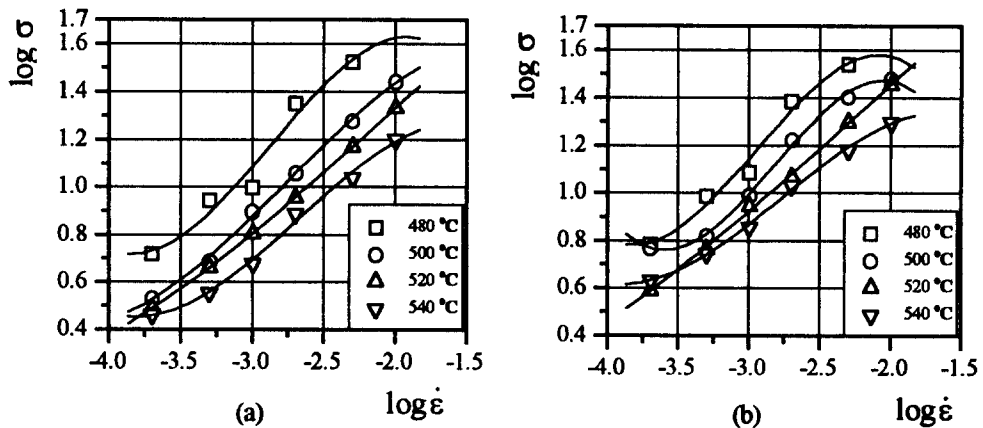


Fig. 1 True stress vs. true strain with the variation of the temperature and the strain-rate : (a) T = 480 °C; (b) T = 500 °C; (c) T = 520 °C; (d) T = 540 °C



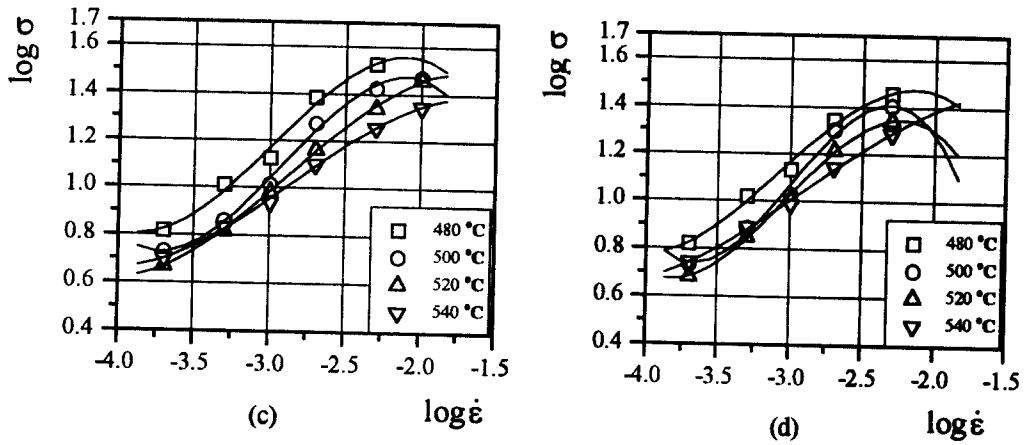


Fig. 2 Logarithmic true stress vs. logarithmic true strain-rate with the variation of the strain : (a) $\epsilon = 0.2$; (b) $\epsilon = 0.4$; (c) $\epsilon = 0.6$; (d) $\epsilon = 0.8$

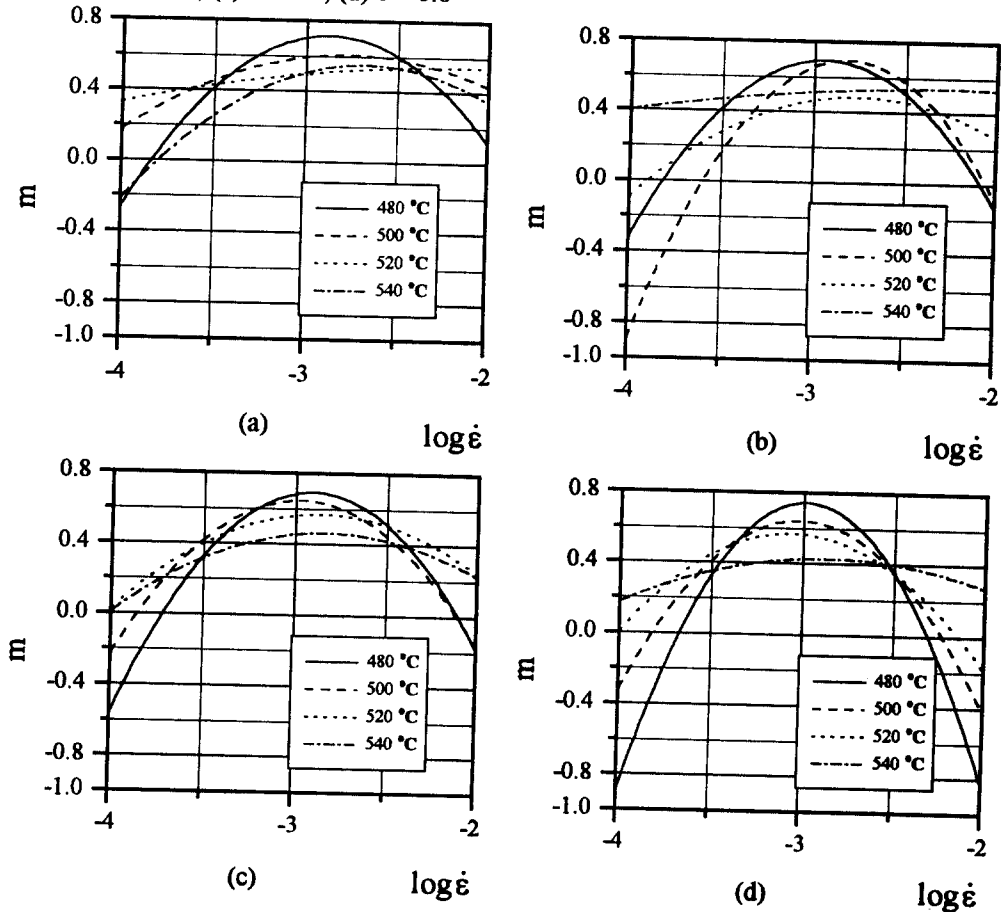


Fig. 3 Strain-rate sensitivity coefficient (m) vs. logarithmic strain-rate with the variation of the strain : (a) $\epsilon = 0.2$; (b) $\epsilon = 0.4$; (c) $\epsilon = 0.6$; (d) $\epsilon = 0.8$