

## 가열냉각법에 의한 마그네슘합금의 판재성형성개선(II)

강대민<sup>1</sup> · K.Manabe<sup>2</sup>

### Improvement on the formability of magnesium alloy sheet by heating and cooling method(II)

Dae-Min Kang<sup>1</sup>, Ken-ich Manabe<sup>2</sup>

#### Abstract

The use of magnesium alloys meets the need of reducing weight of components(especially in automotive and aerospace industry) keeping unmodified their mechanical properties. The adoption of magnesium alloys in sheet forming processes is still limited, due to their low formability at room temperature caused by the hexagonal crystal structure. In this study, the authors aim to understand the process condition which can lead to a successful improvement in the formability of a magnesium alloy(AZ31). Experiment and simulations of deep drawing were done at various warm temperature for the blank and tool(holder and die)while the punch was kept at room temperature by cooling water in order to confirm that the deep drawing performance of magnesium alloy can be considerably enhanced with using the local heating and cooling technique.

**Key Words** : Magnesium Alloy(마그네슘합금), Warm Deep Drawing(온간다이프로딩), Heat Transfer(열전달), Finite Element Method(유한요소법)

#### 1. 서론

마그네슘합금은 1808년 H.Davy에 의해 발견된 은백색의 금속이고 밀도가  $1.74\text{g/cm}^3$ 으로 여러가지 금속과 합금화할경우 알루미늄합금의 2/3, 티타늄합금의 1/4, 철강재료의 1/5 정도의 밀도를 가지게되어 최근 자동차산업과 전자산업등과 같은 경량구조물에 크게 주목을 받고있다. 한편 마그네슘합금의 판재성형중 주요한 제조공정중 하나인 다이프로딩에 관한 연구로는 그동안 몇몇 연구자들에 의해 상온에서 연구되어왔으나 상온에서는 판의 두께의 감소를 수반하는 변형에 대해서는 강한 이방성을 나타내어 프레스성형이 어렵다. 그러나 고온이되면 비저면 슬립계가 활동하게되어 슬립계의 수가 증가하면서 현형이 용이하게되

어 최근에는 펀치부분에는 냉각시키고 다이 및 블랭크호울더 부분에서 히터로 가열하여 성형하는 가열냉각 온간성형법이 응용되고있다.<sup>1)</sup>

온간성형법에 관련된 연구로는 E.Doege<sup>2)</sup>등에 의해 여러가지 마그네슘합금에 대해 온도  $200^\circ\text{C}$ - $250^\circ\text{C}$  범위에서 다이프로딩 실험을 통하여 판재성형성과 한계드로잉비에 성형속도의 영향을 고려하였고, D.M.Kang<sup>3,4)</sup>등에 의해 온간 다이프로딩시 AZ31합금의 판재성형성에 관한 연구를 하였으나 아직 국내외적으로 마그네슘합금인 AZ31의 판재성형성에 대한 연구는 매우 불충분한 실정이다. 본 연구에서는 국부가열냉각법을 이용하여 실험과 시뮬레이션을 통하여 AZ31 마그네슘합금재의 다이프로딩성 개선에 대해 파악하고자한다.

1. 부경대학교 기계공학부(교신저자, dmkgang@pknu.ac.kr)

2. Tokyo Metropolitan University

## 2. 가열냉각 해석모델

본 해석에는 가열냉각해석 모델을 위해 편치, 다이, 블랭크호울더 그리고 블랭크등으로 모델화하였고 성형해석을 위해 기하학적 성질로부터 2차원 축대칭모델을 이용했다. Table 1에서 해석에 사용된 각각요소의 치수등을 표시하였고 해석의 다이형상과 실험장치의 다이형상을 일치시켰다. 요소분할은 두께방향으로 2분할, 반경방향으로는 120분할했다. 전요소수는 240, 최소요소크기는 세로 0.24mm, 가로 0.99mm로 했다. 블랭크호울더력은 5.9kN, 편치속도는 10mm/min로 하였다. 가열냉각성형해석을 위해 사용된 해석은 열전달 해석이 가능한 MARC/Mentat 이고 본 열전달해석에 사용된 마그네슘합금의 열적계수는 Table 2 과 같다.

**Table 1 Dimensions of punch and die used in the F.E. simulation**

Punch diameter/mm	33
Punch shoulder radius /mm	3
Die diameter /mm	35.5
Die shoulder radius /mm	5

## 3. 실험

고온인장시험은 마그네슘합금판의 JIS13 호 시험편을 이용하여 실험을 행하였고 Table 2 는 실험용 시편에 사용된 마그네슘합금의 화학적 성분을 표시하였다. 가열냉각 다이프로딩실험은 만능인장압축시험기(AUTO GRAPH,최대하중 100kN)을 사용하여 드로잉 치부를 부착하여 실험을 행하였다. 본 치구는 플랜지를 가열, 편치부는 물을 내부에 순환시켜 냉각시켰다.

**Table 2 Chemical composition(%) of magnesium alloy sheet(AZ31)**

Al	Zn	Zr	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca
1.9	1.1	-	4.7	-	1.0	0.1	0.03	-

다이와 블랭크호울더의 가열부의 실험온도조건은 온도가 성형성에 미치는 영향을 파악하기위해서 상온, 100℃, 150℃, 200℃, 225℃, 250℃, 300℃ 및 400℃ 등의 조건에서 행하였고 변형속도가 성형성에 미치는 영향을 보기위하여 크로스헤드속도를 10mm/min,100mm/min 등으로 하였다. 또한 유한요소해석에 사용된 블랭크호울더력은 5.9kN 이고 DR 은 3.6 으로하였다.

## 4. 결과 및 고찰

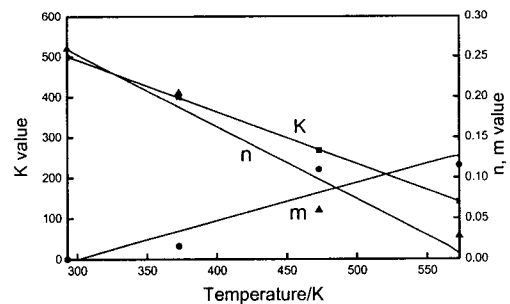
### 4.1 실험결과

#### 4.1.1 고온인장시험결과

고온인장시험에 사용된 온도조건은 상온, 100,℃ 200,℃ 300℃ 그리고 400℃ 이고 크로스헤드속도는 5,50,500mm/min 등이다. 온간다이프로딩의 현상학적인 모델은 다음과같이 응력은 가공경화지수 n 과 변형률속도 민감성 m 에 의존된다고하면

$$\sigma_{eq} = K \epsilon^{n} \dot{\epsilon}^{m} \quad (1)$$

가 된다.



**Fig. 1 Material value at various temperature**

Fig.1 은 고온인장시험을 통하여 K 값, m 값 그리고 n 값의 온도의존성을 나타낸결과로서 이 결과로부터 FEM 에 사용된 재료특성치의 온도의존성을 구하여 서브루틴을 이용하여 변형시 재료내에서의 블랭크의 재료특성치 K 값, m 값 및 n 값을 계산하였다.

#### 4.1.2 가열냉각다이프로딩 실험결과

Fig.2 에서 크로스헤드 속도를 10, 100mm/min 으

로했을 경우 온도에 따른 최대성형높이를 나타낸 결과이다.

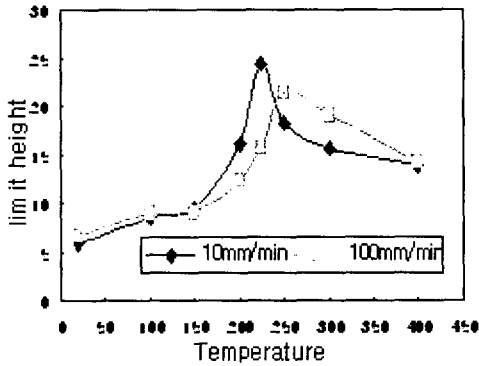


Fig. 2 Limit height at various temperature

여기서보면 가열냉각다이프로딩시 최대성형높이가 상온인 경우의 최대성형 높이보다 크게 증가되었다. 특히 크로스헤드속도가 10mm/min 이고 온도가 225 °C 조건에서의 최대성형높이가 24.29mm 로서 상온치의 5.73mm 의 값보다 훨씬 크게 나타났고 크로스헤드속도를 100mm/min 으로 했을 경우는 온도가 250 온도에서 21.59mm 로서 상온치의 6.51mm 의 값보다 상당히 크게 나타났다. 이것의 결과로서 크로스헤드 속도가 커질수록 한계성형 높이가 발생하는 온도가 차츰 증가한다고 추측된다.

#### 4. 2 유한요소해석결과

Fig.3 은 상온과 다이와 블랭크호울더의 온도를 225 °C 로하여 펀치행정거리가 12mm 인 상태에서 블랭크 위치에 따른 두께분포를 나타낸 것이다. 여기서 두께분포를 구하기 위하여 성형된 높이에서 각 절점의 x,y 좌표를 구하여 프로그램을 이용하여 각 절점에서의 두께를 구하였다. 결과를 보면 상온에서는 펀치어깨부에서 두께가 급속히 감소되었으나 다이와 블랭크호울더부를 225 °C 로한 국부가열냉각시의 해석결과는 두께가 균질하게 변화되었다. Fig.4 는 상온과 국부가열시의 조건에서 응력분포를 나타낸 것이다.

Fig.4 으로부터 상온에서는 펀치어깨부에서는 응력의 집중현상이 발생하였으나 다이와 블랭크호울더부를 225 °C 로한 국부가열냉각시의 해석결과와는 대체적으로 균질한 응력분포를 나타낸다.

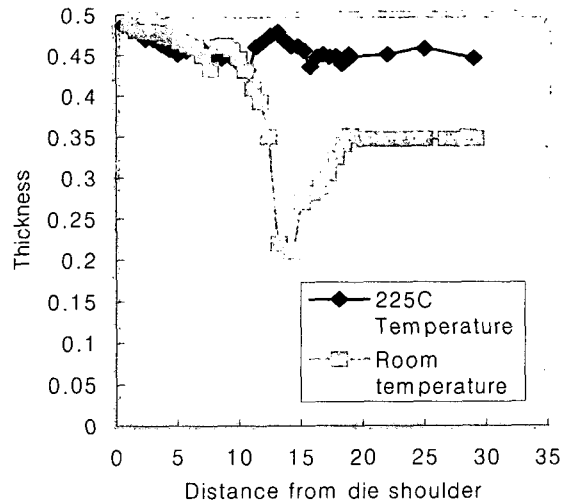


Fig.3 Thickness distribution along distance from die shoulder

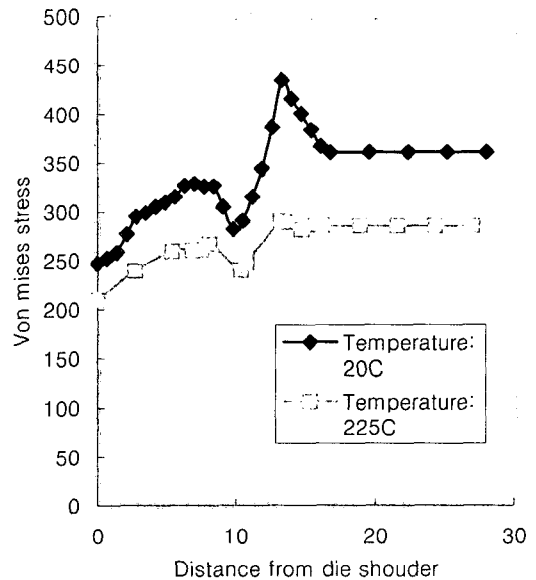


Fig.4 Von mises stress along distance from die shoulder

#### 5. 결론

마그네슘합금(AZ31)의 가열냉각다이프로딩을 위해 블랭크호울더와 다이온도를 다양하게하여 실험과 시뮬레이션 해석한 결과 다음과 결과를

얻었다.

(1) 크로스헤드 속도를 10,100,mm/min 으로 해서 펀치를 냉각시키고 블랭크호울더와 다이온도를 점차 온도를 증가시킨 조건에서 가열냉각 속도가 10mm/min 에서 최대성형높이는 225 °C 에서 24.29mm 로서 상온에서의 5.73mm 의 결과보다 대단히 크게나타났고 크로스헤드 속도가 100mm/min 에서의 최대성형높이는 250 °C 에서 21.59mm 로서 상온에서의 6.51mm 보다 크게나타났다.

(2) 가열냉각 온간다이프로딩시 크로스헤드 속도가 10-100mm/min 에서의 최대성형높이가 발생하는 온도는 225 °C -250 °C 인 것으로 추정된다.

(3) 상온인 경우와 다이와 블랭크호울더부를 225 °C 를 한 국부가열냉각시의 경우에대해 재료 내의 두께분포와 응력분포를 구한결과 상온인 경우는 펀치어깨부에서 급격한 두께감소와 응력집중이 발생하였고 국부가열냉각시의 경우는 대체적으로 균질한 두께분포와 응력분포가 나타났다.

## 후 기

이 논문은 2003 년 한국과학재단 지역대학우수 과학자 지원연구과제(계속과제, 번호:R05-2003-

000-10410-0) 의 지원으로 수행하였으며 이에 감사의 뜻을 표하고 아울러 실험과 해석을 행하는 데 많은 도움을준 동경도립대학교의 Mr. Shimomura 님께 감사를 표합니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Yoshihara S., Yamamoto H., Manabe K., and Nishimura H., Proceedings of the International Conference on Advanced Material Processing Technologies(AMPT01) Sep, Formability Enhancement in Magnesium alloy Deep Drawing by local heating and cooling technique, pp. 18-21,2001.
- [2] E. Doege and KdrOder, "Sheet Metal Forming of Magnesium wrought alloy formability and process Technology" J.of Materials processing Technology 115, pp.11-19,2001
- [3] D.M.Kang, et.al. "The Simulations of the Formability of AZ31 Magnesium alloy sheet in Warm deep drawing", J.of KSMPE, Vol.3 No.1, pp.52-58, 2004
- [4] D.M.Kang, et.al., "A study of the Formability alloy in Warm Temperature", J.of KSMPE, Vol.2 No.2, pp.84-90, 2003