

차체용 판넬의 프레스성형 특성에 대한 온도의존성

이항수#

Temperature Dependency of Press-working Property of Auto-body Panels in Warm Condition

H. S. Lee

1. 서 론

강판을 이용하여 제작되는 차량용 부품은 대개 스탬핑으로 대표되는 프레스가공에 의해 제조된다. 보통은 상온에서 가공되지만, 때에 따라서는 온간영역을 포함하여 다양한 온도에서의 성형성 관련 물성치에 대한 이해를 필요로 한다. 강판의 프레스성형에서 온도별 특성을 이해해야 하는 경우는 크게 두가지이다. 첫째는 금형과 펀치의 온도를 변화시켜 난가공품을 성형하는 적극적인 활용의 경우이며 또 한 경우는 성형 도중 금형에 집적된 열에 의한 영향을 분석하기 위해 필요하다.

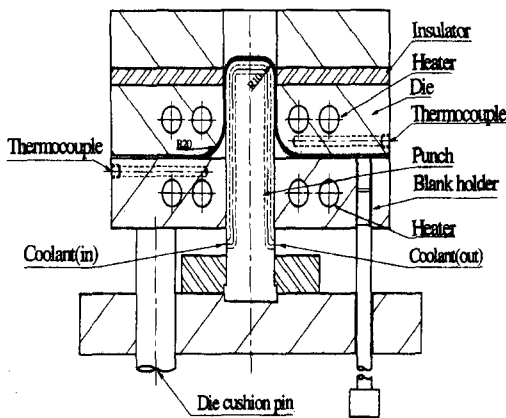


Fig. 1 Schematic view of warm drawing die

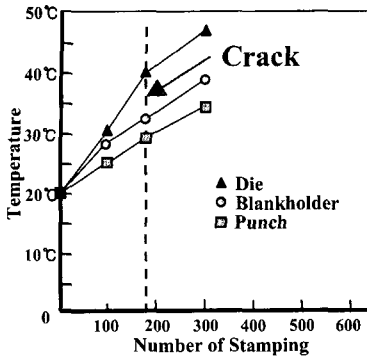
전자의 경우는 보통 온간성형법 또는 국부가열 냉각법으로 일컬어지며 지금까지 다양한 방법으로 연구되어 왔다[1~7]. 온간성형법은 Fig. 1과 같은 구조를 가진 금형의 각 부분에 히터 또는 냉각기구를 설치하여 위치마다의 온도를 별도로 조절하여 성형하는 방법으로 고난이도의 프레스 성형을 통한 제품의 고품질화를 이루는 공정이다. 이 경우 상온가공에서 나타나지 않는 재료의 온간특성을 고려하는 것이 필요할 것이다.

후자의 경우에는 보통의 스탬핑 공정에서 온도 변화가 수반되는 피동적인 경우이다[8]. 예를 들면, 대형 패널을 깊게 드로잉하는 경우에는 성형가공에 의해 발생하는 열이 금형 내에 축적되는데, 성형속도가 빠른 경우에는 금형 표면의 온도가 수십도 내지 수백도까지 상승할 가능성이 있다.

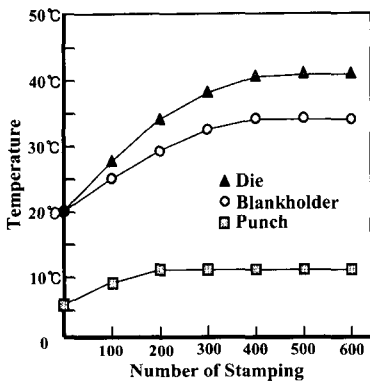
Fig. 2는 승용차의 차체부품 중 깊은 드로잉의 대표적인 제품인 트렁크플로어에 대하여 재료의 온도특성이 중요함을 보여 주는 그림이다[9]. 성형도중에 성형횟수에 따른 금형의 온도변화와 파단여부를 나타낸 그림으로, Fig. 2(a)는 성형열이 금형에 그대로 전달되어 300 회 성형 후 파단이 발생했음을 나타내고 있으며, Fig. 2(b)는 펀치부분을 냉각하여 지속적으로 생산이 가능한 상황을 나타내고 있다. 즉, 온도가 높은 금형에 접촉하는 소재판의 성형특성은 다른 부분과 달라지게 되며, 이로 인하여 제품성형이 곤란한 경우가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

따라서 본 고에서는 차체용으로 사용되는 대표적인 재료에 대하여 온간영역을 포함하여 다양한

교신저자: 한라대학교 기계자동차공학부
E-mail:hslee@hit.halla.ac.kr



(a) punch = no cooled



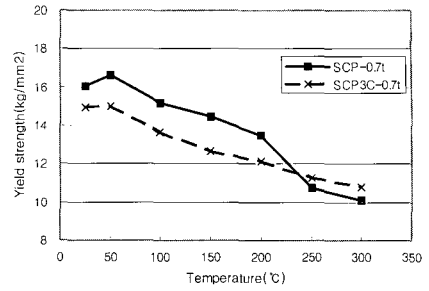
(b) punch = cooled

Fig. 2 Temperature variation of die components for trunk floor at two forming conditions

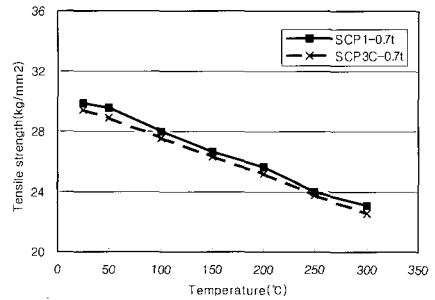
온도범위에서 변화하는 성형 관련 물성을 소개하여 연구자들로 하여금 이를 활용할 수 있도록 하고자 한다. 또한, 향후 예상되는 경량화 추세에 맞추어 경량신소재의 온간성형기술 동향을 소개한다.

2. 인장특성의 온도의존성

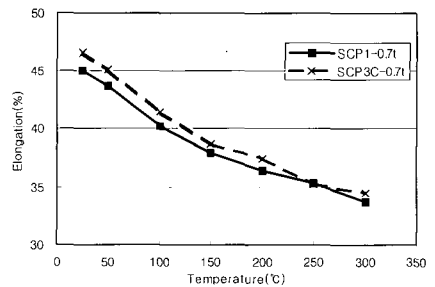
일반적으로 박판의 소성가공에서 중요한 변수로 생각되는 것에는 인장강도, 연신율 외에도 이방성계수 및 소성유동곡선이 있다. 인장강도 및 연신율은 변형의 한계를 결정짓는 요소가 되지만 이방성 및 가공경화를 나타내는 소성유동곡선은 재료의 변형거동을 예측할 수 있는 중요한 요소이다. 즉, 성형과정에서 찢어짐 등의 불량현상을



(a) Yield strength



(b) Tensile strength

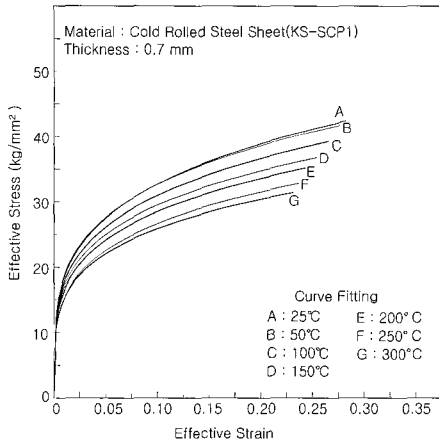


(c) Elongation

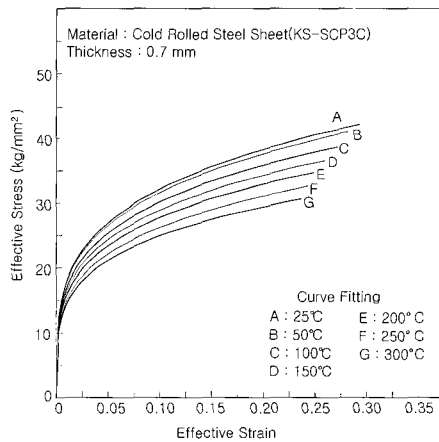
Fig. 3 The variation of tensile characteristics depend on temperature

분석할 수 있는 중요한 요소이며, 최근에 많이 이용되는 성형해석에서는 가장 기본적인 물성자료로 활용되고 있다. 그러므로 온도변화가 수반되거나 강제적인 온도변화를 유도하는 프레스성형에 대해서는 소재판의 온도변화에 따른 물성변화에 대하여 충분한 고찰이 이루어져야 한다.

강판재료의 온도변화에 따른 성형특성에 대해서는 많은 연구사례가 있다 [10~13]. 주로 재료의 변형에 따른 기계적 성질의 변화에 대한 조사로



(a) SCP1

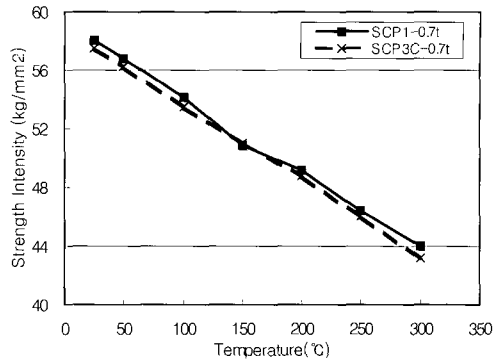


(b) SCP3C

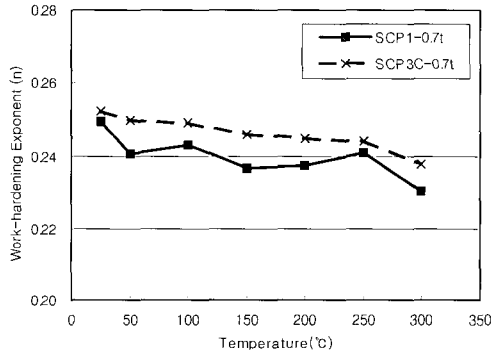
Fig. 4 Flow stress vs. effective strain relationship at various temperature

서, 비교적 저온영역에서 온도특성을 조사하였으며, 이때 발생하는 연신율 감소에 대한 조사내용이다.

본 해설에서 다음에 제시하는 데이터는 이들 결과 중에서 국내에서 많이 사용되는 차체용 강판에 대한 온간특성을 소개하는 것이다. KS 규격으로 0.7mm의 두께를 갖는 SCP1 종 및 SCP3C 종 강판에 대한 것으로서, 상온~300°C의 온도범위에서 소성유동곡선과 하여 연신율, 인장강도에 대한 자료를 제시한다[13].



(a) Strength intensity(K)



(b) Work-hardening exponent(n)

Fig. 5 The work-hardening characteristics of auto-body panel at various temperature

Fig. 3 은 KS 규격으로 SCP1 종 및 SCP3C 종에 대하여 저온부터 고온까지의 범위에서 인장시험한 결과를 보여주고 있는데, 인장강도, 항복강도, 연신율 모두 온도가 높아짐에 따라 줄어들고 있다. Fig. 4 는 이때의 가공경화 특성을 보여주고 있으며, 이를 멱경화식으로 표현했을 때의 강도계수와 가공경화지수 변화를 Fig. 5 에 나타내었다.

이러한 결과들은 프레스성형에 가장 많이 사용되는 소재의 온간 특성으로, 성형해석을 수행하거나 또는 제품설계 시 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

3. 성형한계도

성형한계도는 프레스성형에서 재료가 네킹이나 찢어짐이 없이 원하는 형상으로 만들어질 수 있

는 능력의 한계를 나타내는 것으로, 성형해석에서 결과물로 나타나는 변형정도로부터 과단 등을 판단하여 실제 제품화가 가능한 지를 평가하는 수단으로 활용된다. 보통의 프레스 성형은 상온가공이 많으므로 대부분은 상온에서의 역학적 현상에 의해 영향을 받고 있으나 앞에서 언급한 바와 같이 소재의 온도에 따라 달라지게 되는 경우에는 위치마다의 온도에 따른 재료의 성형특성을 고려하는 것이 필요하다.

성형한계도에 대한 개념은 Keeler 와 Bachofen[14]에 의해 제시된 이후 여러 방법을 통해 성형한계도가 완성되었으며, 이론연구에 의한 성형한계선의 계산결과들이 발표되었다[15~16]. 성형한계도를 이용하여 성형난이도를 평가하고 정량화시켜 자동차 차체의 개발에 활용한 사례도 있다[17].

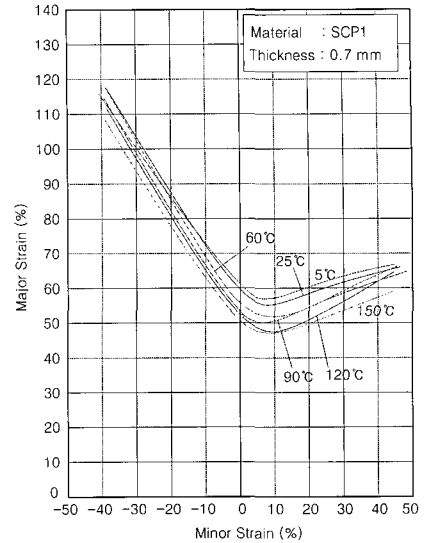
본 고에서는 온도 변화가 수반되는 프레스성형 및 온간성형 공정 개발을 위한 성형해석시에 변형상태로부터 성형의 난이도를 효과적으로 분석할 수 있도록 차체용 재료로 가장 많이 사용되는 재료인 0.7mm 두께의 SCP1 종 및 SCP3C 종에 대하여 온도별로 성형한계도를 제시한다[18].

Fig. 6 은 반구형 펀치를 이용한 스트래칭 시험으로부터 구해진 성형한계도를 종합적으로 정리하여 나타낸 그림이며, Fig. 7 은 Fig. 6 에서 최저 주변형률의 크기를 별도로 나타낸 그림이다. 이러한 결과들을 분석하면 성형한계선의 모양은 대체로 비슷하며, 온도의 변화에 따라 극점의 위치가 변하고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 온도가 낮을수록 성형한계선이 높게 위치해 있으며, 온도가 높아질수록 성형한계선의 위치가 낮아져서 성형성 측면에서 불리함을 예측할 수 있다. 성형한계선의 위치가 온도에 따라 변하는 것은 인장시험 결과 중 연신율이 온도에 의존하여 감소하는 것과 일치한다.

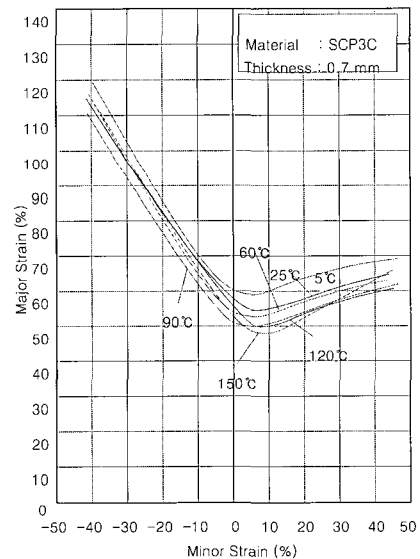
성형한계도는 금형의 시험작업(try-out)에서는 관심이 되는 부분의 변형률을 성형한계선과 비교함으로써 성형난이성을 정량화하고 작업조건을 개선하는데 활용할 수 있으며, 성형해석의 활용에는 성형과정의 매 순간마다 계산되는 변형률을 FLC와 비교함으로써 금형에서의 문제점을 사전에 파악하여 해결방안을 도모할 수 있을 것이다.

4. 온간성형의 향후 전망

최근에 이루어지는 온간물성 관련 연구는 주로



(a) SCP1



(b) SCP3C

Fig. 6 Forming limit curves for auto-body panel at the various temperature

알루미늄 또는 마그네슘 판재의 온간성형에 대한 내용으로 구성되어 있다[19~22]. 자동차의 경량화 추세에 부응하기 위한 연구로서, 높은 비강도를 갖는 신소재인 알루미늄과 마그네슘제에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 마그네슘제에 대해서

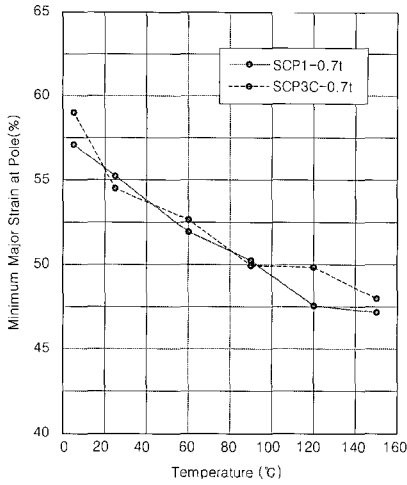


Fig. 7 The variation of minimum major strain of FLC along temperature

는 최근에 박판성형 연구자들에게 많은 관심을 갖게 하는데, 이는 상온에서는 성형이 전혀 불가능하고 250°C 이상의 온도에서만 실효성 있는 성형가공이 가능하기 때문이다.

실제로 마그네슘제는 비중이 1.7 정도로서 실용적으로 사용되는 금속중에서 가장 우수한 경량성을 가진 재료로서 높은 비강도를 갖는다. 그리고 방열특성이 우수하고 전차과 실드성이나 진동흡수성이 우수하여 휴대용 전자기기 재료로서 적합한 특성이 있다. 또한, 치수안정성 및 우수한 내찍힘성(denting resistance)은 자동차 차체부품으로서도 매우 우수한 재료적 특성을 갖는다. 다만, 상온성형이 불가능하고 상당히 높은 온간영역에서만 성형이 가능하므로 이에 대한 연구들이 다양하게 이루어지고 있다. 주로 재료의 결정구조가 조밀입방격자인 점에 의해 발생하는 문제점으로, 상온에서는 슬립면이 1 개(바닥면)이나, 가열하면 주면과 측면 등 3 개의 슬립면이 작용하여 가공이 가능하다는 점을 활용하고 있다. 즉, 소재를 가열하면 실용적인 성형범위의 연신율을 확보할 수 있다고 생각할 수 있다. Fig. 8 은 온도에 따른 인장시험 결과를 나타내고 있다[22]. 물론 재료 자체의 성형성만으로 제품화가 가능한 것은 아니다. 250°C 이상의 온도에서 성형하기 때문에 이러한 환경에서 수반되는 윤활의 문제가 큰 애로사항으로 대두되고 있어 일본 등지에서는 고온 윤활에 대한 연구가 진행중에 있다.

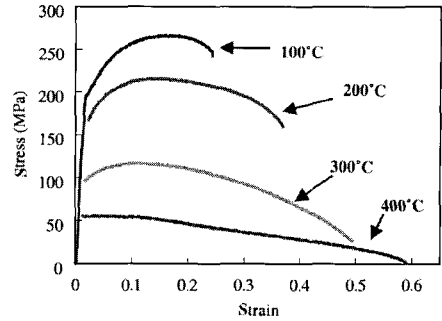


Fig. 8 Stress-strain relations of magnesium AZ31 sheet at elevated temperatures

5. 맺음말

프레스성형의 성패는 주로 피가공재의 재질적 특성이나 금형의 형상 및 가공조건에 기인한다. 보통의 스템핑은 상온가공이 많으므로 대부분은 상온에서의 역학적 현상에 의해 영향을 받는다. 그러나 온간성형 등 온도의 변화를 추구하는 성형법에서는 해당 온도 범위에서의 물성의 이해가 필요하다. 더구나 최근 새로운 시도가 많이 이루어지고 있는 마그네슘제의 프레스성형과 같이 난소성재의 가공을 위해서는 온간에서의 물성 이해가 필수적이라고 할 수 있다.

이러한 온간물성의 이해를 통해서 강판재의 제품개발에 대한 다양성을 확보할 수 있을 것이며, 알루미늄, 마그네슘 등과 같이 온간성형을 필요로 하는 경량 신소재에 대해서는, 요구되는 자동차의 경량화 추세에 따라 온간성형 및 제품화 개발에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 것으로 전망된다.

참고 문헌

- [1] J. O. Kumpulainen, A. J. Ranta-Eskola, R. H. O. Rintamaa, 1983, Effects of Temperature on Deep Drawing of Sheet Metals, J. Engineering Materials and Technology, Vol.105, pp. 119~127.
- [2] 渡部 豊臣, 1887, 局部加熱プレス成形における加熱装置と金型構造, プレス技術, Vol. 25, No. 9, pp. 64~70.
- [3] T. Ohwue, H. Takechi, Y. Furono, 1987, Deep Drawability of Square Shells in Warm Working

- Condition, Journal of JSTP, Vol. 28, No. 318, pp. 706~711.
- [4] H. Y. Ryu, Y. E. Kim, J. H. Kim, 2000, Investigation of Formability of Cylindrical Cups in Warm Drawing of Stainless-Aluminum Clad Sheet Metal, Trans. KSME(A), Vol. 24, No. 1, pp. 87~93.
- [5] H. Y. Ryu, Y. E. Kim, J. H. Kim, 2001, Improvement of Square Cup Drawability of Clad Sheet Metal by Warm Form Technique, Trans. of Material Processing, KSTP, Vol. 10, No. 3, pp. 253~260.
- [6] J. H. Kim, C. S. Choi, B. Y. Jeong, G. H. Lee, 1991, Deep Drawing of Stainless Steel in Warm Working Condition Using a Single Crank Press, Proc. 4th Int. Con. on Tech. of Plasticity, Beijing, China, pp.1691~1694.
- [7] C. S. Choi, Y. C. Choi, Y. K. Oh, H. S. Lee, 2000, Reduction of Drawing Process in Warm Forming Steel Sheets Using Oil Pan, Trans. of Material Processing, KSTP, Vol. 9, No. 7, pp. 699~705.
- [8] 이항수, 김충환, 전기찬, 김중재, 유동진, 1994, 금형재료의 열특성이 스탬핑에 미치는 영향, 박관성형기술의 진보, 한국소성가공학회 94 박관성형 심포지움, pp. 79~86.
- [9] C. S. Choi, Y. C. Choi, Y. K. Oh, J. W. Lee, H. S. Lee, 2001, Effect of Cold Forming Method on Drawability in Trunk Floor Panel, Trans. of Material Processing, KSTP, Vol. 10, No. 2, pp. 123~129.
- [10] T. Ohwue, H. Takechi, Y. Furono, 1987, Temperature Dependence of Tensile Properties and Drawability of Steel Sheets in Warm Working Condition, Journal of JSTP, Vol. 28, No. 314, pp. 225~231.
- [11] T. Ohwue, H. Takechi, Y. Furono, 1990, Temperature Dependency of Mechanical Properties of Steel Sheets and Its Application to Deep Drawing in Warm Working Condition, Advanced Tech. of Plasticity, Proc. 3rd Int. Conf. on Tech. of plasticity, pp. 1283~1288.
- [12] T. Ohwue, T. Katayama, M. Usuda, 1991, Formability of High Strength Steel Sheets in Warm Working Condition, IDDRG Working Group Meeting, Pisa, Italy, pp. 1~7.
- [13] H. S. Lee, Y. K. Oh, 2001, The Tensile Characteristics of Steel Sheets at Various Temperature Conditions, Trans. of Material Processing, KSTP, Vol. 10, No. 2, pp. 101~110.
- [14] S. P. Keeler, W. A. Bachofen, 1963, Plastic Instability and Fracture in Sheets Stretched over Rigid Punches, Trans. ASM, Vol. 56, pp. 25~48.
- [15] J. Lian, B. Baudelet, 1987, Forming Limit Diagram of Sheet Metal in the Negative Minor Strain Region, Materials Science and Engineering, Vol.86, pp. 137~144.
- [16] C. H. Toh, 1989, Prediction of the Forming Limit Curves of Sheet Materials Using the Rigid-plastic Finite Element Method, Int. J. Mech. Sci., Vol.29, No.3, pp. 333~343.
- [17] 전기찬, 유동진, 이정우, 1989, 자동차 차체판넬의 개발에 있어서 변형측정법 및 성형한계도의 이용, 한국자동차공학회지, Vol. 2, pp. 7~13.
- [18] H. S. Lee, 2000, Study on the Forming Limit Diagram of Steel Sheets for the Automotive Body Panels at Various Temperature, Trans. of Material Processing, KSTP, Vol. 9, No. 7, pp. 746~753.
- [19] L. Gaines, R. Cuenca, F. Stodolsky, S. Wu, 1996, Potential Automotive Uses of Wrought Magnesium Alloys, Proc. of Automotive Technology Development Conference, Detroit, USA.
- [20] K. Droder and St. Janssen, 1999, Forming of Magnesium Alloys: A Solution for Light Weight Construction, Proc. of SAE Conference
- [21] Paul E. Krajewski, 2001, Elevated Temperature Forming of Sheet Magnesium Alloys, Proc. of SAE Conference.
- [22] F. Chen, T. Huang, 2003, Formability of Stamping Magnesium-alloy AZ31 Sheets, Journal of Materials Processing Technology Vol. 142, pp. 643~647.