

다이의 미세정렬을 통한 전단 버의 최소화에 관한 연구

홍남표*, 신용승*, 신흥규#, 김현영**, 김병희**

A Study on the Burr Minimization in Punching Process Based on Micro Die Alignment

Nam Pyo Hong*, Yong Seung Shin*, Hong Gue Shin#, Heon Young Kim** and Byeong Hee Kim**

ABSTRACT

The shearing process for the sheet metal is normally used in the precision elements such as a lead frame of IC chips. In these precision elements, the burr formation brings a bad effect on the system assembly and demands the additional deburring process. In this paper, we developed the small size precision punching system to investigate burr formation mechanism and to present kinematically punch-die aligning methodology between the rectangular shaped punch and die. The punch is driven by an air cylinder and the sheet metal is moving on the X-Y table system which is driven by two stepping motors. The whole system is controlled by microprocessor and is communicated with each other by RS232C serial communication protocol. Punching results are measured manually using the SEM photographs and are compared aligning result with miss aligning one.

Key Words : Punching(펀칭), Burr(버), Precision punching system(정밀펀칭시스템), die alignment(금형정렬)

1. 서론

버(burr)란 절삭가공이나 전단가공에 있어 소성 변형에 의하여 피가공물의 가장자리(edge)부에 발생하는 작은 윤기모양의 돌출부를 말한다. 특히, 펀칭(punching), 블랭킹(blanking), 피어싱(piercing) 등의 공정을 포함하는 박판 전단 가공 시 발생하는 버는 요구되어 지는 제품의 특성에 따라 조립 및 형상 정밀도에 큰 영향을 준다.

20세기 후반, 산업의 비약적인 발달과 함께 제

품의 소형화 현상이 두드러지게 나타났으며 이러한 현상은 제품을 구성하는 부품의 소형 정밀화를 가져왔다. 전단 시 피가공재의 가장자리에 발생한 버는 제품의 조립 생산에 있어 그 영향이 타공정에 비하여 크다. 그러므로 전단가공 후 발생한 버를 제거하기 위한 후 가공이 필수적이며, 이로 인한 비용의 증대가 초래된다. 그러나 전단가공에 의하여 버가 없는 작고 미세한 정밀부품을 생산하는 것은 거의 불가능하므로, 적용되는 부품에 따라 조립 및 형상정밀도에 영향을 주지 않는 범위 내에서 버의 형상 및 크기를 결정해야 한다.

접수일: 2003년 11월 3일; 게재승인일: 2004년 4월 9일
* 강원대학교 기계-메카트로닉스공학과 대학원
교신저자: 강원대학교 메카트로닉스공학과 대학원
E-mail rushhong@hotmail.com Tel. (033) 244-8910
** 강원대학교 기계-메카트로닉스공학부

전단공정에 있어 버 발생과 전단면 형상에 영향을 주는 인자로는 펀치와 다이(die)의 클리어런스(clearance), 펀칭속도, 전단재료의 특성, 전단날의 마모 정도, 전단시 상/하 홀더의 유무 등이 있다.

정밀 전단에 대한 선행 연구를 살펴보면 Chang¹ 등은 전단 클리어런스와 전단날의 날카로운 정도가 전단에 미치는 영향을 밝혔으며, Johnson과 Slater²는 블랭킹에 있어 펀치속도에 대한 변형률속도의 영향과 온도가 전단에 미치는 영향 등을 포괄적으로 연구하였다.

그 밖에 Holiga, Atkin, Choy와 Balendra, Zhou와 Wierzbicki, Taupin 등에 의해 전단공정에 미치는 각 인자들에 대한 연구가 수행되었다.³⁻⁷ 또한 Jeong, Breitling, Stegeman, Ko, Taupin 등에 의하여 유한요소법을 이용한 해석적 방법으로 전단 특성을 평가하기 위한 연구가 수행되어졌다.⁸⁻¹¹ 그리고 최근 반도체 리드 프레임(lead-frame), FPC (Flat Printed Circuit) 커넥터(connector), 기타 소형 정밀부품 등을 생산하기 위해 두께가 얇은 박판에 대한 정밀 전단이 요구됨에 따라 마이크로 단위의 얇은 박판에 대한 연구가 Lee, Ming Li, Goijaerts¹²⁻¹⁵ 등에 의해 수행되어졌다.

그런데 수 mm에서 수 μm 의 미세 정밀 제품을 펀칭하기 위한 기구에서는 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트(alignment)에 따라 가공 품질이 변할 뿐만 아니라 펀치와 다이의 간섭에 의한 공구의 손상 및 망실의 우려가 있기 때문에 펀칭 공정 내에서 양자간의 얼라인먼트를 능동적으로 조절해야만 한다. 이를 위해서는 펀칭 작업을 수행하기 전에 펀치와 다이 사이의 간극에 대한 계측을 통한 보정을 수행하거나 예비 펀칭 작업 후 그 결과물을 토대로 하여 얼라인먼트를 조절해야만 한다.

본 연구에서는 X-Y 테이블 및 스텝모터를 이용하여 미세 이송이 가능한 다이와 박판 재료의 평면 이송 시스템을 구비한 수치제어형 자동 펀칭 시스템을 제작하였다. 다이에 장착된 X-Y 테이블은 스텝모터 제어에 의하여 $1\mu\text{m}$ 의 수치정밀도를 가지며, 초기 박판 펀칭을 수행한 후 버 형상을 측정하고 이를 바탕으로 다이의 미세 위치 조절을 통하여 버의 형성이 최소가 되는 펀치와 다이의 클리어런스 및 얼라인먼트를 결정하게 되며, 얼라인먼트 조절 후 공압에 의하여 펀칭시스템이 구동하는 방식을 채택함으로써, 미세 구멍 가공에서 가장 큰 문제로 남아 있는 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트 문

제를 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 정밀 펀칭 시스템 설계

2.1 개념설계

현재의 산업은 전자공학 분야의 비약적인 발전으로 모든 제품들이 소형 경량화 추세에 있다. 제품의 소형화는 그 제품을 구성하는 부품의 소형화로 직결되며, 특히 미세 전자부품들 중에서 반도체 리드 프레임(lead frame)과 같이 전류를 흐르게 하는 도체부품이나 기계적인 동작을 수행하는 많은 부품들이 전단이나 스탬핑에 의하여 제작되어진다.

또한 전단시 발생하는 버는 제품의 조립 정밀도에 큰 영향을 끼칠 뿐만 아니라 최종 제품의 형상 정밀도에도 영향을 준다. 그러나 이러한 버를 완전히 제거하기란 현실적으로 불가능하다.

본 연구에서는 발생한 버의 크기를 최소화하는 것이 궁극적인 목적이며, 이를 위하여 정밀전단 시스템을 제작하였다. 자체 설계/제작한 정밀 펀칭 시스템은 기본적으로 $3 \times 3\text{mm}$ 의 사각형 홀을 펀칭할 수 있게 하였으며, 펀치와 다이를 교체함으로써 원형, 타원형, 직사각형 등 다양한 모양의 제품을 펀칭할 수 있도록 하였다. Fig. 1은 펀칭기구의 핵심부위 중에 하나인 펀칭 헤드부에 대한 구성부품들을 나타내고 있으며, Fig. 2는 공압에 의한 펀칭원리를 나타낸다. 에어 실린더(air cylinder)의 압력에 의한 셀렉트바(select bar)의 수평운동이 펀치의 수직운동을 야기하여 피가공재를 펀칭하게 된다. Fig. 3은 설계 완료된 펀칭 시스템을 나타낸다. 펀칭 스트로크는 10mm 이며, 에어실린더의 사용압력은 약 $4.1 \sim 10.2 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, 사용한 고정 공압은 8bar 에서 수행하였다.

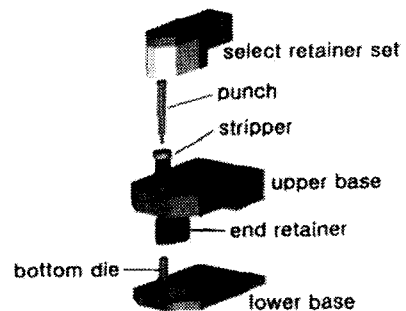


Fig. 1 Punching tool assembly

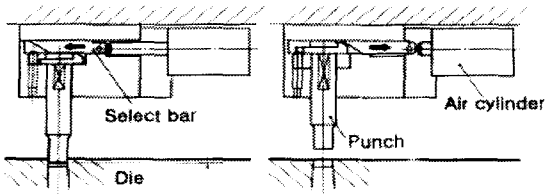


Fig. 2 Schematic views of punching operation

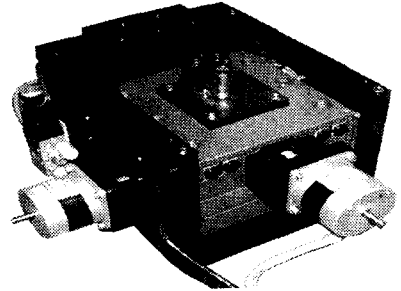


Fig. 4 Precision X-Y table

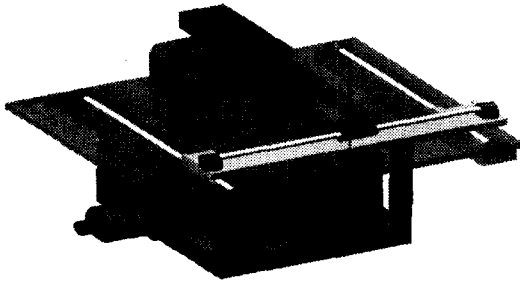


Fig. 3 Conceptual design of precision punching system

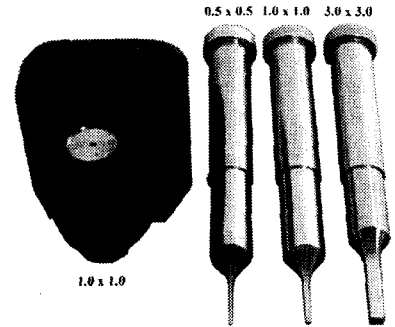


Fig. 5 Die and square punches

2.2 전단 얼라인먼트 조절

전단가공 중 펀칭가공은 닫힌 경로상태로 전단이 수행되기 때문에 펀치와 다이 사이의 클리어런스는 설계과정에서 임의적으로 결정되어버린다. 그러나 미리 결정 되어버린 클리어런스 내에서도 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트에 의해 각 방향별로 서로 다른 클리어런스가 형성되어 가공면의 불균일이 초래된다. 특히, 펀치의 크기가 수 mm 이하의 단위로 감소하게 되면 얼라인먼트의 중요성은 계측 및 보정에 있어서의 어려움과 더불어 크게 증가하게 된다.

본 연구에서는 다이와 펀치사이의 정밀 얼라인먼트를 위하여 위치정밀도 1 μ m의 X-Y 테이블과 스테핑 모터를 사용한 서보 시스템을 구축하였다. 또한 초기 펀치와 다이의 홀 위치를 결정한 후 전기적 신호에 의하여 펀치와 다이 사이의 클리어런스 및 얼라인먼트를 조절하였다.

즉 정밀전단 시스템 설계시 하부 금형과 베이스 사이에 전기적 절연물질을 사용하여 절연시킨 후 스테핑 모터에 의한 X-Y 테이블의 상/하, 좌/우 이동으로 펀치와 다이의 접촉 시 발생하는 전기적 신호를 외부 제어 시스템에서 인식하고, 이를 피드백

(feedback)하여 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트를 조절하게 된다. Fig. 4는 정밀 이송 X-Y 테이블을 보여준다.

2.3 전단시스템 제작

가로/세로 0.5, 1.0, 3.0mm 등의 표준품으로 생산되는 펀치는 Fig. 1에 도시된 바와 같이 공압 실린더로 구동되는 셀렉트 리테이너 세트에 장착되어 크기의 교체가 가능하고 다양한 단면형상을 펀칭할 수 있게 설계되었다. 또한 펀치의 선단부에는 박판소재 펀칭시 홀딩(holding)하기 위한 스트리퍼를 설치하였다. 또한 다이는 엔드 리테이너 내에 설치되는데, 본 연구에서는 전단가공시 펀치와 다이의 얼라인먼트 조절 및 발생하는 버 형성특성을 고찰하기 위하여 선단부 펀치크기를 3 \times 3mm로 선정하였다.

Fig. 5는 적용된 펀치와 엔드 리테이너 내에 설치된 하형 금형을 나타낸다. 가공 대상물인 박판을 2차원 평면 내에서 자동으로 이동하기 위하여 Fig. 3에서와 같이 리니어 가이드와 스테핑모터 및 타이

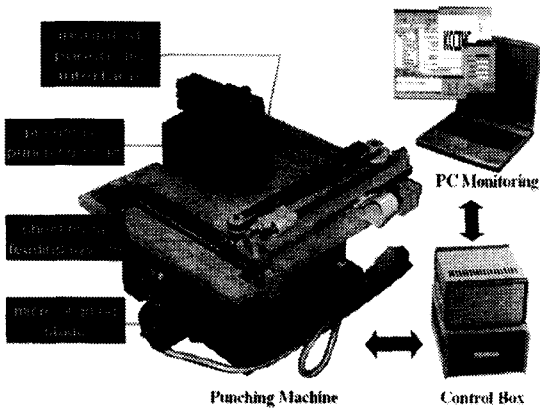


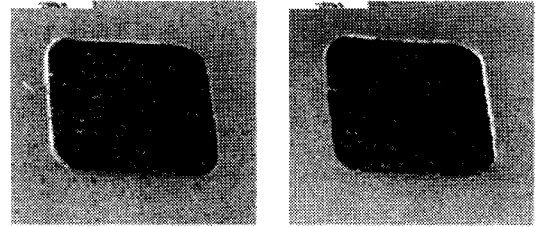
Fig. 6 Precision punching system

딩 벨트 구동 시스템을 사용한 이송계를 구축하였다. 평면 이송 시스템은 최초 작동 시 2개의 포토커플러를 사용하여 원점을 확인한 후 작동을 개시하며, 하나의 작업 단위가 종료되면 자동적으로 원점으로 복귀하도록 프로그램이 되어 있기 때문에 비록, 이송계가 개루프 제어로 구동되지만 원점을 잃어 오작동을 하는 경우는 거의 발생하지 않는다. 스텝핑 모터의 구동력을 증가시키기 위하여 감속기가 채용되었으며, 모터의 반대편에는 아이들 축이 설치되어 타이밍 벨트를 지지하고 있다. y축의 가이드를 위해서는 한 쌍의 리니어 가이드가 사용되었고, x축에는 박판 부재를 고정하기 위한 클램프가 설치되었다.

본 연구를 위해 제작된 정밀 펀칭 시스템은 독립형 마이크로프로세서에 의하여 구동 및 작동상태가 모니터링 되며, RS232C 시리얼통신을 사용하여 제어값과 모니터링 결과가 PC로 전송된다. Fig. 6은 실제로 구축된 시스템의 외형을 보여주고 있다. X-Y 방향으로 구동되는 클램프는 테이블 상에서 박판 소재를 가공위치로 이송하며 해당 가공위치에서 펀칭작업이 수행된다.

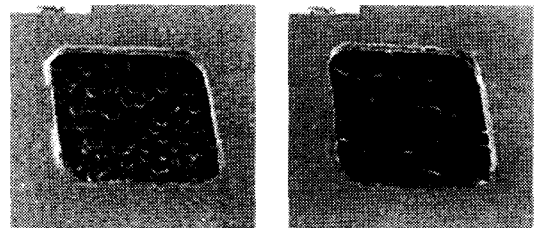
3. 실험 결과 및 고찰

자체 제작한 정밀 펀칭 시스템을 이용하여 두께 0.1mm의 동판과 0.2mm의 알루미늄 판을 펀칭하였다. 본 실험에 사용된 펀치와 다이의 크기는 각각 3×3mm와 3.03×3.03mm로 펀치와 다이의 얼라인먼트



(a) miss-alignment (b) alignment

Fig. 7 SEM micrographs of brass sheet punching



(a) miss-alignment (b) alignment

Fig. 8 SEM micrographs of aluminum sheet punching

트가 정확하게 맞는 경우 공칭 간극은 15 μ m가 된다. 선행연구자들로부터 알려진 버 크기를 무시할 수 있는 전단 클리어런스는 피가공재 두께의 10% 이내이어야 한다고 알려져 있다. 그러나 본 실험에는 전단 클리어런스를 고정하고 실험을 수행하였다. Fig. 7, 8은 동판과 알루미늄 판에 대하여 펀칭 실험 결과를 SEM 촬영한 사진이다.

Fig. 7, 8의 (a)는 얼라인먼트 조절 전 펀치와 다이의 초기 위치에 대한 펀칭 결과이다. 사진에서 보는바와 같이 좌측 및 하단 부분의 전단면에서 버가 발생한 것을 볼 수 있다. 이것은 다이가 펀치를 기준으로 좌측 아래 방향으로 치우쳐져 있음을 의미한다. 버의 크기를 측정하면 47 μ m이며, Table 2의 값을 적용하여 미세조정 X-Y테이블을 편형량 3 μ m 만큼 우측 및 방향으로 이동시켜 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트를 조절하였다. Fig. 7, 8의 (b)는 얼라인먼트 조절 후 펀칭한 결과를 SEM 촬영한 사진이다. 사진에서와 같이 거의 버가 없는 깨끗한 전단면을 얻을 수 있었다. Fig. 7, 8의 (b)경우가 (a)에 비하여 버 발생이 줄었거나 혹은 그 크기가 작아졌을 뿐 버가 발생하지 않는 완전한 전단을 얻는

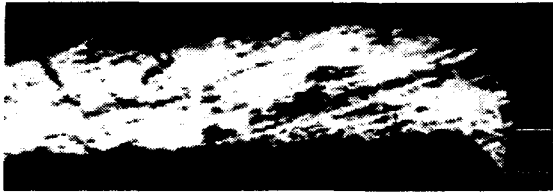


Fig. 9 The optic microscope photograph of aluminum sheet metal after molding process

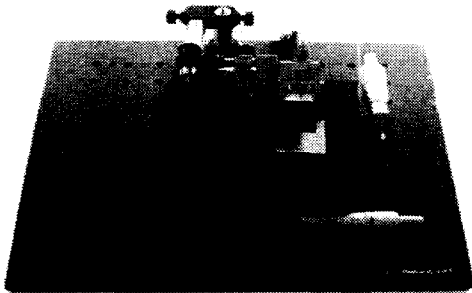
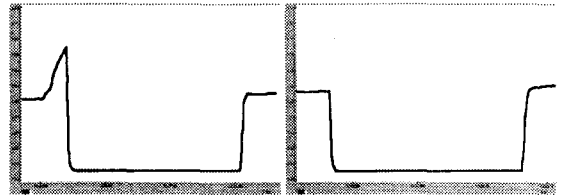


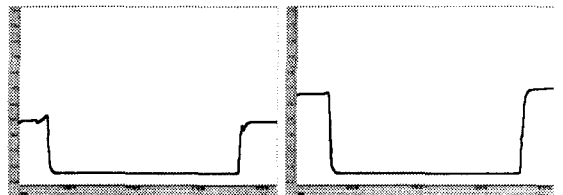
Fig. 10 Burr measurement system using the laser

것은 현실적으로 매우 어려웠다. 또한 버 발생에 있어 광학 현미경을 이용하여 Fig. 9와 같이 그 형상을 측정하여 자체 이미지 프로세서로 결과를 분석하였으며, 분석된 결과를 전단공정에 반영하여 버 발생을 최소화하였다. 그리고 Fig. 10은 KEYENCE 레이저 측정 시스템을 이용한 버 측정 장치이며, 이를 사용하여 펀칭된 동판, 알루미늄 판의 버를 측정하였다. 그 결과는 D-Lab 프로그램을 이용하여 Fig. 11, Fig. 12의 (a), (b)와 같이 나타냈다. 특히 Fig. 11(a)의 경우 좌측 부분이 우측 부분에 비해 현저히 높게 측정되었음을 알 수 있었다. 이것은 펀치와 다이의 얼라인먼트가 되지 않은 상태이다. Fig. 11(b)의 경우는 펀치와 다이가 정렬된 상태로 좌우측 버의 높이 차가 거의 존재하지 않는다. 이 결과로 펀치와 다이의 얼라인먼트가 중요함을 알 수 있었다. 또한 Table 1 과 같이 KEYENCE 장비를 이용하여 자체 개발한 측정 시스템과 검증된 PSD 레이저 측정기, 광학 현미경을 이용하여 버의 크기를 측정하였으며, 검증된 레이저의 측정기에 비해 자체 개발한 측정 시스템의 오차율은 10%, 광학 현미경과는 약 8%의 오차율이 나타났다. 또한, 재료, 클리어런스 각각의 실험을 통하여 우측 버와 좌측 버의 차이가 Table 2와 같음을 알 수 있



(a) miss alignment (b) alignment

Fig. 11 Measurement of brass sheet punching using laser



(a) miss alignment (b) alignment

Fig. 12 Measurement of aluminum sheet punching using laser

Table 1 Compensation data of burr size in accordance with measurement devices unit(μm)

Sample NO.	#1	#2	#3	#4	#5	average
KEYENCE	15	16	14	18	23	17.2
PSD(Position Sensitivity Detector)	21	25	20	21	25	21.8
optical microscope	27.5	12.2	15	24.7	23.6	20.6

Table 2 Compensation data with respect the height difference

difference of burr size between left and right	compensation value
0 ~ 15 μm	1 μm
15 ~ 30 μm	2 μm
30 ~ 55 μm	3 μm
55 ~ 80 μm	4 μm
80 ~ 100 μm	5 μm
100 ~ μm	over 5 μm

었다. Table 2를 이용, 우측 버와 좌측 버의 편형량을 X-Y 테이블에 적용 하였다. 그러므로 향후 수행 되어질 연구에서는 전단 공정에 있어서, 모든 데이터를 피드백(feedback)하여 자동 얼라인먼트가 수행 되어질 수 있는 Inprocess control type의 정밀 편칭 시스템을 구성할 계획이다.

4. 결론

본 연구에서는 박판의 미세 편칭 가공시 발생하는 버 형상 및 이를 최소화하기 위한 방법을 연구 하기 위하여 정밀 편칭 시스템을 제작하였다. 제작 된 편칭기구를 이용하여 두께가 얇은 동판과 알루미늄 판을 편칭하고, 발생한 버의 형상을 관찰하여 얼라인먼트의 편형량을 예측하고 이를 토대로 편치와 다이 사이의 편칭 얼라인먼트를 조절하였다. 또한 초기 상태의 편칭 결과와 정밀 편칭 시스템에 의한 얼라인먼트 조절 후의 결과를 비교함으로써 정밀 편칭 시스템의 유용성을 검증하였다.

참고문헌

1. Chang, T. M., Swift, H. W., "Shearing of Metal bars," J. of the Inst. of Met., Vol. 78, pp. 393, 1950.
2. Johnson, W., Slater, RAC., "Survey of slow and fast blanking of metals at ambient and high temperatures," Proceedings of the international Conference of Manufacturing Technology CIRP-ASTME, pp.825, 1967.
3. Holiga, L.A., "Punch to die clearance," ASTME 33rd Annual meeting, 65(2), 1965.
4. Atkins, A.G., "On cropping and related process," International Journal of Mechanical Sciences 22, pp.215, 1980.
5. Choy, C.M., Balendra, R., "Experimental analysis of parameters influencing sheared-edge profiles," Proceedings of the 4th international conference on sheet metal, pp. 101-110, 1996.
6. Zhou, Q., Wierzbicki, T., "A tension zone model of blanking and tearing of ductile metal plates," International Journal of Mechanical Science Vol. 38. No. 3, pp. 303-324, 1996.

7. Taupin, E., Breitling, J., Wu, W.T. and Altan, T., "Material fracture and burr formation in blanking results of FE simulations and comparison with experiments," Journal of Materials Processing Technology 59, pp. 68-78,1996.
8. Jeong, S.H., "A study in shearing mechanism by FEM," MS Thesis, Seoul National University, Korea, 1996.
9. Breitling, J., Pfeiffer, B., Altan, T. and Siegert, Klaus, "Process control in blanking," Journal of Materials Processing Technology 71, pp. 187-192, 1997.
10. Stegeman, Y.W., Goijaerts, A.M., Brokken, D., Brekelmans, W.A.M., Govaert, L.E. and Baaijens, F.P.T., "An experimental and numerical study of a planer blanking process," Journal of Materials Processing Technology 87, pp. 266-276, 1999.
11. Ko, D.C., Kim, B.M., Choi, J.C., "Finite-element simulation of the shear process using the element-kill method," Journal of Materials Processing Technology 72, pp. 129-140, 1997.
12. Lee, W.B., Cheung, C.F., Chan, L.K., Chiu, W.M., "An investigation of process parameters in the dam-bar cutting of integrated circuit packages ," Journal of Materials Processing Technology 66, pp. 63-72, 1997.
13. Li, Ming., "An experimental investigation on cut surface and burr in trimming aluminum automotive sheet," International Journal of Mechanical Science 42, pp. 889-906, 2000.
14. Li, Ming., "Micromechanisms of deformation and fracture in shearing aluminum alloy sheet," International Journal of Mechanical Science 42, pp. 907-923, 2000.
15. Goijaerts, A.M., Govaert, L.E., Baaijens, F.P.T., "Evaluation of ductile fracture models for different metals in blanking," Journal of Material Processing Technology 100, pp.312-323, 2001.