

미세박판의 전단 특성

- 김 현 영 ■ 강원대학교 기계메카트로닉스공학부, 교수
e-mail : khy@kangwon.ac.kr
- 김 병 희 ■ 강원대학교 기계메카트로닉스공학부, 교수
e-mail : kbh@kangwon.ac.kr

이 글에서는 미세박판의 전단가공시 발생하는 특성에 관하여 알아보고, 박판 가공의 중요 결함인 버의 발생 기구를 고찰하고 그 억제책 및 측정법 등에 관하여 소개한다.

전 단이란 펀치와 다이 사이에 피가공물을 위치시키고 펀치 혹은 다이에 하중을 가하여 피가공물을 특정형상으로 절단하는 가공법을 총칭한다. 펀칭, 블랭킹, 트리밍 등을 포함하는 전단공정은 박판 전단에 있어 가장 널리 사용되고 있는 공법으로 주조, 단조, 기계가공 등에 비하여 요구하는 형상가공이 쉽고 빠르며, 경제적이다. 반면 전단시 발생하는 버(burr)와 거친 전단면은 요구되

는 제품의 특성에 따라 조립 및 형상 정밀도에 영향을 준다. 버란 절삭가공이나 전단가공에 있어 소성변형에 의하여 피가공물의 가장자리부에 발생하는 작은 용기모양의 돌출부를 말한다.

20세기 후반에 이르러 산업의 비약적인 발달과 함께 모든 제품의 소형화, 경량화 및 정밀화 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 제품의 소형 정밀화는 그 제품을 구성하는 부품의 소형화로 연결

되며, 작고 미세한 정밀부품의 생산에 있어 전단공정은 많은 문제점을 발생시키고 있다. 특히 수 mm에서 수 mm 크기의 미세한 정밀부품 전단시 발생하는 버의 영향은 타 공정에 비하여 매우 크다고 말할 수 있다. 일반적으로 박판의 전단가공 후 발생하는 버를 제거하기 위해서는 연삭, 래핑, 폴리싱 등 후가공이 필수적이며, 이는 결과적으로 비용의 증대와 형상정밀도의 저하를 초래한

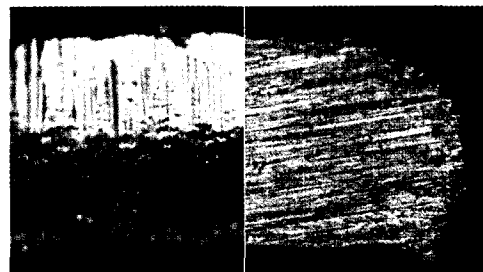
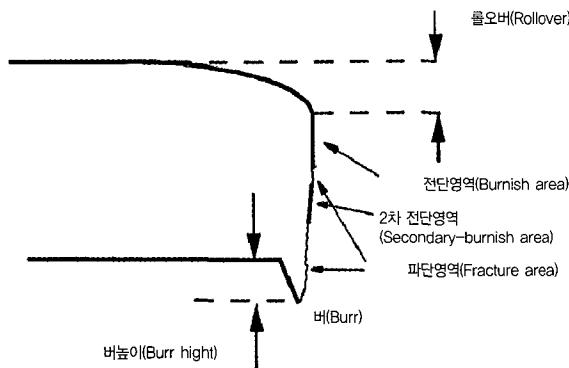


그림 1 박판 전단시 발생하는 전단면 형상

다. 한편 박판 전단가공 시 버가 없는 정밀부품을 생산하는 것은 거의 불가능하므로, 적용되는 부품에 따라 조립 및 형상정밀도에 영향을 주지 않는 범위 내에서 버의 형상 및 크기를 조절할 필요가 있다.

전단면의 형상

전단가공에 의한 박판의 변형은 펀치와 다이 사이의 매우 좁은 영역에 국한되어 큰 비탄성 변형 (large inelastic deformation)이

국부적으로 일어난다. 따라서 전단금형에 의한 박판의 가공변형에 의하여 전단면의 형상은 크게 롤오버, 전단영역, 파단영역, 버 등의 네 가지 형태로 구분된다. 그러나 이상적인 전단에서는 롤오버, 전단영역, 버 등이 존재하지 않고 오직 전단영역만 존재하는 완전전단이 발생하게 되는데 박판전단의 경우 완전전단의 구현은 현실적으로 매우 어렵다. 롤오버는 전단공정의 초기단계에 전단면의 상부에 발생하는 현상으로 펀치와 다이의 전단하중에 의해 피가공물에 발생하는 탄소성 변형이다. 전단영역은 전단금형과 피가공물 사이의 실질적인 전단이 발생하는 부위로 금형과 피가공물 사이의 마찰로 전단면에 광택이 발생한

다. 파단영역은 전단영역 이후 전단 되는 피가공물 사이에 인장력이 발생하여 재료가 뜯어지는 영역을 말하며, 전단면이 거칠다. 버는 전단의 마지막 단계에서 피가공물의 탄소성 변형에 의하여 발생하며, 정밀 부품의 조립생산에 많은 문제를 발생시킨다.

전단 영향 인자

전단공정에 있어 버 발생과 전단면 형상에 영향을 주는 인자는 펀치와 다이의 간극, 펀칭속도, 전단소재의 기계적 성질, 전단날의 마모, 전단각, 펀치-다이의 상·하 정렬, 하부 다이 유무 등이 있다. 다음은 정밀 전단에 영향이 큰 몇 가지 인자들에 대하여 정리한 것이다.

펀치-다이 간극

일반적으로 전단에 있어서 전단면의 형상에 가장 큰 영향을 주는 인자가 펀치-다이 간극이다. 펀치-다이 간극이 커질수록 전단력과 전단에너지는 감소한다. 또한 펀치-다이 간극이 증가하면 롤오버, 파단영역 및 파단각, 파단깊이, 버높이, 전단면 거칠기 등이 증가한다. 반면 전단영역은 감소한다. 그리고 매우 작은 펀치-다이 간극에서는 2차 전단영역이 나타나는데, 이것은 펀치의 침입에 의해 발행한 크랙 전파와 다이의 침입에 의해 발생한 크랙 전파가 전단시 서로 만나지 않음으로서 발생한다. 또한 펀치-다이 간극은 전단력에도 영향을 끼치는데, 전단 간극이 감소하면 전

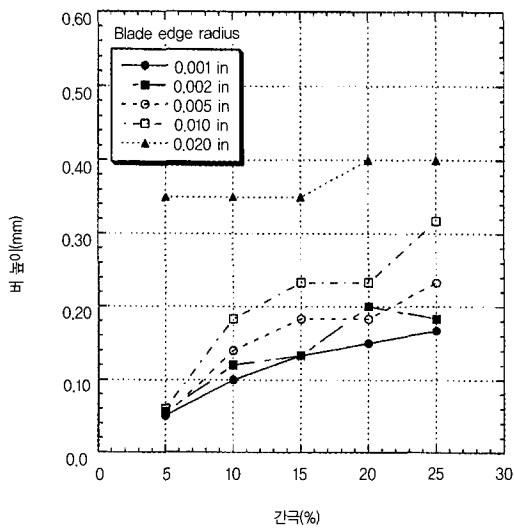


그림 2 간극 변화에 따른 버 높이 : 전단각 0°

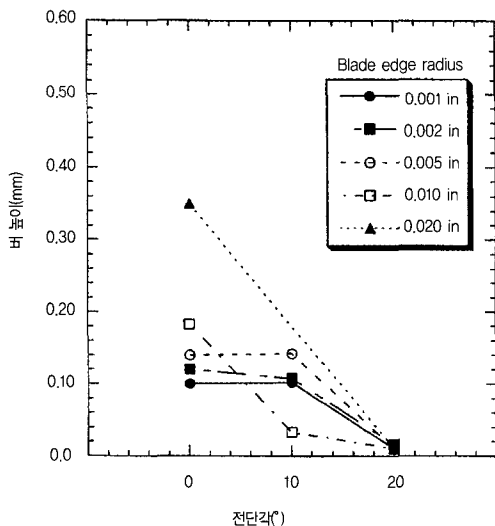


그림 3 전단각에 따른 버 높이 : 전단간극 10%

단력은 다소 증가하는 경향을 보인다.

전단날 마모 및 전단각

전단가공은 한 벌의 공구를 사용하여 재료를 끼워 넣어 전단 변형 시켜서 절단 분리하는 것이나, 기본적인 가공기구는 파괴에 의한 가공이다. 통상의 관용전단에서 재료에 부가된 구속조건은 상·하의 공구날을 제외하고는 거의 없고, 비교적 주위에서 현상을 제어하기 어렵다. 따라서 전단날의 마모 정도가 전단면의 형상에 큰 영향을 준다. 즉 전단날이 마모되어 그 예리함이 감소하면 버크기, 전단면의 거칠기와 전단영역은 증가하나 파단영역은 감소한다. 또한 전단면도 매우 불균일하게 나타난다.

전단소재의 기계적 성질

미세 전단에 있어서 버 없는 깨끗한 전단면을 얻기 위해 전단할 재료의 기계적 성질도 중요한 요소가 된다. 전단은 전단 소재에 대하여 펀치와 다이의 완전한 침범에 의하여 발생하는 것이 아니다. 전단재료의 두께, 기계적 성질, 기타 정밀전단에 영향을 끼치는 인자 등에 따라 다소 차이는 있겠지만 두께의 1/2 정도 침입이 일어나면 전단이 발생하게 된다. 따라서 전단은 고강도 강판일수록 보다 적은 펀치-다이 침입으로 파단이 발생하여 전단영역은 좁아지고 파단영역은 넓어지는 경향이 있다. 또한 연질의 강판에 비하여 롤오버와 버의 크기가 작아진다.

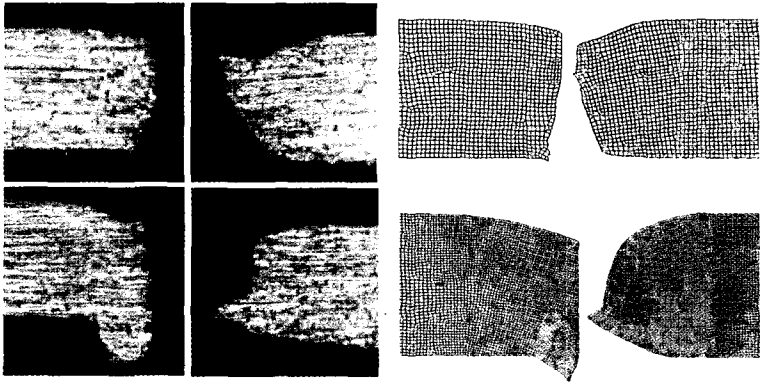


그림 4 하부홀더 유(그림 상), 무(그림 하)에 따른 버

하부 홀더의 유무

미세박판의 전단시 하부 홀더의 유·무는 전단 완료 후 버의 형상에 큰 영향을 준다. 하부 홀더의 부재로 전단순간 소재에 처짐현상이 나타나고, 이로 인하여 전단부위에 굽힘이 발생하게 된다. 그리고 마지막으로 국부적인 전단부에서 “part”와 “scrap” 사이에 인장 응력의 증가로 버가 생성된다. 그러나 이때 발생한 버를 살펴보면 “part” 부분에는 전단면의 수직인 방향으로 버가 생성되고 “scrap” 부분은 상부홀더의 누름 저항에 의해 전단면에 수평인 방향으로 버가 발생한다. 기타 펀치의 전단속도는 재료의 전단면에는 큰 영향을 끼치지 않지만, 펀치 속도가 증가하면 재료에 대한 충격 하중, 전단 및 파단에 대한 재료의 저항, 변형률 속도 등이 증가한다.

버 억제 및 측정 기법

전단 가공시 발생하는 버는 전단가공이 시작된 이래 많은 문제

를 발생시켜 왔으며, 이에 대한 문제는 현재까지도 계속되고 있다. 최근 들어 버 발생에 따른 문제점은 오히려 증가하여 대부분의 정밀 전단제품의 품질 규정에는 버에 대한 항목이 삽입되어 있다. 수 mm의 정밀 전자부품에 요구되는 버의 크기는 수 mm에서 수십 mm에 이르고 있다. 판 두께가 감소하면 그만큼 버의 크기도 작아져야 한다. 날카로운 버는 취급자에게 상처를 입히고 다른 부품에도 손상을 입히는 원인이 된다. 또한 전단/적층하는 경우 버에 의한 두께 증가를 초래한다. 그러나 무엇보다도 대상이 되는 판의 두께가 수십 mm로 박판인 경우에는 전단 윤곽부의 계측이 실질적으로 힘들며, 제조단계에는 현미경 등 연구실에서 사용하는 방법을 사용할 수 없다. 따라서 이것을 어떻게 평가할 것인가 하는 정량적 평가방법이 확립되어야 할 것이다.

오늘날 전단부품들이 높은 신뢰성을 요구하는 정밀기기나 전자기기 부품으로 적용되면서 버가 없는 전단가공으로의 기대가

한층 더 높아지고 있다. 형상이 복잡한 얇은 박판의 경우 전단 후 버 제거를 위한 후가공 역시 매우 어렵다. 기존의 얇고 형상의 복잡한 많은 부품들이 버의 발생이 없는 예칭가공에 의해 생산되고 있으나, 전단 그 자체가 불가능한 것은 아니다. 따라서 미세 박판에 있어 버를 극도로 최소화하는 전단법을 개발한다면 그 적용분야는 상당히 넓어질 것으로 예상된다.

버의 발생기구

버의 발생기구는 크게 균열발생에 의한 버, 재료연성에 의한 버, 마찰에 의한 버 등으로 나눌 수 있다. 먼저 균열발생에 의한 버의 경우 전단에서 발생하는 버의 대부분이 이에 속한다. 펀치가 하강하여 재료 내부와 외부에 균열을 발생시키고 이 균열이 성장하여 전단이 이루어진다. 재료연성에 의한 버는 펀치-다이 사이 간극

이 크거나 전단날의 마모로 인한 둥근 전단날에 의해 발생한다. 이러한 버는 재료의 소성변형을 동반하기 때문에 강인하여 쉽게 제거할 수 없는 경우가 많다. 마찰에 의한 버는 다이나 펀치 측면에 접하는 제품의 일부분이 마찰되어 발생하는 버로 펀치-다이 사이의 간극이 작을 경우 발생한다.

버 억제 기법

전단가공에 있어 버의 발생은 본질적인 것으로 전단날을 날카

롭게 하거나 클리어언스를 조절하더라도 버의 발생을 피할 수는 없다. 전자부품과 같은 초박판 제품에서는 제거작업 중에 제품을 변형시킬 우려도 있어 후처리도 쉬운 일은 아니다. 따라서 버를 최소화시키기 위한 여러가지 가공기술이 개발되고 있다.

일본의 마에다 등은 1950년도 말 상하 블랭킹법을 이용하여 버 없는 전단가공법을 시도하였다. 기본 원리는 재료를 상하 펀치 사

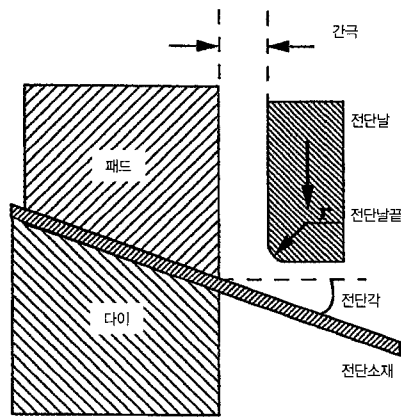


그림 5 전단각에 의한 버 억제기법

이에 고정시키고 하부 펀치를 이용하여 적당한 깊이로 반블랭킹을 한 후 상부 펀치로 역편칭하여 재료를 파단시키는 것이다. 그러나 전단간극이 극도로 작기 때문에 상하 펀치 사이의 얼라인먼트가 맞지 않으면 폐곡선을 이루는 전단면에서 블랭킹시 재료끼리 맞부딪치는 문제가 발생할 수도 있다. 1990년대 초 일본 Omron사의 고자이 등은 압전소자를 이용하여 펀치를 미세하게 이동시킴으로써 50mm 두께의 인철동

판에 반블랭킹과 역편칭 공정을 수행하여 버 없는 제품을 가공한 결과가 보고된 바도 있다.

나고야 대학의 곤도 등은 의도적으로 네킹현상을 발생시켜 버의 최소화를 시도하였는데, 기본 원리는 앞에서 언급하였던 하부 홀더가 없는 경우의 전단에서와 마찬가지로 초기 처짐과 굽힘 과정에서 약간의 전단이 발생되고, 펀치의 지속적인 진행으로 전단 부위에 작용하는 인장력에 의한 네킹 변형을 발생시키는 것이다. 미국 Alcoa 센터의 Ming은 전단각을 이용하여 전단시 소재에 인장을 가하는 방법을 소개하였다. 전단시 전단날과 전단재료 사이에 일정한 각을 주는 방식으로 전단부위에 인장력을 유도하는 방법이다. 이 경우도 실험 결과에 의하면 전단면에 수직인 버가 발생하게 된다.

카운터 펀칭에 의한 전단가공을 수행할 경우에도 버의 억제가 가능할 것으로 기대된다. 일반적인 전단가공에서는 펀치와 다이 중 다이는 고정되어 있고 펀치의 이동에 의해 전단이 이루어진다. 그리고 전단은 국부적인 변형영역에서 발생하며, 전단 윤곽은 직선이 아닌 곡선으로 나타난다. 최근 Ming은 실험적 연구를 통하여 전단 초기의 크랙은 움직이는 펀치날의 선단에서 발생, 전파하여 고정되어 있는 다이의 초기 압입 위치에서 발생한 크랙과 만난다는 것을 실험적으로 검증하였다. 따라서



버의 원인은 움직이지 않는 다이의 초기 압입에 의해 발생한 크랙이 버로 진전된다는 것이다. 그러므로 펀치와 다이를 동시에 서로 반대방향으로 움직이는 카운터 펀칭을 이용할 경우, 선단에서 초기 크랙 발생을 유도함으로써 버를 최소화할 수 있게 된다.

박판 버의 측정기술

버 제거 공정은 주로 사람의 손에 의하거나 단순한 전용기에 의존하기 때문에 다른 가공공정의 자동화 추세에 비하여 생산성 저하의 주된 원인이 되어 왔다. 따라서 효율적인 버의 관리를 위하여 우선 버의 크기를 정량화할 필요가 있으며, 버 제거를 위한 버 분류작업이 필요하게 된다. 즉 버의 크기와 형상을 적절하게 분류함으로써 적절한 버 제거 기법과 버 제거 기기의 개발이 효율적으로 이루어질 수 있다.

버 측정 방법으로는 비접촉식과 접촉식이 있다.

접촉식 측정법은 촉침을 이용하여 버 표면을 긁음으로써 크기 및 형상을 측정하는 방법이다. 예리한 촉침을 사용할 경우 파손의 위험이 있으며, 무딘 촉침을 사용하면 버의 정확한 형상은 측정하기 어렵다. 또한 알루미늄과 같은 연성재료의 측정시 촉침에 의하여 버에 변형이 발생할 수도 있다.

비접촉식 측정법은 광학을 이용하는 방법으로 이를 위해서는 버 측정 자료를 화상처리 기법을 통하여 버의 형상 및 특징을 수치화하는 작업이 수반되어야 한다.

레이저를 이용한 비접촉식 측정법에는 laser confocal 원리와 레이저 삼각법이 있는데 측정 정밀도는 빔의 스폿 크기와 측정 범위에 의해 결정된다. 그러나 laser confocal 장비는 가격이 비싸고 다루기가 복잡하므로 일반적으로 저가인 레이저 삼각법을 많이 이용한다. 비접촉식인 레이저를 이용할 경우 레이저의 독특한 특성으로 인해 예리한 모서리 같은 곳에서는 실제 버의 형상과 다른 결과를 가져오므로 이에 알맞은 보정 방법이 고려되어야 한다.

이미지 프로세싱을 이용한 버의 측정기법도 속속 개발되고 있다. 미국 DVT 사의 SmartImage sensor에 의한 버 측정 예에서와 같이 암시야조명(dark field illumination) 기법 등을 이용하여 버의 발생여부를 판단할 수 있다. 또한 수화적인 기법을 이용하여 대강의 버의 크기를 계산해낼 수도 있다. 그러나 계산 결과의 정확도가 상대적으로 떨어지며, 재료의 표면상태나 반사능에 따라 결과가 달라지기 때문에 미세한 제어에는 적절하지 않다고 볼 수 있다.

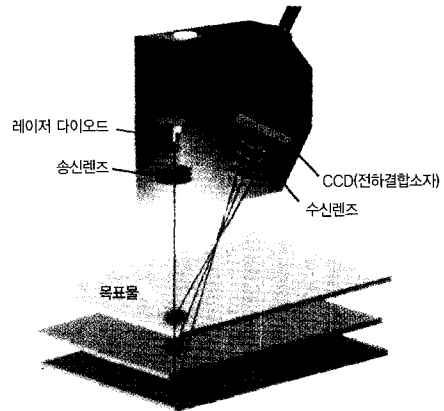


그림 6 레이저 삼각측정법의 원리

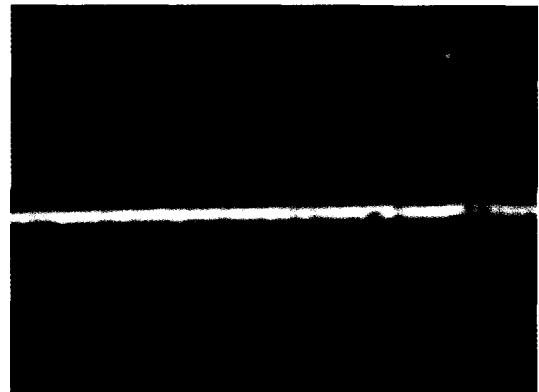


그림 7 버의 화상처리

정밀 다이 정렬

전단가공 중 펀치가공은 닫힌 경로상태로 전단이 수행되기 때문에 펀치와 다이 사이의 간극이 설계과정에서 임의적으로 결정된다. 그러나 간극이 이미 결정되었다고 하더라도 펀치와 다이 사이의 정렬상태에 따라 각 방향별로 서로 다른 큰 간극이 형성되어 가공 후 발생하는 버의 불균일이 초래된다. 특히, 펀치의 크기가 수 mm 이하의 단위로 감소하게 되면 다이 정렬의 중요성은 계측 및 보정에 있어서의 어려움과 더불어

어 크게 증가하게 된다.

다이와 펀치사이의 정밀 정렬을 위한 방법 중에 하나는 위치정밀도가 수 mm 이하의 X-Y 테이블을 사용한 서보 시스템을 구축하는 것이다. 간극 조절 방법은 초기 펀치와 다이의 홀 위치를 결정한 후 전기적 신호에 의하여 펀치와 다이 사이의 간극을 조절한다. 즉 정밀전단 시스템 설계시 하부 금형과 펀치 사이에 전기적 절연 물질을 사용하여 절연시킨 후 X-Y 테이블의 상·하, 좌·우 이동으로 펀치와 다이의 접촉시 발생하는 전기적 신호를 외부 제어 시스템에서 인식하고, 이를 피드백하

여 펀치와 다이를 정렬하여 펀칭 가공시 균일한 버의 발생을 유도하게 된다.

적으로 해결해야 할 과제임은 분명하다. 다양한 버 억제 대책과 제거기법이 보고되고 있지만, 요

구되는 박판의 두께가 점점 감소하고 전단 단위가 수십 마이크로 이하로 축소되고 있는 현 추세라면 완벽한 버 억제 기술을 개발하는 것은 매우 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 전단 과정에서 버를 균일화하고 최소화한 후 초음파가공이나 전해가공, 선택적 래핑 등을 통해 버를 제거하는 기법에 관한 연구도 절실하다 하겠다.

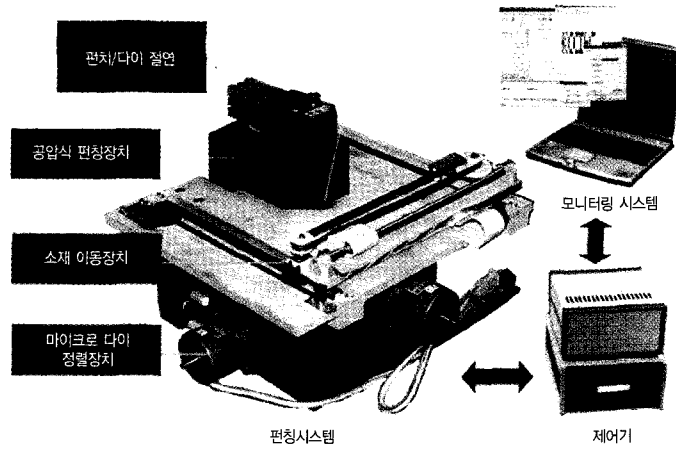


그림 8 다이 정렬시스템을 갖춘 마이크로 펀칭시스템 예

맺음말

버의 발생은 박판의 전단가공시 발생하는 문제점 중 가장 우선

기계용어 해설

▶ 전기집진기(Electrostatic Precipitator)

기류 내에 부유하는 입자의 정전력을 사용하여 입자를 집진하는 장치로서 고전압이 인가된 방전극에서 발생하는 코로나 방전을 통해 처리가스 내 입자를 (+) 또는 (-)의 단극성으로 대전시켜 반대극성을 띠는 집진판에서 포집하는 장치이다.

▶ 절삭속도 일정제어(CCCS : Constant Control of Cutting Speed)

자유곡면의 고속가공에서 공구의 수명 향상 및 진동특성을 고려한 절삭속도를 최적화하기 위한 가공기술로서 볼앤드밀 공구는 실제 공구의 유효직경

에 따라 동일한 주축 회전수에서도 절삭속도가 변화하게 된다. 따라서 공구와 공작물의 절삭위치점의 변화에 따른 실제 공구직경을 구하여 그에 따른 주축회전수를 적용함으로써 절삭속도를 일정하게 유지시켜 주는 것을 말한다.

▶ 정상유동실험(Steady-State Flow Test)

엔진의 흡기계의 선정 및 개발에 있어서, 설계 또는 제작된 흡기계의 흡입유량, 스웰 또는 덤블 유동의 생성 기질을 파악하는 실험이다. 실험시 정상유동 상태에서 수행되며, 실험조건의 제공에 있어서 일정차압법과 일정유량법 등 두 가지 방법이 있다.