

취성재료의 펀칭가공을 위한 충격 장치 개발 및 펀칭기구 해석

신형섭⁺ · 김진한* · 오상엽**
(2000년 7월 7일 접수, 2001년 1월 6일 심사완료)

Development of Experimental Setup for Impact Punching in Brittle Materials and Analysis of Punching Mechanism

Hyung-Seop Shin, Chin-Han Kim and Sang-Yeob Oh

Key Words: Impact Punching(충격펀칭), Minimum Contact Pressure(최소 접촉면압), Complete Punching(완전펀칭), Hertzian Cone Crack(헤르츠안 콘크랙), Punching Mechanism(펀칭기구), Glass(유리), Silicon Wafer(실리콘 웨이퍼)

Abstract

In order to investigate the possibility of impact punching in brittle materials, an experimental setup was developed. In the setup, a long bar as a punch was used to apply the impact load to the specimen plate and measure the applied impact force during the impact punching process. Impact punching tests with various shape of punches were performed in soda-lime glass and silicon wafer under a different level of contact pressure. The damage appearance after the impact punching was examined according to the applied contact pressure. The minimum contact pressure required for a complete punching in glass specimens without development of radial cracks around the punched hole was sought at each condition. The minimum contact pressure increased with increasing the thickness of specimens and decreasing the end radius of punches. The profile of impact forces was measured during the impact punching experiment, and it could explain well the behavior of the punching process in brittle material plates. The measured impact force increased with increasing the contact pressure applied to the plates.

1. 서 론

취성재료는 파괴인성이 낮아 미세한 균열이나 결함의 존재시에도 급격한 파괴가 일어날 수 있다. 또한 높은 경도를 나타내고 있어서 금속재료와 달리 종래의 가공법에 의한 가공이 어려운 난가공성이 특징이다.

유리와 세라믹 등 취성재료에 충격하중 작용시

발생하는 손상 및 파괴거동에 관하여는 많은 연구자가 수행되어져 왔다.^(1~4) 이들 연구는 대개 메디안크랙, 레터럴크랙과 같은 손상에 대한 형성 기구와 구형입자 충격시 발생하는 헤르츠안 링크랙/콘크랙(Hertzian ring crack/cone crack)의 형성 및 그 성장거동의 특성화를 관심사로 하고 있다. 특히, 헤르츠안 크랙 형성기구에 관해서는 비교적 잘 알려져 있다. 이들 파괴기구는 주로 세라믹 복합방탄 성능 향상 등 군사적 목적에 응용되어 왔고,⁽⁵⁾ 최근 가스터빈용 세라믹 부품의 안전성 확보 측면에서 입자충격후 잔존강도를 평가하기 위한 연구에도 적용되어 오고 있다.⁽⁶⁾ 그러나 가공기술 개발 등에 응용 예는 거의 없는 실정이다.

한편, 저자의 연구결과^(7,8)에 따르면 구형입자의

⁺ 책임저자, 회원, 안동대학교 기계공학부

E-mail : hsshin@andong.ac.kr

TEL : (054)820-5675 FAX : (054)820-5675

* 안동대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 경북대학교 대학원 기계공학과

충격시 발생한 콘크랙의 형상은 충격속도가 증가함에 따라서 내부의 열림각이 감소하는 거동을 나타내었고, 시험편의 압입부에 발생하는 헤르츠안 링크랙의 크기는 구형입자의 크기에 비례하여 증대하는 것으로 나타났다. 따라서, 얇은 취성재료판에 선단반경이 큰 구형편치를 사용할 경우, 콘크랙의 형성기구를 이용한 취성재료의 편칭가공을 기대할 수 있다.⁽⁹⁾

최근 세라믹판 등이 전자부품용 기판으로 사용되고, 또한 내마모성 향상 측면에서 노즐, 레이저가공용 빔 구멍 등에 적용되고 있어서, 용도에 따라서는 이들 취성판재에 단일 또는 다수의 구멍가공을 필요로 하는 경우도 있다. 이 경우, 취성재료의 가공에는 레이저 가공 또는 다이아몬드 연삭가공 등이 행해지고 있어, 가공효율 및 경제성 측면에서 개선의 여지가 있다.

한편, 취성재료판에 충격하중 부하시 충격점에서 거동은 복잡하며, 비탄성 변형 거동이 일어나게 되면 접촉원 주위에 원주방향으로 인장응력이 발생하여 레이디얼크랙을 발생시키게 된다. 따라서, 헤르츠안 콘크랙의 발생기구를 가공에 이용하기 위해서는, 이들 레이디얼크랙의 발생을 억제할 필요가 있다. 이를 위해서는 편칭구멍 주위에 발생하는 원주방향 응력값이 균열 발생 임계응력을 넘지 않도록 구멍주위에 접촉면압을 부가하여 충격시 발생하는 원주방향 인장응력을 일시적으로 상쇄시키는 것이 한 방법이다. 접촉압력은 여러 가지 방법으로 부여가 가능하리라 생각되는데,⁽¹⁰⁾ 본 연구에서는 직접 접촉면압을 부가하는 방식을 사용하였다. 따라서, 난가공성 재료의 새로운 가공기술 개발과 가공 효율 향상 측면에서 취성재료의 충격편칭시 일어나는 파괴기구의 파악이 가공기술의 체계적인 연구를 위해 필요하다.

본 연구에서는, 먼저 취성재료의 편칭가공을 위한 충격장치를 개발하였다. 이 장치를 사용하여 취성판재에 접촉면압을 부가한 상태에서 충격시 발생하는 편칭양상과 완전편칭 조건을 조사하였다. 아울러, 충격력 측정에 의한 파괴거동 해석을 통하여 충격편칭 조건의 최적화와 가공성능을 향상시키기 위한 기초 데이터 획득을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

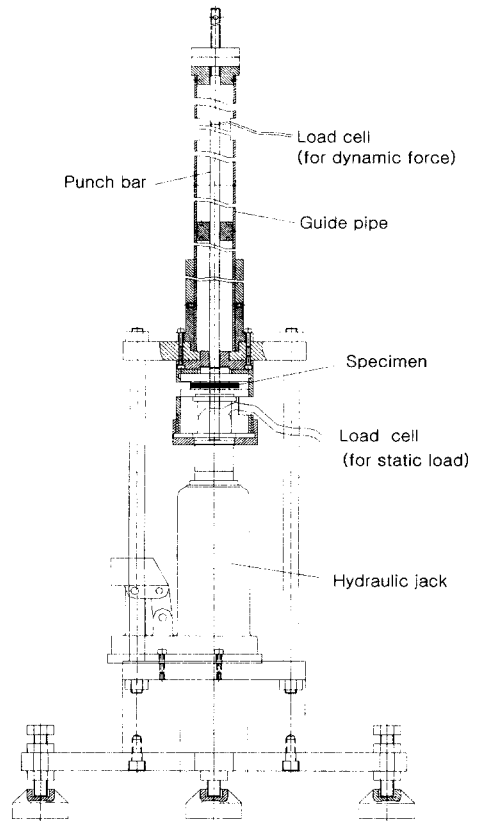


Fig. 1 Experimental setup for impact punching

2.1 시험편

충격편칭에는 시판의 소다라임 유리(soda-lime glass)와 실리콘(silicon) 단결정 판재를 사용하였다. 유리는 시판의 두께가 1.1, 2, 3 그리고 5mm의 판재를 50×50mm의 정방형으로 절단하였다. 또한, 얇은 취성재료로 반도체소자 제조용 두께 0.68mm인 실리콘 단결정판을 사용하였다. 유리판은 절단 후 아세톤으로 세척하였고, 시험편 표면의 잔류응력을 제거하기 위해 전기로에 넣어 2시간에 걸쳐서 550℃까지 가열한 후 1시간 유지시킨 다음 노냉시키는 아닐링처리를 하였다.

2.2 충격편칭 실험장치

충격편칭을 위해 긴 충격 바를 사용하는 충격 실험장치를 Fig. 1에 나타내었다. 충격장치는, 시험편에 정적 접촉면압을 부가하는 클램프부, 시험편에 충격하중을 부과함과 동시에 발생하는 응력파의 측정이 가능한 긴 편치바를 포함하는 충

격부로 구성되어 있다.

먼저, 클램핑부는 펀칭구멍 주위에 레이디얼크랙 발생을 억제하기 위하여 시험편의 두께 방향으로 정적 접촉면압을 부가하기 위한 기구이다. 이것은 시험편에 직접 접촉하여 면압을 부여하는 상·하부 다이, 로드셀, 압축력을 발생시키는 유압 잭, 그리고 시험편 고정과 로드셀 장착이 용이한 구조의 원통형 캡슐로 구성된다. 시험편의 상하면에 다이를 부착한 상태로 캡슐에 넣으면 상하부의 구멍중심이 자동적으로 일치하는 구조로 되어 있다.

시험편에 접촉면압을 가하기 위하여 다이의 재질은 기계구조용강(S45C)으로 제작하였다. 제작후

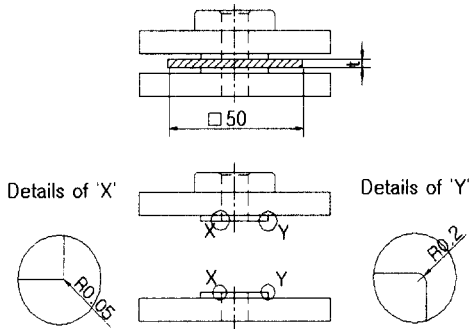


Fig. 2 Fixture assembly supplying for static contact pressure to specimen and die edge shapes

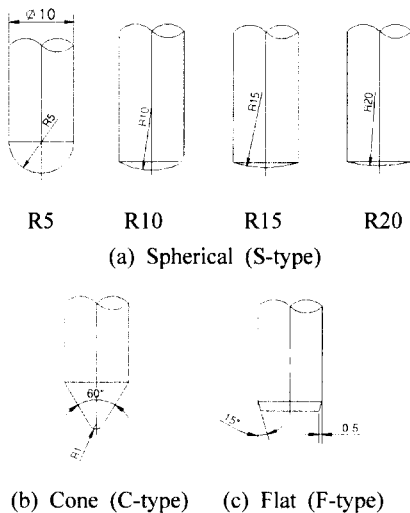


Fig. 3 Shapes of punch at impact end

900℃에서 5분간 가열한 후 급냉하여 접촉면 경도를 열처리된 Hv155에서 Hv320으로 증가시켰다. 가압용 다이의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 다이는 펀치바의 통과를 고려하여 안지름은 10.5 mm, 시험편과의 접촉부 바깥지름은 낮은 접촉면압에서는 25mm, 높은 접촉면압에서는 18.85mm와 20mm의 것을 사용하였다.

충격부는 긴 펀치바가 낙하시 다이를 통과하여 시험편에 정확히 펀칭되도록 가이드 파이프의 상하부에 가이드링을 설치하였고, 펀치바가 시험편에 도달하기 바로 직전에 15°로 위쪽이 넓게 테이퍼가 긴 안내판을 설치하여 클램핑부와 연결하였다.

펀치바는 직경을 10mm, 길이는 2,100mm로 하였다. 펀치바의 충격단은 Fig. 3에서 보인 것처럼 3종류의 형상으로 가공하였다. (a) 구형펀치의 경우는 S-펀치라고 하여, 반경을 R5, R10, R15와 R20으로 달리하였다. (b) 원추형을 C-펀치 및 (c) 끝단이 평면인 F-펀치로 하였다. 펀치바의 끝단은 가공후 화염경화법으로 열처리하였다. 펀치가 시험편을 관통한 경우, 펀치 제거가 용이하게 펀치바의 충격단 부근 평활부 10mm구간을 직경이 0.2mm정도 작게 하였다.

한편 충격펀칭시 시험편에 작용한 충격력의 계측에는 응력과 전파의 원리를 이용하였다. 펀치바가 낙하하여 시험편과 충돌하면 압축응력파를 발생시키게 되고, 발생한 응력파는 펀치바를 따라서 전파하게 된다. 이때 전파하는 응력과 신호를 충격단에서부터 700mm 높이에 부착한 스트레인 게이지(길이 : 2mm)로 검출하였다. 한편 시험

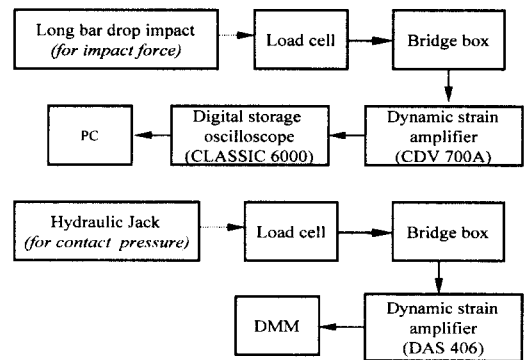


Fig. 4 Block diagram for static and dynamic forces measuring system

편내에는 응력파가 다수회 반사를 반복하면 진파하여 준정적 상태를 만들어 준다. 이때 시험편에 가해진 충격력과 초기 접촉면압의 계측을 위한 측정계의 블록선도를 Fig. 4에 나타내었다. 먼저 충격편칭시 펀치바에 전달된 충격하중 $P(t)$ 는 펀치바에 부착된 스트레인 게이지에 의해 검출된 변형률신호 $\epsilon(t)$ 를 사용하여 아래 식으로부터 계산하였다.

$$P(t) = EA \epsilon(t) \quad (1)$$

여기서 E 와 A 는 펀치바의 영률과 단면적이다. 또한 시험편에 접촉면압을 추가하기 위한 가압력은 다이와 유압 잭 사이에 설치한 로드셀에서 검출된 전압을 사용하여 미리 작성한 하중-전압 관계로부터 설정하였다. 이때 시험편에 가해진 접촉면압은 최대 300MPa까지로 하였다. 충격시험전 시험편과 펀치바의 끝단을 아세톤으로 세척하였다.

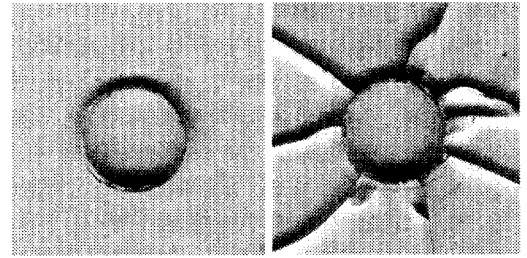
펀치바는 낙하 높이를 0.2m, 0.3m 그리고 0.5m로 하여 실험을 실시하였다. 한편, 펀치바가 시험편을 관통하지 않고 반발하는 경우는 펀치바를 중도에 정지시켜 시험편에 이중충격이 일어나지 않게 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

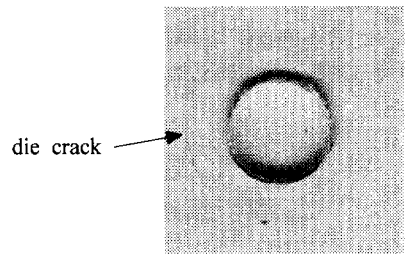
3.1 취성판의 충격편칭 양상

충격편칭후 유리판에 발생한 편칭양상 및 크랙킹 거동을 조사하였다. 발생한 편칭의 형태는 Fig. 5에 보인 바와 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

먼저, 적정한 접촉면압 및 충격력의 작용하에서는 Fig. 5(a)와 같이 유리판에 완전편칭(complete punching)이 발생하였다. 이때 가해진 충격력이 부족한 경우는 편칭이 시험편의 전 두께에 걸쳐서 진행되지 않아서 부분편칭(partial punching)이 일어났다. 접촉면압이 낮은 경우는, Fig. 5(b)에 보인 바와 같이 구멍 주위에 반경 방향으로 다수의 레이디얼크랙이 충격점으로부터 발생하여 시험편의 파손을 가져왔다. Fig. 5(c)는 추가한 접촉면압이 상당히 높은 경우로, 완전편칭은 일어났지만 다이와 접촉부 주위에서 프레스에 의한 블랭킹 가공시⁽¹¹⁾와 같이 다이크랙을 동반한 편칭을



(a) Complete punching (t3, 200MPa, R20) (b) Punching with cracks (t2, 100MPa, R10)



(c) Punching with die crack (t2, 250MPa, C-type)

Fig. 5 Appearances after impact punching in soda-lime glass under various conditions

나타냈다.

편칭형상에 따라 충격편칭시 유리판에 발생하는 편칭양상을 조사하였다. 대표적인 예로서, R20의 S-펀치에 대한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 시험편에 가한 접촉면압의 크기에 따라서 편칭양상은 차이를 나타내었다. 추가한 접촉면압이 어떤 레벨이상이 되면 레이디얼크랙의 발생 없이 완전편칭이 이루어졌고, 이때 완전편칭에 필요한 최소 접촉면압은 시험편의 두께가 얇을수록 낮아지는 것을 볼 수 있다.

그 결과 R20의 S-펀치에서, 완전편칭에 필요한 최소 접촉면압은 $t=1.1\text{mm}$ 에서는 70MPa, $t=2\text{mm}$ 에서는 108MPa, $t=3\text{mm}$ 에서는 125MPa이었다. 그러나, $t=5\text{mm}$ 의 경우는 250MPa의 가압하에서도 본 장치의 충격력으로는 완전편칭이 불가능하여 부분편칭만이 발생하였다. 한편, $t=2\text{mm}$ 와 3mm 에서는 300MPa이상의 높은 면압에서는 접촉부 주위에 다이크랙을 수반하는 경우도 있었다. 반면, $t=2\text{mm}$, 300MPa에서는 비록 완전편칭이 일어나는 접촉면압 조건하 일지라도 충분한 충격력이 가해지지 않은 경우는 부분편칭이 일어났다.

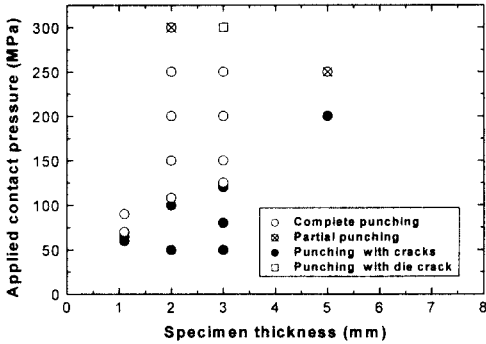


Fig. 6 Impact punching map of soda-lime glass using S-type(R20) punch

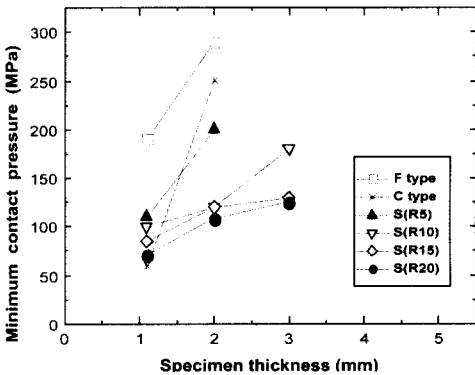


Fig. 7 Effect of specimen thickness on minimum contact pressure required for complete punching according to punch shape

각종 펀칭형상에 대하여, 완전펀칭에 필요한 최소 접촉면압을 구하여 이들의 시험편 두께에 따른 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 전체적으로 펀칭형상에 무관하게 시험편 두께가 얇을수록 완전펀칭에 필요한 최소 접촉면압은 감소하는 거동을 나타내었다. S-펀치가 F-펀치는 물론 C-펀치보다 낮은 최소 접촉면압을 나타내었다. 그러나 $t=3\text{mm}$ 이상의 유리판에서는 F-펀치, C-펀치, R5의 S-펀치에서는 300MPa까지의 접촉면압하에서 완전펀칭이 이루어지지 않았다.

한편, 두께가 보다 얇은 시험편에 대한 결과로서, $t=0.68\text{mm}$ 인 Si-단결정에 R20의 S-펀치를 사용하여 연속 충격펀칭한 후의 모양을 Fig. 8에 나타내고 있다. 실리콘 단결정은 특정 벽개면을 갖고 있음에도 불구하고 충격펀칭으로 완전한 원형 구멍 가공이 가능하였다. Fig. 9는, $t=0.68\text{mm}$ 실리

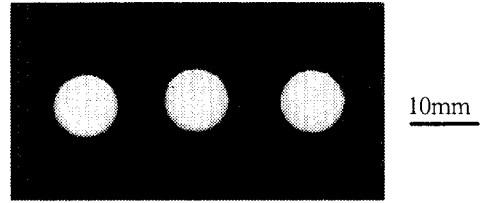


Fig. 8 Appearance after a series of impact punching in 0.68mm-thick silicon sheet using S-type(R20) punch

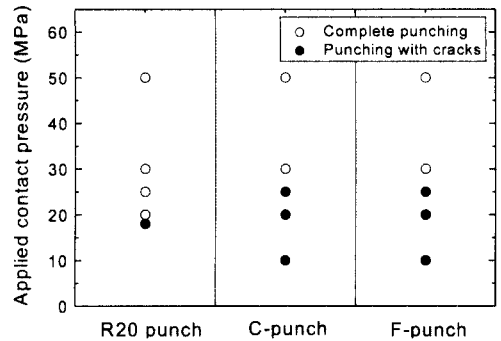


Fig. 9 Impact punching map in 0.68mm thick-single silicon sheet

콘 단결정에 R20인 S-펀치와 C-펀치 및 F-펀치를 사용한 충격펀칭시 펀칭양상을 나타내었다. 시험편의 두께가 얇은 관계로, C 및 F-펀치에서도 비교적 낮은 접촉면압하에서 완전펀칭이 가능하였다. 완전펀칭에 필요한 접촉면압은, R20인 S-펀치에서는 20MPa로 가장 낮았고, C-펀치와 F-펀치에서는 30MPa이었다. 이 값은 앞의 유리시험편에서 보다 훨씬 낮았다.

3.2 헤르츠안 크랙의 충격펀칭 거동에의 영향

S-펀치를 사용한 충격펀칭의 경우, 다른 형상의 펀치보다 낮은 접촉면압에서 완전펀칭이 가능하였고, 또한 펀치바의 충격단 반경이 클수록 완전펀칭에 필요한 접촉면압은 저하하는 거동을 나타내었다. 따라서 구형 펀치바의 끝단반경에 따른 완전펀칭에 필요한 최소 접촉면압의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 펀치반경과 최소 접촉면압 사이에는 전체적으로 반비례하는 관계가 존재하나, 시험편 두께에 따라 그 거동은 차를 나타내었다.

먼저 $t=1.1\text{mm}$ 의 경우, 두꺼운 다른 두 시험편

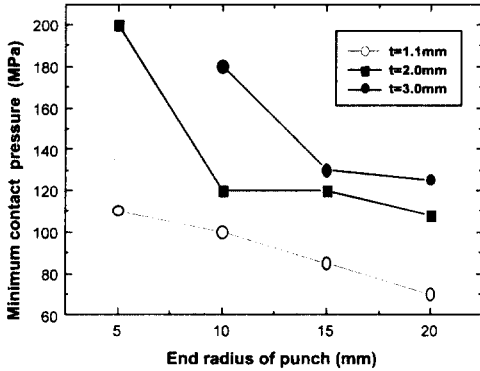


Fig. 10 Effect of end radius of punch on minimum contact pressure required for complete punching (S-type punch)

과 달리, 펀치바의 반경이 감소함에 따라서 접촉면압이 서서히 증가하였다. 그러나, $t=2\text{mm}$ 의 경우, R10이상에서는 접촉면압에 큰 차 없이 거의 비슷한 값(약 120MPa)을 나타내고 있으나, 끝단 반경이 R5로 감소하면 완전펀칭에 필요한 최소 접촉면압은 200MPa까지 급격히 증가하였다. $t=3\text{mm}$ 의 경우, R15보다 반경이 큰 경우는 앞의 경우와 같은 거동을 나타내었으나, R10에서는 접촉면압이 180MPa까지 큰 증가를 나타내었다. 시험편 두께가 커질수록 최소 접촉면압의 급격한 증가를 가져오는 끝단반경이 커진다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 실험의 범위에서는 R20의 S-펀치가 $t=3\text{mm}$ 까지의 취성판재의 충격펀칭시 가장 효과적임을 알 수 있다.

여기서, 펀치바의 끝단반경이 작아짐에 따라 완전펀칭에 필요한 접촉면압이 증가하는 이유는 다음과 같다. 펀치바의 끝단반경의 감소는 시험편 충격점에 접촉면적의 감소를 가져와 충격시 접촉부 면압을 크게 증가시키게 된다. 따라서 충격점에는 헤르츠안 크랙뿐만 아니라, 파쇄 등 영구변형이 발생하면서 그 주위의 원주방향 응력성분을 크게 증가시킨다. 이 응력이 결국 펀칭부 주위에 레이디얼크랙을 발생시키게 된다. 따라서 작은 끝단반경의 펀치바에서는 이러한 충격부손상의 정도가 크게 되어, 보다 현저한 레이디얼크랙 발생을 억제하기 위해서는 보다 큰 접촉면압의 부가가 필요하였기 때문이다.

충격펀칭에 의한 취성재료판에서 구멍의 형성 과정은, 충격점에 발생하는 헤르츠안 링크랙(HRC

: Hertzian ring crack)에 대한 응력과 시험편 두께에 따라서 시험편 뒷면에서 발생하는 굽힘응력 중 어느 것이 우세한지의 평가를 통하여 고찰할 수 있다.⁽¹²⁾ 두꺼운 평판에서는 충격부에서 HRC형성과 콘크랙으로의 성장이 펀칭 작업에 영향을 주게 된다. 또한 HRC형성에 필요한 하중은 압입자의 지름에 의존한다는 것이 잘 알려져 있다.⁽⁸⁾ 즉, 원추형 C-펀치에 비하여 끝단 반경이 큰 R20인 S-펀치가 HRC를 형성하는데 큰 하중이 필요하다. 그러나, $t=2\text{mm}$ 및 3mm 인 유리판에 대한 충격펀칭 실험 결과, C-펀치에 비하여 R20인 S-펀치가 완전펀칭에 낮은 접촉면압이 필요하였다. 이것은 유리판의 완전펀칭에는 HRC형성에 필요한 하중뿐만 아니라 콘크랙 형성기구가 펀칭 과정에 크게 영향을 끼쳤기 때문이다. 결국 앞에서 언급한 S-펀치의 끝단반경의 변화에 따른 충격점에서 접촉면압의 증가도, 펀칭과정에서 콘크랙의 형성과 이들의 성장, 퍼커션(percussion), 파쇄 특성이 서로 관련된 결과로서 나타났다.

완전펀칭에 필요한 최소 접촉면압은, Fig. 10에서 볼 수 있듯이 두꺼운 유리 시험편에서는 펀치형상에 따라서 상당한 차이를 보였다. 그러나 두께가 얇은 실리콘 단결정판에서는 펀치형상에 상관없이 큰 차이를 나타내지 않았다. $t=1.1\text{mm}$ 유리판의 경우 또한 F-펀치 이외에는 완전펀칭에 필요한 접촉면압은 큰 차이를 나타내지 않았다. 이것은 얇은 시험편의 경우, 충격점에 하중이 집중력으로서 작용하면 판재 뒷면에서 굽힘응력에 기인하는 방사상 균열의 발생과 같은 파괴기구가 펀칭 작업에 크게 영향을 미쳤기 때문이다. 이 결과로부터, 기관용 세라믹판 등 얇은 취성판재에 대한 구멍가공은 시험편에 작은 접촉면압만 부여하면 충격펀칭으로 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.3 충격력의 측정을 위한 펀칭과정의 해석

취성재료의 충격펀칭 동안, 시험편에 가해진 충격력의 변화를 조사하였다. S-형(R20) 펀치바를 사용한 충격실험 결과, 얻어진 충격력 신호를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11은 $t=3\text{mm}$ 의 유리판에 $p=100\text{MPa}$, $h=0.5\text{m}$ 의 조건에서 충격펀칭시 얻어진 충격력 신호이다. 이것으로부터 충격펀칭 과정을 설명할 수 있다. 펀치바가 시험편에 접촉개시 직후 하중은 급

격히 증가하여 약 $32\mu\text{s}$ 후 3.5kN까지 도달하였고, 다소 저하를 나타낸 후 다시 증가하여 최대하중에 도달하였다. 이것은 충격점에서 링크랙 및 콘크랙 발생에 해당하고, 최대하중에 도달할 때까지 하중의 증가는 콘크랙의 증대뿐만 아니라 충격점에서 파쇄를 가져오게 된다. 하중 피크점에서는 콘크랙 부분의 퍼커션이 발생하면서 펀치바와 시험편의 순간적인 접촉을 완하시켜서 하중은 저하를 나타내었다. 이후는 펀칭이 진행됨에 따라서 콘크랙 상부에 남은 부분의 파쇄에 따른 하중 증감을 보이고 있고, 펀치바가 시험편을 완전히 관통하게 되면 하중은 0으로 떨어졌다. 이후 따라오는 신호는 펀치바 내에서 응력파의 반사에 따른 것이다. 이 경우 부하속도는 $1.1 \times 10^5 \text{ kN/s}$ 에 해당하였다.

Fig. 12(a)는 동일 충격조건하에서 시험편 두께에 따른 충격력에 미치는 영향을 나타내고 있는데, 두께가 커질수록 관통에 필요한 충격력의 피크치는 증가하나, 본 장치로는 관통이 일어나지 않았던 $t=5\text{mm}$ 에서는 충격력이 피크하중에 도달한 후에도 반사파 도래시까지 약 $500\mu\text{s}$ 동안 일정한 값의 지속을 나타내, 관통이 일어나는 얇은 시험편과는 다른 거동을 나타내었다. 이것은 시험편의 충격점에 콘크랙 발생 등 손상은 있었지만, 현저한 파쇄나 퍼커션 등은 발생하지 않아서 펀치바가 반발하여 분리될 때까지 지속적인 접촉상태를 유지하였기 때문이다.

한편 Fig. 12(b)는 시험편에 가해진 접촉면압 레벨에 따른 충격력의 거동을 나타내고 있다. 부가된 접촉면압이 높을수록 가해진 충격력 신호의 최대치가 증가하였다. 이것은 충격펀칭시 펀치부 주위에 부가한 접촉면압의 작용이 펀치바 아래부분을 다축 응력상태로 만들었기 때문이고, 이에 따라 취성재료의 파괴에 대한 저항이 증가하여 더 큰 충격력을 나타내었다. 따라서 시험편 두께가 크거나 부가한 접촉면압이 증가하면, 펀칭시 보다 큰 하중이 필요하게 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 예는, 앞절에서 언급한 R20의 S-펀치를 사용하여 $t=2\text{mm}$ 두께의 유리판에 펀칭시 접촉면압이 300MPa에서 부분펀칭이 일어났다는 현상을 잘 설명해주고 있다. 이것은 펀치바 충격에 의해 시험편에 가해지는 충격력이 같다면, 접촉면압이 클수록 펀칭깊이가 줄어들을 의미한다.

이상으로부터 충격실험장치를 사용하여 얻어진

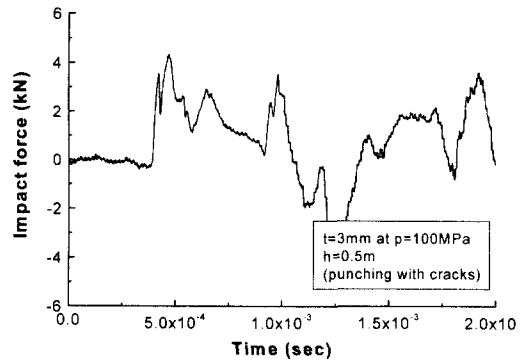
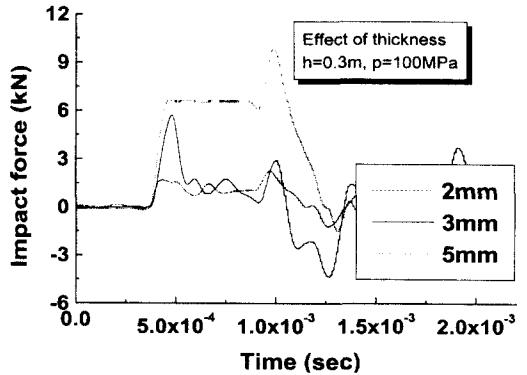
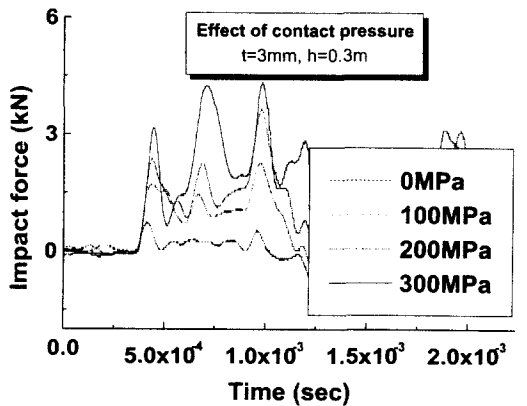


Fig. 11 Profile of impact force during impact punching of R20 punch



(a) Effect of plate thickness



(b) Effect of contact pressure

Fig. 12 Effects of punching condition on impact force during impact punching in glass

충격력 신호는 시험편에서 일어난 편칭과정 및 손상거동을 잘 나타내고 있고, 양자간에는 밀접한 관련성이 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 충격력 신호의 평가를 통해 충격편칭 동안 취성재료판에서 일어나는 손상 형태의 파악이 가능하였다.

4. 결 론

난가공성인 취성재료의 충격편칭 가능성을 조사하기 위해 충격시험장치를 試作하여, 충격 편칭실험을 실시하였다. 얻어진 주요한 결과는 다음과 같다.

- (1) 제작한 충격시험장치로, 취성재료판에 접촉면압을 가한 상태에서 충격편칭을 실시하여 편칭양상의 파악과 충격력 측정을 통한 편칭과정의 해석이 가능하였다.
- (2) 취성판재에 부가한 접촉면압이 어느 레벨 이상이 되면, 레이다얼크랙 발생 없이 완전편칭이 가능하였고, 완전편칭에 필요한 최소 접촉면압은 시험편의 두께가 얇을수록 낮아졌다.
- (3) 유리 시험편에서 완전편칭에 필요한 접촉면압은 편칭형상에 따라 차이를 나타내, S-편칭의 경우가 F-편칭이나 C-편칭보다 낮은 접촉면압에서 완전편칭이 가능하였다. 한편 S-편칭의 경우는, 끝단 반경이 클수록 낮은 접촉면압에서 완전 편칭이 이루어졌다.
- (4) 충격 편칭동안 얻어진 충격력 신호의 거동은 시험편에서 일어난 편칭거동과 밀접한 관련성을 나타내었다. 이때 충격력은 시험편에 부가된 접촉면압이 높을수록 증가하였다.

후 기

본 연구의 일부는 BK21사업(지역대학육성사업)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Tillet, J. R. A., 1956, "Fracture of Glass by Spheriacle Indenters," *Proc. Roy. Soc.*, Vol. B69, pp. 47~54.
- (2) Knight, C. G. K. and Swain, M. V. and Chaudhri, M. M., 1977, "Impact of Small Spheres on Glass Surface," *J. Mater. Sci.*, Vol. 12, pp. 1573~1586.
- (3) Tsai, Y.M. and Kolsky, H., 1967, "A Study of the Fractures Produced in Glass Blocks by Impact," *J. Mech. phys. Solids.*, Vol. 15, pp. 263~278.
- (4) Fields, J. E., Sun, Q. and Townsend, D., 1989, "Ballistic Impact of Ceramics," *Inst of Physics, Conf. Series* No. 102, pp. 387~393.
- (5) Shockey, D. A., Marchand A. H., Skaggs, S. R., Cort, G. E., Burkett, M. W., Parker, R., 1990, "Failure Phenomenology of Confined Ceramic Targets and Impacting Rods," *In. J. Impact Eng.*, Vol. 9, pp. 263~275.
- (6) Shin, H. S. and Maekawa, I., 1995, "Characterization of Particle Impact Damage and Strength Degradation Behaviors in Structural Ceramics," *JSME Int. Journal*, Vol. A-38, pp. 116~124.
- (7) Shin, H. S., Lee, H. M., Kim M. S. and Maekawa, I. 1996, "Hertzian Cone Crack Formation in Brittle Materials by an Oblique Impact," *Proc. of 2nd ISIE Beijing*, Edited by C. Y. Chiem, pp. 300~309.
- (8) 신형섭, Maekawa, I., 1992, "탄화규소 세라믹의 충격손상 및 강도저하에 미치는 입자의 재질 및 크기의 영향," *대한기계학회논문집*, Vol. 16, pp. 1869~1876.
- (9) Nojima. T. and Sakaguchi, K., 1995, "A Study of Fracture Behaviors in ceramic Plates by Impact Load and Its Application to a Development of Hole-Punching Technique," *Proc. IUTAM Symp.Constitutive Relation in high /Very high Strain Rates*, Noda, pp. 233~240.
- (10) For example; Chen, W, 1999, "Electromagnetic Confinement for Dynamic Multiaxial Compression Experiments," *Exp. Tech.*, Vol. 23, No. 4, pp. 24~26.
- (11) Nojima, T. and Sakaguchi, T.K. and Sugiyama, F., 1996, "Blanking of Engineering Ceramic Plates by Press-Working," *Trans. JSME*, Vol. C-62, pp. 346~352.
- (12) 김진한, 1999, "충격하중을 이용한 취성재료의 편칭가공 기술 개발," *안동대학교 석사학위논문*.