

리드 핀 제조용 펀치 금형의 홈 가공에 관한 연구

이용찬*, 정상철**, 정해도***

A Study on Slot Grinding for Lead Pin Punching Die

Yong Chan Lee*, Sang Cheol Jeong**, Hae Do Jeong***

ABSTRACT

One of the recent changes in machining technology is rapid application of micro- and high precision grinding processes. A fine groove generation is necessary for the fabrication of optics, electronics and semiconductor parts. Slot grinding is very efficient for the generation of micro ordered groove with hard and brittle materials. In the process of slot grinding, chipping at the sharp edges and microcracks of the ground grooves are inevitable defects. Chipping should be reduced for the improvement of surface integrity. Mechanical contact with diamond grits causes microcracks at the grooves. This damage resides subsurface, and can be the cause of failure of the punch die. This paper deals with chipping generation at the sharp edges, surface integrity of side groove and fracture strength is related to the microcracks in the slot grinding.

Key Words : Slot grinding(홈가공), Metal bonded diamond wheel(메탈계 다이아몬드 슷돌), Chipping(치핑), Crack(균열), Fracture strength(파단응력)

1. 서론

최근에 펀치용 금형에서 STD-11, STD-61 등과 금형강보다 내마모성과 내열성을 갖춘 초경합금이 주로 사용되어 지고 있다. 하지만 초경은 고경도 재료이기 때문에 절삭 가공이 어렵다. 그렇기 때문에 고경밀도를 유지하면서 고능률 가공은 메탈계 본드를 사용한 다이아몬드 슷돌에 의한 연삭 가공에 의해서 이루어진다. 연삭에 의한 미세홈가공(slot grinding)은 가공정밀도와 표면거칠기가 양호하고 3차원 형상의 가공이 용이하기 때문에 방전가공이 어려운 세라믹스나 고분자 재료등의 비전도성 재료뿐만 아니라 경도가 높은 취성재료인 초경의

가공에 적용이 가능하다. 메탈계 본드 슷돌은 고강성이어서 슷돌 입자의 지지력이 뛰어나 홈 가공과 같은 프로파일 연삭가공(profile grinding)에 적합하다. 하지만 초경합금과 같은 취성재료의 홈 가공에 있어 발생하는 문제점으로는 홈 측면 에지(edge)부에 발생하는 치핑(chipping)^[1,2], 홈 옆면의 표면 품위 정도^[3,4], 홈 골 부분에서 발생하는 크랙^[5] 등이 있다. 가공중에 발생하는 치핑은 슷돌과 가공물의 접촉시 발생하는 충격력에 의해 생성되어진다. 이러한 치핑은 가공물의 형상정밀도와 기계적 성질 및 표면품위(surface integrity) 등을 저하시킨다. 홈 측면의 표면 품위는 생산되는 제품의 품질을 결정하는 중요한 요인이 된다. 홈 골부분에서 생기는

* 부산대학교 대학원

** 부산대학교 기계공학부

*** 부산대학교 기계공학부

크랙은 현미경을 통해 보이는 것과 잠재 크랙이 존재하여 지속적인 충격하중을 받는 펀치용 금형으로서 사용될 때 균열이 전파되어 금형으로서의 역할을 제대로 하지 못한다. 그리고 결국은 크랙이 금형의 파괴를 일으켜 금형의 수명을 단축시키는 결정적인 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 펀치용 금형에 쓰이는 초경을 연삭에 의한 홈가공을 통한 치핑, 홈 옆면의 표면 품질의 변화, 홈 끝부분에서의 크랙 발생에 대해서 연구하였다.

2. 리드 핀 제조에 쓰이는 펀치용 금형

저항의 리드 핀 제조에서 코일을 쉽게 감기게 하기 위하여 리드 핀의 목 부분을 둥근 형상에서 사각 형상으로 만든다. 이를 제작하기 위한 금형으로서 초경에 90° 홈을 내어 두 개의 금형을 이용하여 펀칭으로서 제조한다. Fig. 1은 여기에 사용되는 리드 핀 제조용 펀치 금형의 도면을 나타낸 것이다.

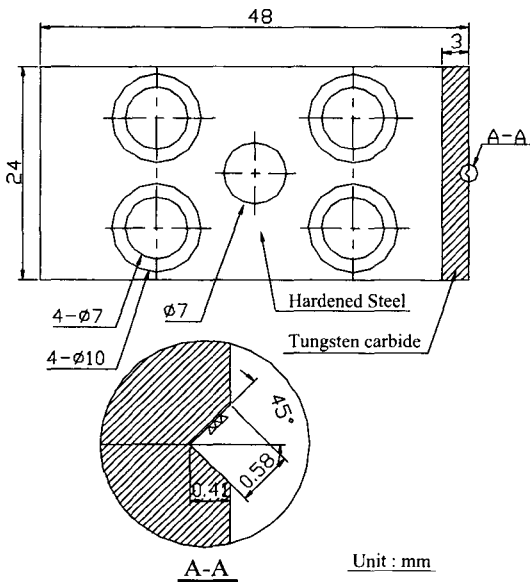


Fig. 1 Schematic diagram of punch die

이와 같은 제품의 경우 초당 3~4개의 제품을 펀칭에 의해서 제조하기 때문에 시간이 지남에 따라 V-홈의 형상 무너지고, 옆면도 나빠져서 불량률을 유발하게 된다. 또한, 계속되는 충격하중에 펀치의 홈 끝 부분에서 크랙이 발생하여 금형이 파단하게 된

다.

Fig. 2는 계속된 펀칭에 의해 홈 옆면이 나빠지고 끝 부분에서 크랙이 발생하여 사용할 수 없게 된 펀치의 모습을 보여준다.



Fig. 2 Fractured punch

Fig. 3은 홈 가공시에 숫돌에 의해서 가공 될 때 나타날 수 있는 결함을 나타낸 그림이다. 이 때 숫돌의 가공시에 발생하는 치핑과 홈 옆면과 끝부분의 크랙 등이 나타나 있다.

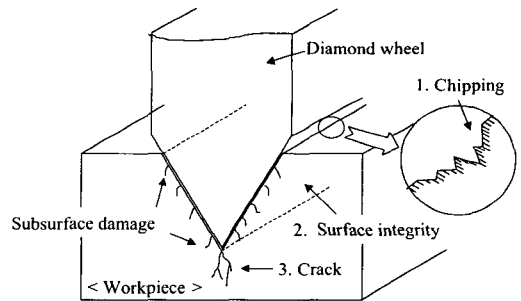


Fig. 3 Schematic diagram of defects in slot grinding

3. 실험 방법 및 조건

정밀한 홈 가공을 하기 위하여 초정밀 평면 연삭기(Nagase EPG-52S)를 사용하였다. 숫돌은 숫돌 끝단의 각도가 90° 인 V형상의 청동계 다이아몬드 숫돌(Bronze bonded diamond wheel)을 사용하였다. 숫돌 입자는 #400(grain size:37 ~ 44 μ m)를 사용하였다.

Table 1에 구체적인 실험 조건을 나타냈다.

Fig. 4에 연삭기에서의 가공 모습을 나타내었다. 연삭 방식은 치핑발생의 억제를 위하여 하향 연삭(down cut)방식을 택했다. 숫돌의 눈막힘/loading을

없애기 위하여 각 조건마다 알루미늄 스틱으로 드레싱 하였다.

시편인 초경합금 K10, K20, K30, P20, P30, M40 (대한중석)에 대한 경도와 압축강도와 같은 기계적 성질이 Table 2에 나타나 있다.

Table 1 Experimental Conditions

Wheel	SD400N75M, ϕ 200 V-shape Wheel(90°)	
Grinding condition	Wheel speed	2000 rpm
	Work speed	20 ~ 200 mm/min
	Depth of cut	0.1 ~ 0.5 mm
	Grinding type	Slot grinding, down cut
Coolant	Soluble type (N-3, 2.5%)	
Workpiece	WC(K10, K30, P30, M40) Size : $30^L \times 30^W \times 10^T$ mm	
Grinding machine	Nagase EPG-52S	
MTS	SINTECH 20/G, 100kN	
Dynamometer	Kistler 9257 PZT	

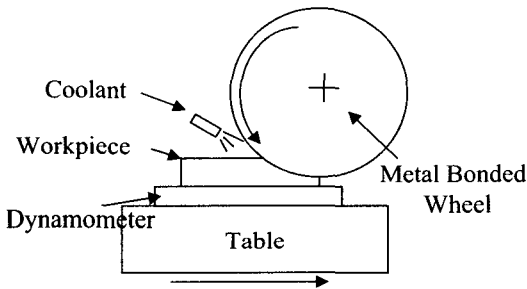


Fig. 4 Schematic diagram of slot grinding

Table 2 Mechanical properties of WC

	K10	K20	K30	P20	P30	M40
Hardness (H _{RA})	92.8	92.2	90.8	92.0	91.7	89.0
Compressive strength (kg/mm ³)	620	530	490	480	480	440

치핑과 옆면의 측정은 전자 주사 현미경(SEM, S-2400, HITACH)을 사용하였고, 홈 가공시 발생하는 크랙이 펀치의 수명에 연관되기 때문에 압축 인장 시험기(MTS)를 사용하여 파단응력을 측정하여 가공 중에 발생하는 크랙의 발생 정도에 따른 가공된 재료의 파단 응력을 비교하였다.

4. 실험 결과와 고찰

4.1 홈 에지부의 치핑

취성재료를 홈 가공하면 홈에지부에서 치핑이 발생하고, 치핑의 크기는 평균치와 면적보다는 최대치핑이 큰 영향을 주기 때문에 홈가공에 의해 발생하는 치핑의 평가는 최대치핑의 크기를 선택하였다. 측정기로 공구현미경(OLYMPUS, MMDC201)과 SEM사진의 관찰을 통하여 측정하고 평가하였다. 치핑의 측정방향은 홈측면의 에지부에서 홈단면의 수평방향으로 측정하였다. 치핑의 형상은 Fig. 5와 같이 크기의 차이가 있으며, 산과 골짜기의 형상을 가지면서 분포되어 있다. 치핑크기의 평가를 위해서 기준선은 치핑이 전혀 발생하지 않을 때에 생기는 홈에지부를 기준으로 삼았다^[6].

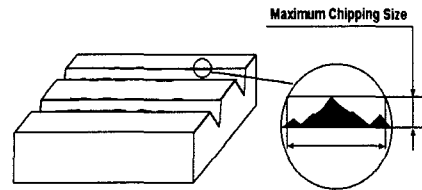
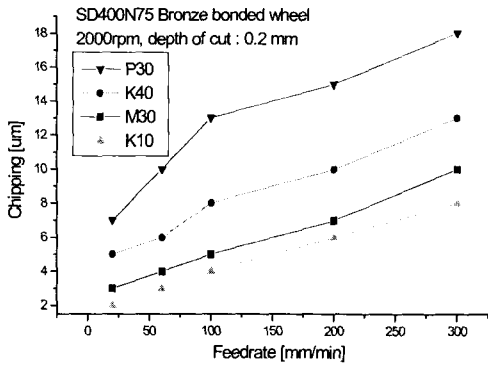


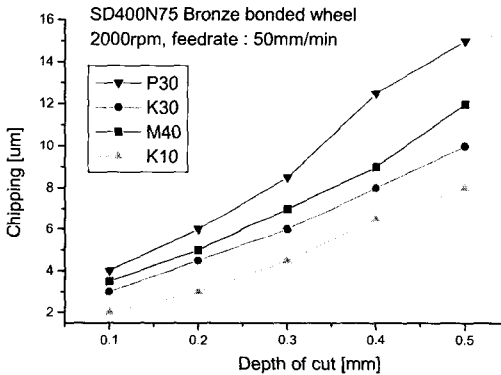
Fig. 5 Measurement of chipping^[6]

측정범위는 초경의 홈 가공한 길이방향으로 1회 연삭 거리인 30mm의 측정범위에서 가장 크게 발생한 치핑을 선택하여 측정하였다.

Fig. 6의 (a)는 이송속도 변화에 따른 치핑을 측정한 그래프이고, (b)는 절입 깊이를 변화시키면서 홈 가공을 했을 때의 치핑을 측정한 그래프이다. 이송속도를 적게 할수록, 절입깊이가 적어질수록 치핑의 크기가 줄어든다는 것을 알 수 있다. 경도와 압축강도가 큰 K10이 작은 치핑량을 나타내고, 낮은 P30이 큰 치핑량을 나타낸다. K10의 경우 이송속도가 300mm/min일 때 최대 치핑이 약 8 μ m이고, 같은 조건하에서 P30은 약 18 μ m 이다.



(a) feedrate



(b) depth of cut

Fig. 6 The change of chipping size as feedrate and depth of cut

이송속도를 적게 할수록, 절입깊이가 적어질수록 치핑의 크기가 줄어든다는 것을 알 수 있다. 경도와 압축강도가 큰 K10이 작은 치핑량을 나타내고, 낮은 P30이 큰 치핑량을 나타낸다. K10의 경우 이송속도가 300mm/min일 때 최대 치핑이 약 8 μ m이고, 같은 조건하에서 P30은 약 18 μ m이다.

이러한 이유는 치핑의 발생은 스톨과 가공물의 접촉시에 발생하는 충격력(연삭력)에 의해 생성되어지는데, 압축강도가 높은 K10의 경우는 충격력에 의한 영향을 압축강도가 낮은 P30보다 덜 받아서 치핑의 크기가 작아짐을 알 수 있다.

따라서 치핑의 발생에 영향을 주는 스톨과 가공물의 접촉에 의해서 생기는 연삭력의 크기를 감소시키는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

연삭력은 가공 중 스톨입자가 계속된 가공으로

눈막힘(loading)이나 날무디어짐(glazing)고 같은 현상에 의해 증가된다. 따라서 연삭력의 크기를 작게 하기 위해서는 스톨입자가 계속 일정하게 돌출되어 있어야 한다. 이러한 조건을 충족시키기 위하여 전해 인프로세스 드레싱(ELID¹⁷⁾)을 사용하였다.

전해 인프로세스 드레싱은 메탈 본드 스톨에 (+)극, 구리 전극에 (-)극을 주어 일정한 간극(gap)을 사이에 두고 전해 현상을 일으켜 메탈 본드재가 용출되어 다이아몬드 입자를 지속적으로 돌출시키는 역할을 한다.

전해 인프로세스 드레싱 조건은 Table 3에 나타나 있다. 초기 드레싱은 스톨주속도가 800rpm에서 30분간 하였다. 청동계 본드의 경우는 주철본드 스톨과는 달리 전류치가 거의 일정하다.

Table 3 Dressing conditions

Wheel speed	2000 rpm
Voltage(Eo)	60V
Current(Ip)	8A
Pulse width	$\tau_{on}/\tau_{off} = 2/\mu s$
Electrode	1/3 copper
Gap	0.3mm
Power supply	Fuji ELIDER 910

Fig. 7은 K30을 가공했을 때 일반적인 홈 가공했을 때와 전해 인프로세스 드레싱을 하였을 때의 연삭력을 서로 비교하여 본 것이다.

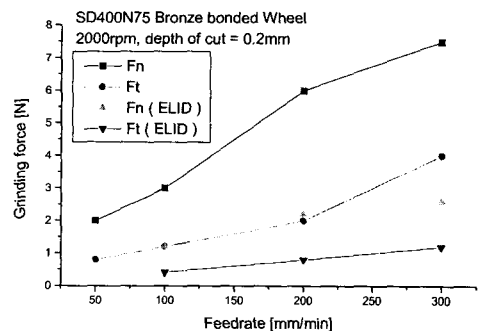


Fig. 7 The change of grinding force as feedrate

전해 인프로세스 드레싱을 적용한 것이 연삭력이 반 이상 줄어듦을 알 수 있다. 따라서 연삭력

이 감소함으로써 치핑의 크기가 줄어든다는 것을 Fig. 8에서 확인 할 수 있다.

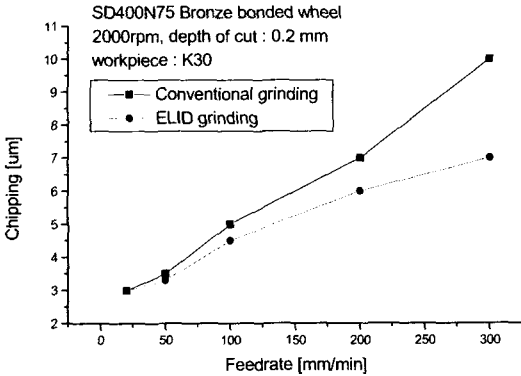
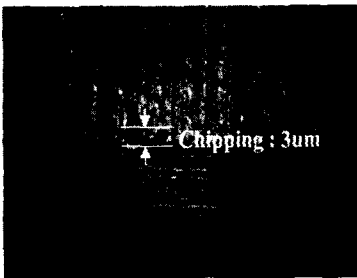


Fig. 8 The change of chipping size as feedrate

Fig. 9는 일반적인 연삭가공에 의한 치핑의 SEM 사진이고 Fig. 10은 전해 인프로세스 드레싱을 적용했을 때의 치핑의 SEM사진이다.

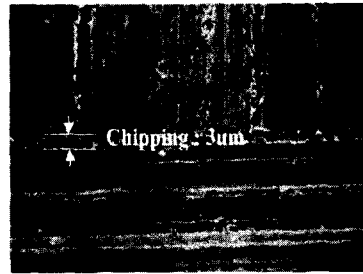


(a) $f = 20 \text{ mm/min}$



(b) $f = 300\text{mm/min}$

Fig. 9 Chipping on WC by conventional slot grinding



(a) $f = 20 \text{ mm/min}$



(b) $f = 300 \text{ mm/min}$

Fig. 10 Chipping on WC by ELID slot grinding

4.2 홈 옆면의 표면 품위의 변화

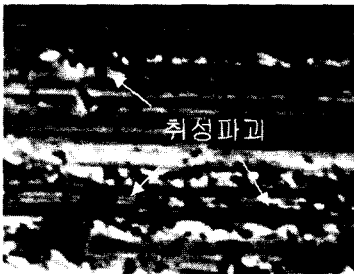
홈 옆면은 편칭에 의해 생산된 제품의 면의 품위에 결정적인 영향을 미치는 요인이다. 홈 옆면의 품위를 살펴보기 위하여 SEM을 이용하여 관찰하였다. 일반적인 홈 가공과 비교하기 위하여 전해 인프로세스 드레싱을 하였을 때 홈 옆면도 관찰하였다.

Fig. 11은 절입깊이를 0.2mm로 일정하게 두었을 때 이송 속도의 변화에 따른 홈 옆면의 표면을 나타낸 것이다. Fig. 12는 전해 인프로세스 드레싱을 적용했을 때의 홈 옆면을 나타낸 것이다.

이송속도가 낮을 때에는 홈 옆면의 변화가 거의 없으나 이송속도가 증가할수록 차이가 뚜렷해진다. Fig. 11의 (b)를 보면 이송속도가 300mm/min가 되면 전체적으로 취성파괴(brittle fracture)가 발생하여 홈 옆면의 품위가 나빠진다. 이러한 금형으로 제품을 생산할 경우 제품 자체의 불량 요인이 된다. Fig. 12의 (b)는 전해 인프로세스 드레싱으로 슷돌 입자가 원활하게 돌출되어 있기 때문에 같은 조건 하에서 취성파괴가 거의 일어나지 않은 좋은 표면을 나타낸다.

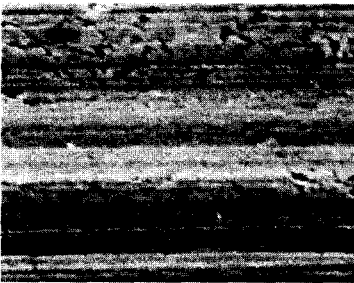


(a) $f = 20\text{mm/min}$ (K30)

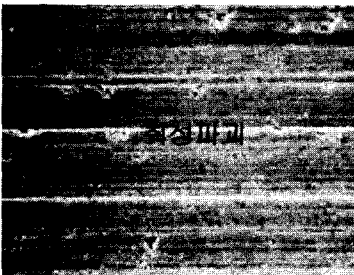


(b) $f = 300\text{mm/min}$ (K30)

Fig. 11 SEM observations of side surface of groove



(a) $f = 20 \text{ mm/min}$ (K30)



(b) $f = 300 \text{ mm/min}$ (K30)

Fig. 12 SEM observations of side surface of groove (ELID grinding)

4.3 크랙과 파단 응력

홈 가공에서 홈 끝부분에서 연삭 저항이 집중적으로 발생하여 크랙이 쉽게 발생한다. 이러한 크랙은 계속적인 충격하중을 받는 편칭 공정용 금형으로 사용될 때 크랙이 전파하여 금형을 파손시키고 제품의 품질을 저하시켜 생산능력을 저하시킨다. 따라서 크랙의 발생하더라도 아주 미소하게 생기는 연삭 조건을 찾는 것은 금형의 수명에 관련하여 중요하다. 따라서 금형의 수명과 관련하여 크랙의 존재와 크기를 가공된 시편의 파단 응력(fracture strength)과 관련지어 생각할 수 있다. 파단 응력의 크기는 홈 끝부분에서 생기는 크랙의 크기와 관련이 있다. 크랙의 수가 많아지거나 크기가 증가하면 파단 응력값이 낮아지고 반대로 수가 적어지거나 크기가 감소하면 파단 응력값이 높아지므로 금형 수명이 증가하게 된다.

Fig. 13은 압축 인장 테스트기(MTS)에서 파단 응력을 측정하는 실험 개략도이다. 하중 P를 작용시켜 파단 될 때까지 힘을 주어 그 힘을 측정하면 파단응력값이 되어진다.

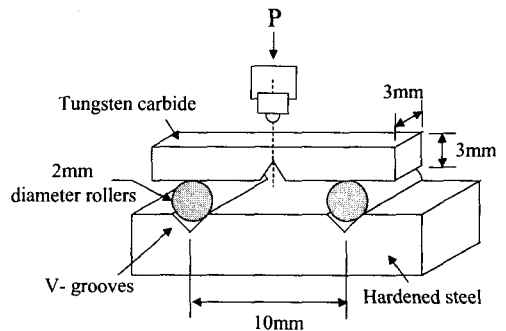
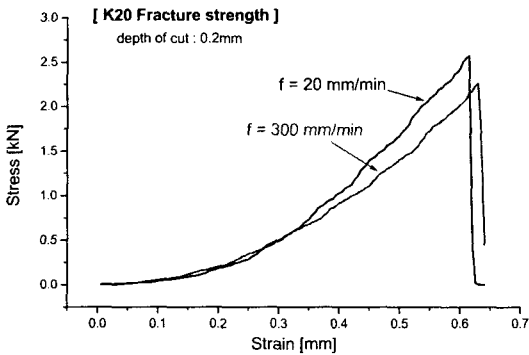


Fig. 13 Schematic diagram of bending test

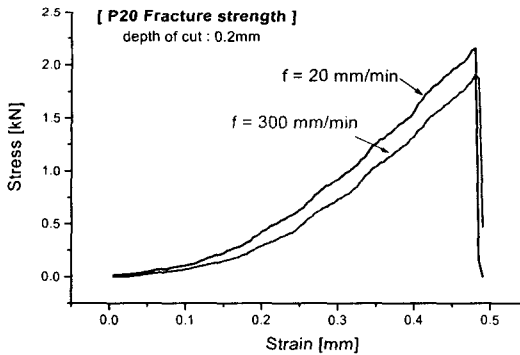
파단 응력 측정 가공 조건은 슛돌 주속도를 2000rpm으로 고정시키고 이송속도를 20mm/min ~ 300mm/min으로 변화시키고, 절입깊이가 0.2mm일 때와 0.3mm일 때로 나누어서 측정하였다. 같은 절입 깊이라도 이송 속도가 증가할수록 재료 제거율이 커지기 때문에 홈 끝부분에서 많은 크랙이 발생하게 된다. 이런 크랙의 차이를 파단 응력값을 측정함으로써 알 수 있다. 사용된 실험 재료는 K20, P20을 사용하였다. 재료의 기계적 성질은 앞의 Table 2에 나타나 있다. 실험 재료의 크기는 K20과 P20 동일하게 150^L× 50^W× 50^Tmm이다. 동일한 크기

의 K20과 P20은 서로 같은 높이에서 홈 가공하여 비교 측정하였다. 같은 높이가 아니면 절입깊이에 의한 영향보다는 노치효과(Notch effect)에 의한 영향이 크기 때문에 같은 높이에서 실험하여 측정하였다.

Fig. 14의 (a)는 K20을, (b)는 P20을 절입깊이를 0.2mm로 일정하게 하였을 때 이송속도에 따른 파단 응력의 값을 나타낸다.



(a) K20



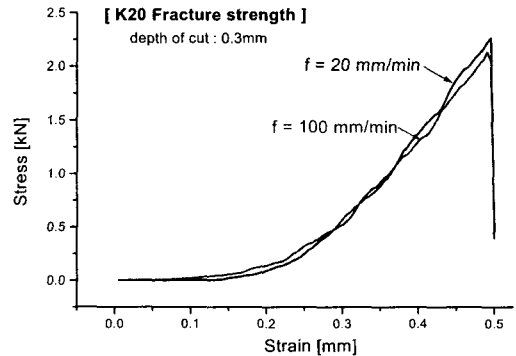
(b) P20

Fig. 14 The change of fracture strength as feedrate

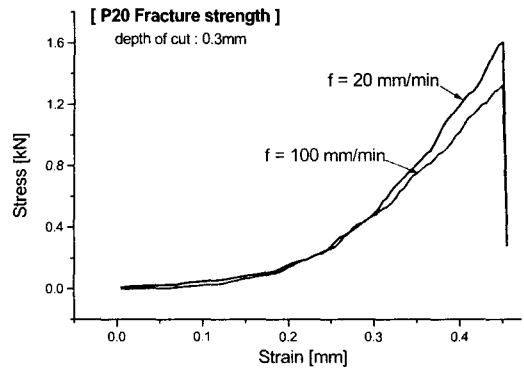
이송속도는 크랙의 크기와 관련되는 중요한 요인이 된다. 이송속도가 증가할수록 재료에 연삭 저항을 많이 걸려 크랙이 쉽게 발생하고 큰 크랙이 발생하여 파단 응력값이 낮아진다는 것을 알 수 있다. 같은 조건에서 경도와 압축강도가 큰 K20이 P20보다 파단 응력의 값이 크다는 것을 갖는다. 이송속도가 20mm/min과 300mm/min일 때 차이는 두 시편 다 약 0.3kN이다. 이송속도의 차이가 더 크

다면 더 큰 파단 응력차이가 날 것으로 생각되어진다.

이러한 차이는 절입깊이를 증가시켰을 때도 마찬가지이다. Fig. 15는 절입깊이를 0.3mm로 하였을 때의 파단 응력을 나타낸다. 절입깊이가 증가될수록 스톤 날끝에서 받는 연삭력이 크게 증가하기 때문에 파단 응력값이 절입 깊이가 0.2mm일 때보다 낮아짐을 알 수 있다. 이송속도가 20mm/min와 100mm/min일 때 K20의 경우 약 0.2kN, P20의 경우 약 0.3kN을 가진다.



(a) K20



(b) P20

Fig. 15 The change of fracture strength as feedrate

Fig. 16은 같은 조건하에서 실험한 K20과 P20을 서로 비교한 그래프이다. 같은 실험 조건이라도 경도와 압축강도가 큰 K20이 P20보다 스톤 날끝에서 받는 연삭력이 적어 높은 파단응력값을 가짐을 알 수 있다.

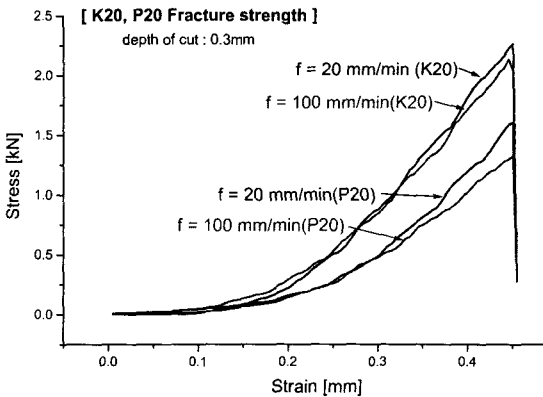


Fig. 16 Fracture strength of K20 and P20

5. 결론

본 실험에서 가공 조건을 변화시키면서 홈 가공에 있어서의 문제점으로 제기되는 홈 에지부의 치핑, 홈 옆면의 표면 정도, 홈 골 부분에서 발생하는 크랙 등에 대한 영향에 대해 실험 하였다.

1. 이송속도가 증가할수록, 절입깊이가 깊을수록 숫돌과 가공물 사이의 연삭력이 증가하여 치핑의 크기가 증가하게 된다. 따라서 연삭력이 적게 발생하는 전해 인프로세스 드레싱을 적용하는 것이 치핑 억제에 효과적이다.

2. 경도와 압축강도가 높은 K10이 숫돌과 가공물 사이에서 발생하는 연삭력에 의한 영향을 덜 받아서 작은 치핑량을 나타낸다.

3. 가공 중 연속적인 숫돌 입자의 돌출이 가능한 전해 인프로세스 드레싱을 적용하여 홈 옆면의 품질이 나아짐을 알 수 있다.

4. 가공조건에 의해서 홈 골부분에서 크랙의 수나 크기가 증가할수록 파단응력의 값이 낮아지고 크랙의 수나 크기가 작아질수록 파단응력의 값이 높아짐을 알 수 있다.

5. 같은 절입깊이라도 이송속도가 증가함으로써 재료 제거율이 증가하여 홈 골부분의 크랙이 많이 발생하여 파단 응력값이 낮아지는 것을 알 수 있다.

후기

본 연구는 산업기반기술개발사업 "Milli-Structure

생산기반기술개발"의 세부과제 미세금형가공기술과제의 지원을 받아서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Ikeno, Y. Tani, and A. Fukutani, "Development of Chipping-Free Dicing Technology Applying Electrophoretic Deposition of Ultrafine Abrasives," *Annals of CIRP*, Vol. 40, No. 1, pp. 351-354, 1991.
2. T. Matsuo, and Y. Ohbuchi, "Slot Grinding of Steels and Ceramics with Superabrasive Wheels," *Annals of CIRP*, Vol. 37, No. 1, pp. 315-318, 1988.
3. H. Yuichi, and K. Kishi, "Influences of the Bond for Grinding Wheel on the Generation of Ground Groove of Ferrite in Slot Grinding," *J. of JSPE*, Vol. 62, No. 10, pp. 1454-1458, 1996.
4. S. J. Heo, "Study on High Efficiency Grinding Condition of WC-Co," *J. of KSME*, Vol.17, No.3, pp. 721-730, 1993.
5. S. Danyluk, R. Ebbutt, and I. Weisshaus, "Machining and Dicing of Silicon," *VDI BERICHTE*, pp. 371-381, 1996.
6. Y. Ohbuchi, K. Nishi, and T. Matsuo, "Chipping Mechanism in Slot Grinding of Mn-Zn Ferrite(1st Report) - Quantitative Measurement of Chipping," *J. of JSPE*, Vol. 61, No. 8, pp. 1156-1160, 1995.
7. H. Ohmori, and T. Nakagawa, "Highly Efficient Form Grinding with Electrolytic In-process Dressing for Die and Mold Manufacturing," 2nd International Conference on Die and Mold Technology, pp. 23-25, 1992.