

본 연구는 97년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME97-E-11)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

# Slot Grinding시 전해 인프로세스 드레싱의 영향에 관한 연구

## Effect of Electrolytic In-process Dressing in Slot Grinding

유 정 봉\*, 이 석 우(부산대 대학원), 정 해 도(부산대 기계공학부)

최 현 중(한국생산기술연구원)

J. B. Yoo, S. W. Lee(Graduate School, Pusan Nat' l. Univ.), H. D. Jeong(Pusan Nat' l. Univ.)

H. J. Choi(KITECH)

### ABSTRACT

Chipping is an unavoidable phenomena in the slot grinding process of hard and brittle materials. However, it should be reduced for the improvement of surface integrity in the manufacture of optical and semiconductor components. Electrolytic In-process Dressing (ELID) technique for metal bonded superabrasive grinding wheel has been developed for mirror surface grinding of hard and brittle materials. Electrically dressed wheel surface has sharply exposed abrasives and results in lower grinding force, higher grinding efficiency in grinding. The paper deals with a newly developed method for slot grinding using ELID and was implemented to improve grooved surface quality and decreases chipping size on the edge of the groove. As a result, we accomplished chipping-free grooves and obtained the clear ground surfaces on glass and tungsten carbide.

Key Word : slot grinding(홈 가공), chipping-free(뜯김 억제), glass(유리), tungsten carbide(초경합금)  
LID(전해 인프로세스 드레싱), metal bonded diamond wheel(메탈 본드 다이아몬드 슷들)

### 1. 서 론

내마멸성이 강한 정밀형상부품은 난삭재이면서 취성재료인 초경합금이나 세라믹스 등과 같은 재료에 대한 미세형상 가공기술을 필요로 하고 있다. 연삭에 의한 미세홈가공(Slot Grinding)은 가공정밀도 및 표면 거칠기가 양호하고 3차원 형상부품의 가공이 용이하며, 방전가공에 적용하기 어려운 세라믹스와 고분자 재료등 비전도성 재료뿐만 아니라 경도가 높은 취성재료인 초경합금에 대한 가공이 용이하다는 장점이 있다.

취성재료의 홈가공에 있어 가장 큰 문제점은 홈측면의 에지(edge)부에 발생하는 치핑(chipping)이다. 가공형상의 에지부에 발생하는 치핑은 제품자체의 정밀도와 기능에 직접적인 영향을 주어 기계적 성질과 표면품질(Surface integrity)를 저하시키기 때문에 치핑을 억제하는 정밀가공기술이 요구되고 있다.

이를 해결하기 위해서 취성재료에 대한 홈가공과 절단에 있어서 치핑의 발생기구에 관한 연구와 치핑을 억제시키기 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>[1-2]</sup>

본 연구에서는 연삭에 의한 미세홈가공에 있어 가공 측면의 에지부에 발생하는 치핑과 표면거칠기의 향상을 위해 전해 인프로세스 드레싱을 적용하였다.

이 방법은 가공 중에 전기화학적으로 슷들입자를 원활하게 돌출시킨다는 점과 동시에 슷들표면은 부도체 피막이 형성된다는 점이다.<sup>[3]</sup> 이에 취성재료인 유리와 초경합금에 대해 가공조건에 따라 일반적인 홈연삭과 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 홈연삭에 발생하는 치핑현상을 관찰하였다.

본 실험결과는 공구현미경과 전자주사현미경을 이용하여 치핑의 크기를 측정하고, 가공표면의 상태를 평가하여 고찰하였다.

### 2. 전해 인프로세스 드레싱의 기구

전해 인프로세스 드레싱은 메탈 본드 슷들의 비선형 전해현상을 적극적으로 이용하기 위해서 펄스 파형을 발생하는 전해 전원과 약 도전성인 수용성 연삭액을 조합함으로써 Fig.1에 나타내는 기구에 의해 드레싱을 실시하였다.

미세한 다이아몬드 입자를 가진 메탈 본드 슷들은 전해현상으로 본드재가 용출되어 다이아몬드 입자를 돌출시킨다. 이 전해현상에서는 본드가 수  $\mu\text{m}$  용출한 후 빠르게 부도체 피막에 의한 절연층이 슷들표면에 형성되고 과도한 용출은 방지된다. 그리고 연삭을 시작하면 공작물이 이 부도체 피막에 접촉하고 연마재가 마멸된 양만큼 피막이 벗겨진다. 이 때문에 피막에 의한 절연이 저하되고 본드재가 필요량만큼 용출하여 슷들입자의 돌출이 일어난다. 이러한 반복된 과정에 의해 새로운 슷들입자가 형성되어 안정된 가공이 진행된다.

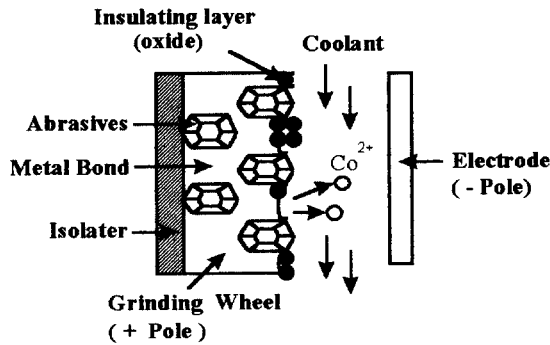


Fig.1 Principle of ELID

### 3. 실험방법

#### 3.1 실험장치의 구성

본 연구에서 연삭에 의한 홈가공에 대한 치핑의 억제와 홈표면 거칠기의 향상을 위해 제작된 장치의 개략도를 Fig 2에 나타내었다. 이 장치는 슷들날의 각도가  $20^\circ$  인 V형상의 코발트(Cobalt)계 메탈 본드 다이아몬드 슷들과 전해현상을 일으키면서  $20^\circ$ 의 V형상을 얻기 위해 슷들표면의 양면에 일정하게 이송시킬 수 있는 전극을 제작하였다.

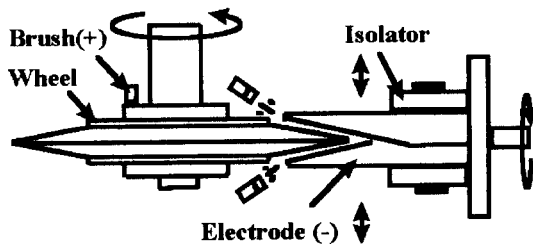


Fig.2 Experimental apparatus of slot grinding

#### 3.2 가공조건 및 드레싱 조건

본 실험의 가공조건은 Table 1에 나타냈다. 피삭재는 대표적인 취성재료인 유리와 난삭재이면서 취성재료인 초경을 사용하였다. 각재료의 치핑현상을 관찰하기 위해 가공조건(절입깊이, 주속도, 이송속도)을 변화시키면서 실험을 하였다. 또한 전해 인프로서스 드레싱이 치핑발생의 억제와 홈 표면거칠기의 향상에 미치는 영향을 관찰하기 위해 같은 가공조건으로 실험하였다.

본 실험에서 미세홈가공에 있어 치핑발생의 억제를 위해 하향연삭을 하였다. 슷들입자는 인조 다이아몬드(#400, #1000)이며, 형상가공을 위해 슷들날의 각도가  $20^\circ$  인 V형상의 코발트계 메탈 본드 슷들을 사용하였다.

본 실험에서 코발트계 메탈 본드 슷들의 전해현상은 드레싱 시간의 변화에 따라 2.3A~2.4A의 일정한 전류치를 가지는 성질이 있었다. 가공시 드레싱조건을 Table 2에 나타냈다. 전극면적은 슷들의 가공면적을 고려하여 1/8로 설계하였고, 드레싱의 안정을 위해 슷들주속도를 200m/min으로 하였다. 선행 실험에서 인가전류를 2.4A로 하였을 때 슷들 날끝에 본드의 용출작용이 활발히 일어나 가공시 슷들 날끝의 마멸이 심하게 생겼다. 따라서 가공시 본드의 적절한 용출을 위해 무부하 전압을 30V로 하여 홈가공하였고, 가공전압은 14V이고, 가공전류는 0.4A로 설정하였다.

Table 1. Slot grinding conditions

Grinding method	Slot grinding, Down cut
Power Supply	Fuji ELIDER 910
Workpiece	Glass, WC(M50)
Grinding wheel	SD400N50M( $\phi$ 180 ) SD1000N50M( $\phi$ 180 )
Wheel speed	V=12,000 m/min
Work speed	v= 100~3,200 mm/min
Depth of cut	t = 10~800 $\mu\text{m}$
Grinding fluid	Soluble type, 30% dilution

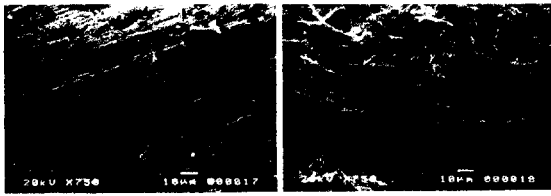
Table 2. Dressing conditions

Wheel	V type $\phi$ 180, #400, #800 Cobalt
Wheel speed	200 m/min
Voltage( $E_0$ )	30 V
Current( $I_w$ )	0.4 A
Pulse width	$\tau_{on} = \tau_{off} = 2\mu\text{s}$
Electrode	1/8 copper
Gap	0.3 mm

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 전해 인프로세스 드레싱의 슷돌상태

Fig.3에 슷돌(SD400N50M)표면의 SEM사진을 나타냈다. (a)는 홈가공하기 전의 사진으로 다이아몬드 입자가 슷돌표면에 충분히 돌출되어 있지 않고, 결합재인 코발트 본드가 강하게 결합되어 있는 것을 알 수 있다. 하지만 (b)는 전해 인프로세스 드레싱을 한 슷돌표면으로 다이아몬드 입자가 충분히 돌출되어 있으며, 코발트 본드가 전해작용에 의해 용출되어 있는 것을 알 수 있다. 이런 현상들에 의해 가공저항이 감소되고, 칩핑발생을 억제시켜 가공물의 표면품질이 향상된다.



(a) Before slot grinding (b) After ELID

Fig.3 SEM micrographs of wheel surface

### 4.2 유리의 최대 칩크기의 변화

Fig.4에 일반적인 홈가공과 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 홈가공에 대해 절삭깊이의 증가와 이송속도의 증가에 따라 최대 칩크기의 변화를 나타냈다. 칩크기의 측정은 공구 현미경의 측정기(OLYMPUS, MMDC201)를 사용하고, 측정방향은 홈측면의 에지부에서 홈단면의 수평방향으로 측정하였다.

Fig.4에서 일반적인 홈가공보다 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 홈가공이 칩핑을 억제하는 효과가 매우 큼을 알 수 있다. 또한 최대 칩크기는 절입깊이가 클 때보다는 이송속도가 빨라질수록 1.5~3 배정도 커지는 경향을 나타내고 있다.

유리는 충격력에 쉽게 깨지는 성질을 가지고 있다. 따라서 홈가공시 가공저항이 이송속도가 증가함에 따라 커지기 때문에 취성적 파괴에 의한 것으로 생각된다. 본 실험을 통하여, 유리의 칩핑발생을 억제하는 방법은 전해 인프로세스 드레싱을 적용하고, 절입깊이를 적절하게 선택하여 이송속도를 느리게 하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다.

Fig.5에 #1000스틀, 슷돌주속도 1,200m/min, 절입깊이 800, 이송속도 100mm/min일 때, 공작물 출구부분의 단면형상을 나타냈다. 전해 인프로세스 드레

싱을 적용한 것이 단면방향의 최대 칩크기가 작고, 전해작용에 의해 부드러운 형상의 가공단면을 얻을 수 있다.

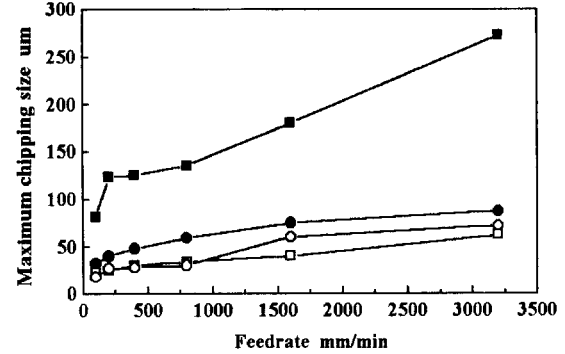
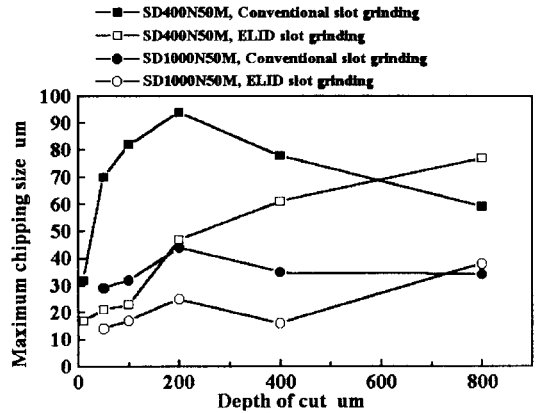
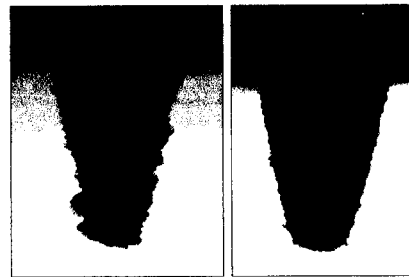


Fig.4 Effect of ELID on glass



(a) Conventional (b) ELID

Fig.5 Difference between conventional and ELID slot grinding on glass

### 4.3 유리의 칩핑형상

Fig.6은 공구현미경(OLYMPUS, STM-MJS2)으로 관찰하여 촬영한 칩핑현상을 나타내고 있다. 슷돌주속도 1,200m/min, 절입깊이 100um, #400스틀을 사용하여 각종 이송속도에서 홈가공을 한 것이다.

Fig.6에서 일반적인 홈가공에서는 치핑크기가 홈 측면에 산과 골짜기의 형상을 가지면서 분포되어 있다. 이송속도가 증가함에 따라 치핑크기가 급격하게 커지는 것을 알 수 있다. 하지만 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 경우는 치핑의 크기가 아주 미소하며, 공작물속도에 따른 치핑크기의 변화는 일반적인 홈가공에 비해 미소하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 앞에서 서술한 것과 같이 전해작용에 의해 다이아몬드 입자가 원활하게 돌출되어 가공저항을 감소시키고, 스톨표면에 발생한 부도체 피막이 홈면에 완충작용과 연마작용을 하여 취성파괴를 억제시키기 때문이라고 생각된다.

Conventional slot grinding/ ELID slot grinding

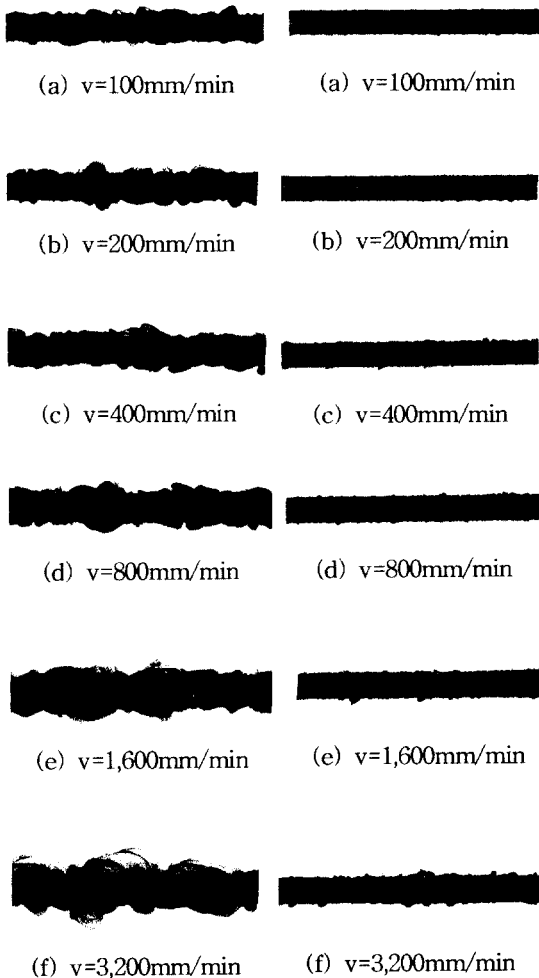


Fig.6 Chipping profile on glass

#### 4.4 초경합금의 최대 치핑크기의 변화

Fig.7에서 일반적인 홈가공 보다 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 홈가공이 치핑을 억제하는 효과가 큼을 알 수 있다. 초경합금은 취성재료이면서 고경도 재료이기 때문에 유리에 비해 최대 치핑크기가 수십배 적게 발생하는 것을 알 수 있다. #400숫돌의 일반적인 홈가공에는 가공조건에 따라 최대 치핑크기가 최소 5 $\mu$ m에서 최대 18 $\mu$ m이며, 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 경우는 최소 3 $\mu$ m에서 최대 10 $\mu$ m이다. #1000숫돌에서는 전체적으로 최대 치핑크기가 2 $\mu$ m에서 10 $\mu$ m의 범위에서 발생하는 것을 알 수 있고, 전해 인프로세스 드레싱을 한 것은 아주 미소한 치핑발생의 경우에도 치핑발생을 억제시키는 효과를 나타내는 것을 알 수 있다.

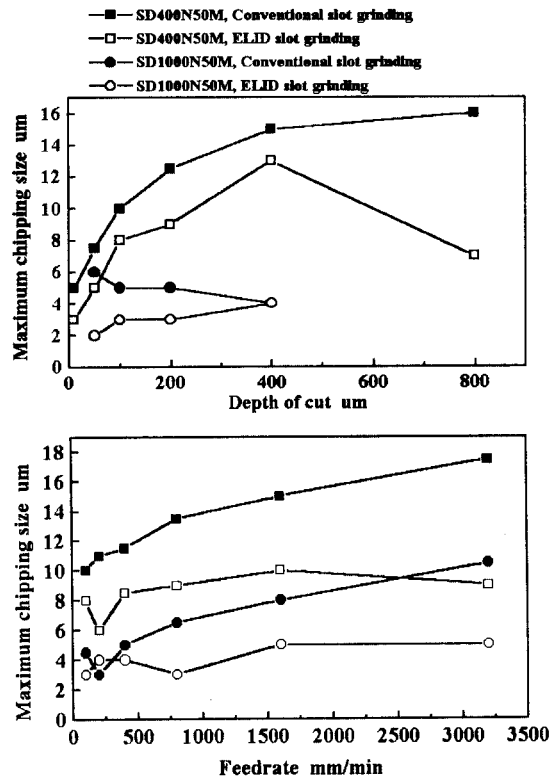


Fig.7 Effect of ELID on WC

#### 4.4 초경의 치핑현상

Fig.8 과 Fig.9는 스톨주속도 1,200m/min, 절입깊이 100 $\mu$ m, #400숫돌을 사용하여 각종 이송속도에서 홈가공을 한 후, 홈측면 에지부를 SEM촬영한 것이다. SEM촬영시 홈측면 에지부를 30° 경사시켰다. 최대 치핑크기는 홈측면 에지부의 수평방향으로 측정하였다.

Fig.8(a)는 이송속도 100mm/min이며, 일반적인 홈가공을 한 경우에 최대 치핑이 에지부에 10 $\mu$ m 발생했다. Fig 9(a)는 전해 인프로세스 드레싱을 한 경우이며, 최대 치핑크기는 8 $\mu$ m이다.

일반적인 홈가공을 한 경우에는 홈에지부의 수평방향과 수직방향의 치핑발생이 동시에 발생한 것을 알 수 있다. 하지만 전해 인프로세스 드레싱을 한 경우에는 홈에지부의 수직방향의 치핑은 거의 관찰할 수 없고, 수평방향의 최대 치핑크기도 감소한 것을 알 수 있다.

Fig 8(b)는 이송속도 3,200mm/min이며 최대 치핑크기는 18 $\mu$ m이다. 초경입자의 돌출된 모습을 관찰할 수 있고, 홈에지부의 수평방향의 치핑발생과 수직방향의 치핑발생을 분명하게 알 수 있다. Fig 9(b)는 전해 인프로세스 드레싱을 한 경우이며, 최대 치핑크기는 9 $\mu$ m이다. Fig 8(b)의 일반적인 홈가공과 비교했을 때 치핑크기가 매우 감소한 것을 알 수 있다. 전해 인프로세스 드레싱이 치핑발생 억제에 효과적임을 알 수 있다.

이송속도 3,200mm/min일 때 치핑이 크게 발생하는 것을 알 수 있고, 급속이송에 의한 홈측면부의 이송마크가 선명하게 나타난 것을 관찰할 수 있다.

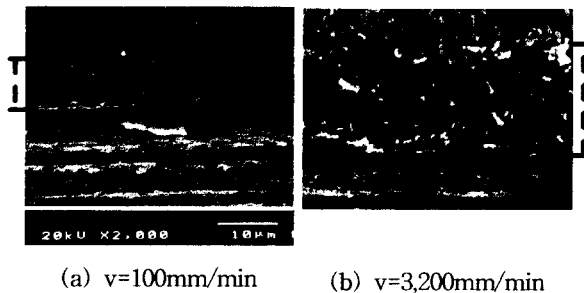


Fig.8 Chipping on tungsten carbide by conventional slot grinding

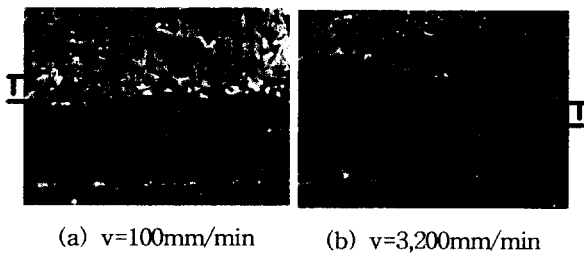


Fig.9 Chipping on tungsten carbide by ELID slot grinding

Fig.10은 #400숫돌, 숫돌주속도 1,200m/min, 절입깊이 800 $\mu$ m, 이송속도 100mm/min이면서 전해 인프로세스 드레싱을 하여 가공한 초경합금의 SEM사진이다.

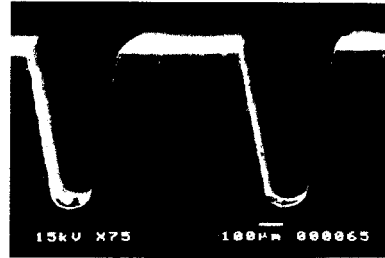


Fig.10 SEM Photographs of WC ground grooves using ELID

## 5. 결론

본 연구에서는 연삭에 의한 홈가공에 있어 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 것이 취성재료의 치핑발생을 억제하는 데 매우 효과적임을 알 수 있었다. 연삭에 의한 홈가공시 전해 인프로세스 드레싱의 영향을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 취성재료의 홈가공(Slot Grinding)에 있어 전해 인프로세스 드레싱을 적용하는 것이 치핑발생을 억제하는 데 매우 효과적이다.
- 2) 전해 인프로세스 드레싱을 한 숫돌표면은 숫돌입자의 돌출이 용이하며, 숫돌표면에 부도체 피막을 형성시킨다. 이런 현상들이 가공저항을 감소시키고, 치핑발생을 억제시키는 중요한 역할을 한다.
- 3) 치핑발생의 억제를 위한 효과적인 가공조건은 이송속도를 느리게 하고, 전해 인프로세스 드레싱을 적용하는 것이다.
- 4) 초경합금의 홈가공에서 전해 인프로세스 드레싱을 적용한 #1000숫돌의 경우, 최대 치핑크기는 2~5 $\mu$ m이다.

## 참고문헌

1. J.Ikeno, Y.Tani and A.Fukutani : Development of Chipping-Free Dicing Technology Applying Electrophoretic Deposition of Ultrafine Abrasives, Ann. CIRP, 40,1 (1991) 351
2. T.Matsuo and Y.Ohnbuchi: Slot Grinding of Steels and Ceramics with Superabrasive Wheels, Ann. CIRP, 37, 1 (1988) 315
3. H.Ohmori, et al: Mirror Surface Grinding by Metal Bonded Superabrasive Wheel with ELID, Progress in Precision Engineering, 1991, 152-165