

고품위의 내면연삭을 위한 연구

A Study on the High Quality Internal Grinding with Mirror-Shape

*#강재훈¹

*#J. H. Kang(jhkang@kimm.re.kr)¹

¹ 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부

Key words : Internal grinding, High quality, Mirror-shape, Diamond grinding wheel, Ceramic, Bearing steel

1. 서론

기존의 전해연속드레싱에 의한 고품위의 연삭가공에 있어서는 일반적으로 연삭숫돌에 대하여 가공공정 중에 연속적으로 전해작용을 인가하기 위하여 연삭숫돌의 가공부위 이외에 음극을 부여하기 위한 전극을 설치하는 것이 필수불가결하다. 그러나 전극이 가공방식이나 공작물의 형상 등에 의하여 제한을 받게 되는 경우에는 전해드레싱 작용과 가공을 반복적으로 수행하는 간헐식 전해드레싱 방법을 제안할 수도 있지만 내경이 매우 작고 길이가 길어 상대적으로 세장비가 높은 공작물에 있어서는 전해드레싱 시간에 비하여 가공시간이 상대적으로 매우 길게 되므로 전해드레싱의 효과를 충분히 활용하기가 곤란하다고 할 수 있다. 또한, 이와 같은 경향으로 인하여 입도가 높은 미세립형의 연삭숫돌을 사용하는 경우에 있어서는 상대적으로 낮은 전류의 공급에 의하여 부동태 피막층이 얇게 생성됨으로써 순수한 가공공정 중에 쉽게 제거될 수 있게 되어 안정된 지립의 절삭날끝 상태가 유지되기 곤란하도록 할 수 있다고 예측할 수 있다.

물론 내경연삭의 경우에 있어서 전극을 공구대에 부착하여 간헐적으로 전해드레싱을 수행할 수 있도록 특수한 어태치먼트를 설계, 제작하여 적용할 수 있으나 어태치먼트의 소형화에도 한계가 있고 전극과 공작물 간의 간격에 전해액을 원활하게 공급하는 것이 용이하지 않을 뿐만 아니라 작은 내경을 지닌 공작물에 대해서는 적용이 곤란하여 특히, 대부분의 미소형상을 지닌 부품의 경우에는 공작물의 내경이 작으므로 이 방식이 이상적으로 적용된다는 것은 곤란하다고 할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 공작물에 음극을 직접 접촉하여 전용전극의 역할을 대체한 새로운 비전극형 전해연속드레싱의 방식이 제안될 수 있으며, 전극을 활용하지 않는다는 의미에서 비전극형(Electrodeless type) 내경연삭 가공방식이라고 표현하였다. 물론 이와 같은 경우에 있어서는 전도성을 지닌 공작물에 대한 가공의 적용만이 가능하여 세라믹스 등 비전도성의 공작물에 대해서는 상대적으로 적용이 곤란하여 공작물의 재질에 따라 제한받을 수 있다.

2. 비전극형 전해드레싱 기구

전해연속드레싱에 의한 연삭의 경우에는 일반적으로 주철 본드형 다이아몬드 연삭숫돌에 양극을, 그리고 전극에 대하여 음극을 부여하고 일정한 간격을 두고 형성된 극간에 약도전성의 전해연삭액을 공급하도록 함으로써 펄스 작동/휴지 시간 등을 설정하여 적절한 부동태 피막층이 형성되도록 하였다. 그러나 비전극형 전해드레싱에 의한 연삭의 경우에는 전극을 대신하여 직접 공작물 측에 음극을 부여하도록 하기 때문에 연삭숫돌과 공작물 간에 발생될 수 있는 방전현상을 방지하기 위하여 연삭숫돌의 가공면에 충분한 전기적인 저항효과를 부여할 필요가 있다.

따라서 다이아몬드 및 CBN 연삭숫돌과 같은 초지립형 연삭숫돌의 경우에 채택되는 레진, 금속, 비트리화이드 등의 결합제들 중에서 소결 및 성형 공정과 전도성 등을 총합적으로 고려하여 금속-레진 복합결합제형 연삭숫돌을 설정하였다. 즉, 금속-레진 복합결합제형 연삭숫돌의 금속(구리)과 공작물간에 위치한 레진

(페놀계수지)이 적절한 전기적인 저항체 역할을 하게 되어 방전현상의 발생을 억제하며 금속과 공작물 간의 전기적인 분해작용에 의하여 드레싱이 이뤄짐으로써 부동태 피막층을 형성하도록 할 수 있다. 금속결합제로서 구리를 채택한 것은 충분한 전도성을 부여하기 위해서이며 레진결합제와의 혼합물은 사전의 예비실험을 통하여 도전성 및 방전현상을 특정하여 7:3으로 적절하게 설정하였다.

Fig.1에는 특수한 내경 연삭숫돌을 채택한 비전극형 전해드레싱의 미케니즘을 나타내었다. 공작물과 연삭숫돌 간의 간격은 약 0.1 mm가 되도록 설정하였으며, 극간에 부여하는 전해전류가 높아지게 되면 방전현상이 크게 발생될 것으로 추정된다. 예비실험을 통하여 60V, 6A의 전해 조건을 부여한 경우에는 방전현상으로 인하여 공작물의 가공면이 검게 되는 것을 확인할 수 있었으며, 60V, 4A 이하의 전해 조건일 경우에는 방전현상이 발생되지 않고 부동태 피막층이 적절하게 형성되어 양호한 가공면을 얻을 수 있었다.

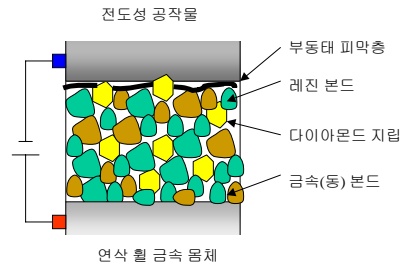


Fig.1 Electrodeless type electrolytic dressing mechanism using special internal grinding wheel

3. 내경연삭 실험과 조건

Fig.2,3에는 비전극형 전해드레싱 기구를 이용한 내경연삭 실험장치의 개략도와 사진을 각각 나타내었다.

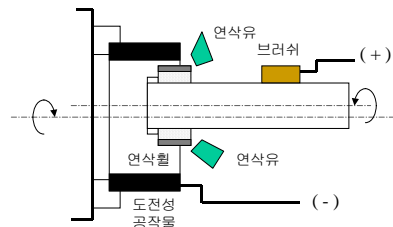


Fig.2 Schematic diagram of experimental system

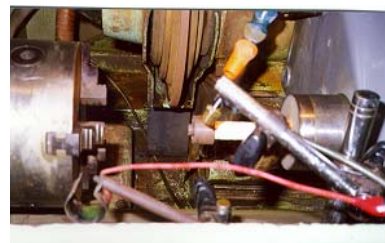


Fig.3 Photograph of experimental system

Table 1에는 가공실험의 조건을 나타내었다. 일반 원통연삭기에 전해드레싱 기구가 부가될 수 있는 내면연삭 장치와 전해전원을 인가하기 위한 공급장치를 장착하였으며, 주축속도의 무단변속 조절을 위하여 인버터를 부착하였다. 내경이 작은 공작물에 대한 실험을 위하여 직경과 너비가 동일한 20mm의 금속-레진 복합 결합체형 다이아몬드 연삭숫돌을 사용하였다. 공작물은 전도성을 지니는 재질로써 외경과 내경 및 길이가 각각 45, 35, 17mm인 베어링 강 및 SKD 강을 대상으로 하였다. 연삭숫돌은 내경연삭용 스피들 유닛에 브러시를 통하여 양극을 설정하였으며 공작물에는 연삭기의 베드 위에 마그네틱 베이스로 고정된 박판의 구리를 직접 접촉하도록 하여 음극을 설정하였다. 일반적으로 내경 연삭숫돌의 스피들 유닛은 직경이 작으므로 특히, 난삭재의 가공에 있어서는 휨 변형 등이 발생될 수 있다. 따라서 연삭숫돌의 장착용 스피들 어태치먼트는 동강성을 고려하여 유닛에 장착할 수 있는 최대한의 직경인 14mm로 하였으며, 길이는 공작물의 길이와 연삭숫돌의 너비 및 왕복운동의 행정길이 등을 감안하여 150mm로 하였다. 공작물에 부가된 전류가 적을 통하여 가공 시스템에 직접 전달되지 않도록 하기 위하여 공작물에 절연 테이프를 부착하여 가공 시스템의 척에 장착하였다.

Table 1 Experimental condition

Machining system	Universal cylindrical grinding M/C (MUG27/30-22)
Machining tool	Copper-Resin matrix bonded type diamond wheel (1A1 type, (D)20×(W)20mm, Concentration 100, #1200/2000/4000) Cast iron bonded type diamond wheel (1A1 type, (D)20×(W)30mm, Concentration 100, #325)
Power supply unit	90V/30A, Pulse on/off time 1μm(Min.)
Workpiece	Bearing steel ((D)45×(d)35×(L)17mm) SKD ((D)65×(d)40×(L)30mm)
Working fluid	Conductive electrolyte (50 times soluble)
Machining condition	Tool speed 6,000rpm, Workpiece speed 100rpm, Oscillation speed 0.3m/min, Depth of cut 1~4μm/pass

연삭숫돌의 초기 트루잉은 연삭숫돌 가공면의 진원도를 정형함으로써 채터진동 등을 방지하기 위하여 반드시 필요하며, 본 실험에서는 (D)80×(W)15mm의 C80M 카본 휠을 아머에 장착한 후 연삭기의 주축대에 부착하여 트루잉을 수행하였다. 트루잉 조건은 연삭숫돌 속도 6000rpm, 트루어 속도 200rpm, 테이블 이송속도 0.4m/min로 양단 절삭깊이량 5μm/pass를 가하는 한편, 연삭유를 약 1.5liter/min 정도 주입하여 연삭숫돌 가공면의 전면이 제거되는 시점에서 종료하였다.

4. 실험결과와 고찰

Fig.4에는 초기 트루잉과 전해드레싱을 수행한 직후의 금속-레진 복합결합체형 다이아몬드 연삭숫돌의 가공면 상태를 나타내었다. 연삭숫돌 가공면 상의 금속(구리) 결합체 성분은 전해드레싱 과정에 의하여 부분적으로 용출되는 한편, 바로 밀층의 금속(구리) 결합체들이 간혹 나타나고, 레진 결합체 성분들이 주로 존재하며 산화물의 부동태 피막층으로 형성되어 있음을 알 수 있다.

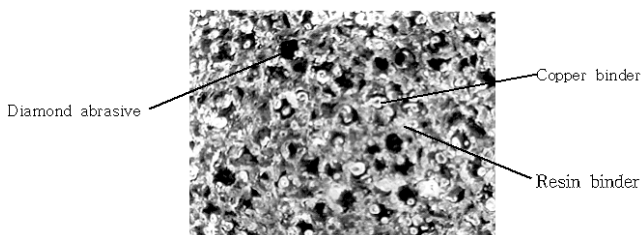


Fig.4 Initial tool surface status after truing and dressing

베어링 강 공작물의 기준면에 대하여 입도 1200과 2000/4000의

연삭숫돌로 양단 절삭깊이량 2,1μm/pass을 각각 부가하며 본 실험의 조건으로 단계적인 가공을 수행한 후에 측정된 공작물 가공면의 표면거칠기를 Fig.5에 비교하여 나타내었다. 입도 325의 연삭숫돌을 사용한 경우에 비하여 입도 1200의 연삭숫돌을 사용할 때 가공면거칠기가 현저히 개선되어 가공 능력 측면도 고려할 때 중간 다듬질 가공공정으로의 역할을 기대할 수 있었다. 또한, 입도 2000과 4000의 연삭숫돌을 사용한 경우는 표준편차를 고려할 때 모두 가공면거칠기 약 10 nm(Ra) 정도로 일반연삭의 경우에는 기대하기 곤란한 경면 품질을 생성할 수 있었다. 앞서 수행한 간헐식 전해드레싱에 의한 내경연삭의 경우와 가공면거칠기는 동일한 조건에서 유사하게 나타나나 가공패적이 전혀 나타나지 않는 상대적으로 더욱 경면의 가공면 품질을 획득할 수 있었으며, 이러한 결과는 가공공정 중에 연속적으로 전해드레싱이 이뤄지는 한편, 전해작용에 의하여 연삭숫돌의 가공면 상에 위치한 구리결합체는 거의 용출되고 상대적으로 탄성과 연성을 지닌 레진결합체가 주로 연삭숫돌과 공작물간에 접촉하여 작용하기 때문이라고 추정된다.

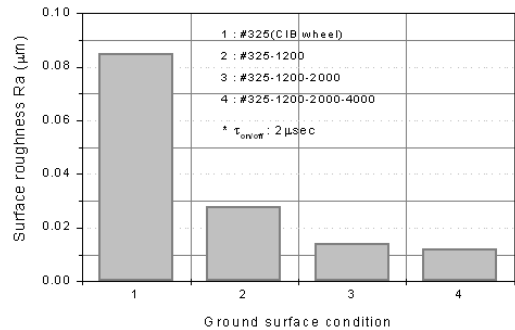


Fig.5 Comparison of machined surface roughness

Fig.6에는 입도 4000의 연삭숫돌로 최종 마무리 가공을 수행한 베어링 강 공작물 상태의 예를 사진으로 나타내었다. 좌측 공작물은 금속(주철) 결합체의 다이아몬드 연삭숫돌을 사용하여 간헐식 전해드레싱에 의한 내경연삭 가공방식으로 수행한 것이고, 우측 공작물은 금속(구리)-레진 복합결합체의 다이아몬드 연삭숫돌을 사용하여 비전극형 전해드레싱에 의한 내경연삭 가공방식으로 수행한 것이다. 공작물의 가공면 상태를 면밀히 관찰하면 공작물이 장착된 안쪽 끝단 부위의 모서리에서는 상대적으로 경면의 정도가 낮은 것을 확인할 수 있는 바, 이와 같은 결과는 가공면의 파형(기울기 각도)을 고려할 때 연삭숫돌의 마멸이 상대적으로 다소 쉽게 이뤄지기 때문이라고 추정된다.



Fig.6 Comparison of mirror-shape machined workpiece

5. 결론

전극의 설치가 곤란한 내경이 작고 길이가 긴 공작물을 대상으로 하여 경면급의 고품위 내면연삭 가공면을 생성하기 위하여 전극을 배제한 전해드레싱에 의한 가공 방식을 이화학연구소 제안하여 공동연구절차의 기초실험을 수행하였다. 적용이 가능한 공작물이 전도성을 지니는 재질이어야 한다는 제한을 받으나 가공면거칠기 약 10nm(Ra)정도의 경면품질을 달성할 수 있어 적절한 방식이 될 수 있다고 사료된다.