

◆특집◆ 지능형 연삭 가공 시스템 II

페룰의 연삭 가공 특성에 관한 연구

최영재*, 강은구*, 이석우*, 최현종*

A Study of Grinding Characteristic of Ferrule

Young Jae Choi*, Eun Goo Kang*, Seok Woo Lee*, Hon Zong Choi*

Key Words : Ferrule (페룰), Grinding (연삭), Co-axle Grinding Machine (동축가공기), Roundness (진원도), Concentricity (동심도), Cylindricity (원통도)

1. 서론

현재 수입되고 있는 연삭기는 대부분 가공 정밀도가 중요시 되는 각종 생산라인의 최종 가공 공정에 집중되어 있어서 부가가치가 높은 핵심부품의 생산기술의 개발도 외국의 정밀 연삭기에 의존하는 생산기술이 증속되어 있는 실정이다.

연삭기를 생산하는 국내기업의 기술을 분석한 결과, 연구 인력 및 경험부족으로 정밀도 향상에의 요구에 대응하지 못하고 있는 실정인데 이는 국내기업의 모델이 대부분 일본에서 생산중인 연삭기의 외형적인 장비모방에 의해 이루어진 것이어서 연삭기의 핵심요소들에 대한 재설계와 기능보완 등에 어려움을 겪고 있기 때문이다.

현재 페룰 가공용 연삭기는 일본이 전 세계의 95%의 시장을 장악하고 있으며, 국내의 일부 업체에서도 페룰 가공용 연삭기를 생산하고 있지만 정밀도가 필요하지 않은 가공공정에 사용되고 있을 뿐이며, 페룰 가공공정의 핵심 연삭공정에 사용되는 초정밀, 초미세 연삭시스템의 경우는 전량 수입되고 있는 실정이다.

현재 페룰 가공기술은 과거 전통적인 Wire를 이용한 Centerless 연삭가공 방식에서 초미세 Pin을 이용한 고속 원통연삭가공 방식으로 급속하게 변화하는 추세이다. 본 실험에서 사용된 동축가공기는 초미세 핀을 이용한 원통 연삭 방식의 가공기로서 가공기 본체와 제어기 및 주변시스템을 국내에서 개발하였다. 페룰의 가공 정밀도를 향상시키기 위해서는 페룰을 잡아주는 척킹(Chucking) 시스템의 양쪽 핀의 정렬이 마이크론 단위로 정밀하게 제어되어야 하고, 고속 대량생산을 위해서 스톨 축의 방진개념과 장비자체의 특수구조 및 척킹 시스템에 페룰을 착탈하기 위한 반송시스템뿐만 아니라 가공용 스톨의 종류와 회전수, 페룰을 회전시켜주는 조정자 스톨(regulating wheel)의 가압력과 회전수, 최적화된 가공조건 등이 요구된다.^{1,2,3} 그러나 현재 국내 연삭기 업체에서 생산되는 연삭시스템은 페룰을 전문적으로 가공하기 위하여 설계·제작된 것이 아니라 기존의 연삭시스템을 변경하는 정도이기 때문에 고급 페룰을 생산하기 위한 이러한 중요한 설계 변수들이 가공기의 제작에 적용되지 못하고 있기 때문에 정밀 가공공정에 사용되지 못하고 있는 실정이다. 이와 같이 국내의 일부업체에서 생산하는 동축가공기는 이미 사장되고 있는 구형의 가공방식과 생산 제품의 품질수준이 많이 뒤쳐져 있어 세계적인 페룰 업체와의 경쟁력에 심각한 격차를 보이고 있다. 또한,

* 한국생산기술연구원 나노가공팀

Tel. 041-589-8282, Fax. 041-589-8260

Email : youngjae@kitech.re.kr

생산 시스템 특히, 지능형 생산 시스템과 특수가공 분야에 관한 연구를 진행하고 있습니다.

수입되는 초정밀연삭기의 경우도 장비들이 매우 고가이기 때문에 제조원가에 막대한 영향을 미쳐서 국제적인 가격경쟁력이 더욱 저하되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 고기능성 부품인 페룰 가공을 위한 동축가공기를 제작하여 이를 이용하여 가공실험을 하였다. 페룰 가공 시 가공용 슷들의 회전수, 조정자 슷들의 압력과 회전수, 척킹 시스템의 오차 등을 실험 변수로 하여 가공 후 페룰의 진원도, 동심도, 원통도 등을 측정하여 페룰의 최적 가공조건을 선정하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치

본 연구에서는 페룰의 동축가공 시 최적 가공조건을 선정하기 위한 실험을 위하여 실험용 동축가공기를 제작하였다. 동축가공기에는 가공용 연삭 슷들과 페룰을 회전하기 위한 Regulating 슷들이 필요한데, 이러한 슷들을 회전하기 위하여 AC 서보모터를 사용하였고, 각 휠의 이송을 정밀 제어하기 위하여 초정밀급 리니어 가이드와 볼 스크류 및 1 μm 제어가 가능한 AC 서보모터를 사용하였다. 두 개 슷들의 이송과 회전을 제어하기 위하여 4축의 서보모듈들을 사용하였는데 이는 미쯔비시 Q-시리즈 PLC 컨트롤러와 펜티엄 PC를 이용하여 각 서보

모듈들을 제어하였다. 특히 기존의 키보드식이 아닌 터치스크린을 이용한 통신모듈을 별도 설치하여 실험장치 운용의 편의를 도모하였다.

서보기구와는 별도로 동축 가공 시 가공 정밀도에 영향을 미치는 페룰의 척킹 시스템은 주축 축과 심압대 측에 초경합금 다이아몬드 팁 센터를 이용하여 가공 시 발생하는 센터의 마멸을 최소화 시켰으며, 각 센터는 미세조정 나사가 있어서 연삭스틀과의 정렬을 조절할 수 있도록 하였다. 특히, 심압대 측에 압축공기를 이용한 특수 스피들 구조를 설계하였으며, 압축공기를 사용하여 페룰의 축 방향으로 가해지는 힘을 조정할 수 있게 함으로써, 동축 가공의 가공정밀도를 높일 수 있게 하였다. 이러한 척킹 시스템의 정렬오차는 가공 후 페룰의 가공정밀도에 영향을 미치기 때문에 아주 중요한 실험 변수가 된다. 따라서 본 실험에서는 척킹 시스템을 정렬을 맞춘 후 다른 변수들을 변화하면서 실험을 하였다. 그 외의 주변장치로 칩 제거를 위한 필터를 장착한 연삭유 공급 장치와 가공 중 분진제거를 위한 집진장치 등을 제작하였으며, 이러한 주변장치들과 구동장치부들을 통합제어 하기 위한 통합 제어부를 구성하였다. 통합 제어장치의 제어 프로그래밍 수정과 작업상의 편의를 위하여 PC와 통합제어부를 연결함으로써 PC와 PLC 제어의 장점만을 갖는 제어부를 구성하였다. 실험 장치의 사양

Table 1 Specifications of co-axle grinding machine

기본사양	1200×800×825		
가공 사양	가공물 지름 : 1-3mm, 가공물 길이 : 최대 12.5mm		
기계 사양	Grinding Wheel	최대이송속도	200mm/sec
		최대이송량	70mm
		최소설정단위	0.001mm
	스핀들	최대 휠회전수	7500rpm
	Regulating Wheel 이송테이블	최대이송속도	200mm/sec
		최대이송량	50mm
		최소설정단위	0.001mm
	Chucking System	센터형상	straight center
		센터각도	30, 60, 90 deg
		재질	초경합금, 다이아몬드 팁
		구동방식	공압실린더
		센터압	스프링 조정식

은 Table 1에 나타내었으며 Fig. 1은 실험 장치의 사진이다.

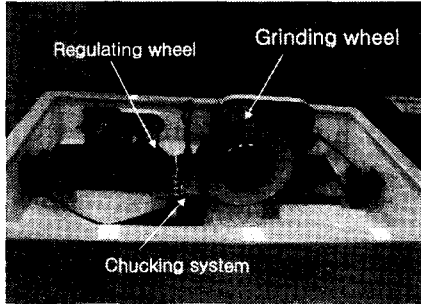


Fig. 1 Photograph of co-axle grinding machine

2.2 페룰의 측정

페룰의 동축 가공 실험을 한 후 외경공차 측정은 Fig. 2에 나타낸 것처럼 3점을 측정하여 비교하였다.

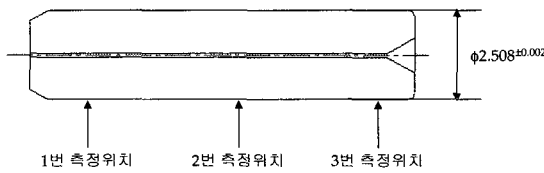


Fig. 2 Measurement position of Ferrule

실험 변수들을 변화하면서 페룰의 최적 가공조건을 선정하기 전에 연삭용 슷들과 페룰과의 직각도를 맞추는 작업을 하였다. 이는 페룰을 10개 가공한 후 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 세 곳의 외경을 측정하여 세 부분의 외경 차이가 0.002mm 이상이 발생하면 슷들과 페룰의 직각도가 나쁘다고 판단하여 척킹 시스템의 미세조정 나사를 이용하여 척킹 시스템의 정렬을 수정한 후 다시 페룰 10개를 가공하여 측정하는 방법으로 총 100개의 페룰을 가공하여 슷들과 페룰의 직각도 즉, 척킹 시스템의 정렬을 맞추었다. 또한 페룰의 진원도 측정은 접촉식 진원도 측정기로 선단과 후단 2포인트의 진원도를 측정하였는데 외경 측정과 동일한 방법으로 진원도를 맞추었다. 즉, 외경 치수와 진원도를 같이 측정을 하면서 원하는 오차 범위 내에 들어 올 때까지 척킹 시스템을 조정하였다.

페룰의 가공정밀도 중에서 중요한 것이 동심도

인데 동심도의 측정은 전수검사로써 가공되어진 모든 페룰을 검사하여야 한다. 따라서 동심도 측정의 정확도를 유지하면서 빠른 시간 내에 페룰을 측정하기 위하여 동심도 측정기를 크루셀텍(주)에서 개발하여 사용하였으며 Fig. 3에 개발된 동심도 측정기를 나타내었다.

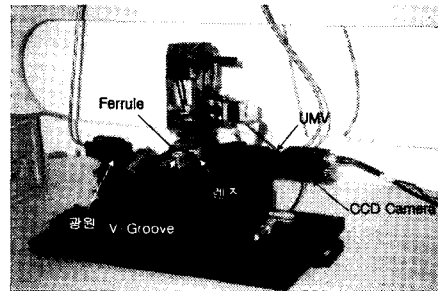


Fig. 3 Concentricity measurement device

동심도를 측정하는 방식은 20배율의 광학렌즈와 CCD Camera, VMU, Frame Grabber 등을 이용하여 광 페룰 선단의 내경을 확대, 형상화하고, 동일한 위치에서 광 페룰을 회전시키면서 내경을 측정하여 최종 동심도의 수치를 얻어내는 방식이다. 즉 동심도의 형상을 비접촉 방식으로 좌표측정을 하고, 측정된 값을 곡선맞춤(Curve fitting)함으로써 원하는 형상을 측정하는 방식이다. 개발된 측정기에는 Vision probe의 자동 초점 맞춤기능(Auto-focusing)과 물체의 외곽형상만을 강조하여 나타내는 에지(Edge) 검출기법 등이 사용되었다.

2.3 페룰 가공 실험

본 연구에서 선정한 페룰 가공의 실험변수는 가공용 슷들의 회전수, 조정자 슷들의 회전수와 절입량(가압력) 및 가공시의 절입 조건 등을 선정하였다. 이러한 실험 변수들의 기준은 현재 페룰을 생산하고 있는 업체들이 사용하고 있는 가공조건을 조사하여 선정한 후 실험을 진행하였다.

Fig. 4는 페룰 가공시의 슷들과 조정자와 페룰을 고정하기 위한 척킹 시스템을 나타낸 그림이다. 실험에 사용된 슷들은 레진본드 다이아몬드 슷들(SD140N100B)로서 최대 회전수는 7500rpm이며, 드레싱은 페룰을 약 1,000개 가공 후 실시하였다. 페룰의 동축가공 절입량은 총 50~90 μ m 정도였으며, 총 가공 싸이클 시간은 20초 정도였다.

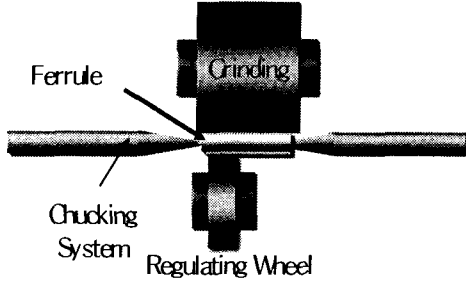


Fig. 4 Processing concept of ferrule grinding

3. 실험결과

3.1 가공 조건의 영향

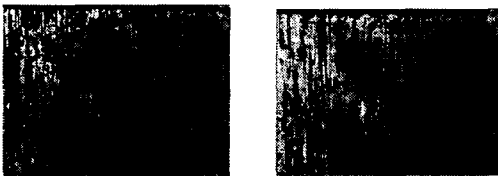
실험결과 페들의 Chucking 압력이 부족하거나 정렬이 되지 않으면 Fig. 5와 같이 페들의 형상이 측정 위치 1,2,3의 위치마다 치수가 일정 하지 않아 테이퍼가 지는 현상이 발생한다. 페를 가공에 사용된 연삭액의 특성을 알아보기 위하여 습식과 건식의 실험을 병행하였다. 가공 양이 많지 않아 표면 상태가 현격하게 차이 나지는 않지만 Fig. 6과 같이 페를 표면의 손상이 발생한다. Fig. 7은 센터핀의 변형이후 페들의 끝단이 파괴된 사진이다.

3.2 조정자의 속도 영향

조정자의 최적 가공 속도를 얻기 위하여 조정자의 속도만을 실험 변수로 하여 실험 결과 Table 2에



Fig. 5 Shape of ferrule after grinding



(a) State of surface after dry grinding (b) State of surface after wet grinding

Fig. 6 State of surface after grinding

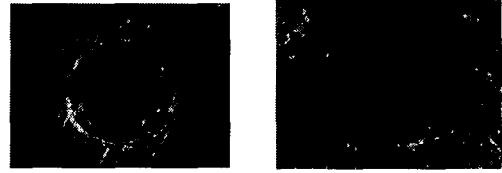


Fig. 7 Photograph of ferrule after damage

나타낸 것과 같이 가장 적절한 조정자의 속도는 1250rpm정도이었다. 조정자의 속도가 1250rpm 이상인 경우에는 척킹용 핀(pin)의 마모가 급속히 커지지만 진원도는 향상되는 결과가 나타났으며, 1250rpm 이하의 속도에서는 핀의 마모는 작아지나 연삭저항이 커지는 현상이 나타남을 알 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 조정자의 속도를 1250rpm으로 선정하여 다른 변수들을 변화하면서 실험 변수들이 페들의 가공정밀도에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 2 Grinding effect according to regulating wheel speed

인버터	소재회전수	
1Hz	27RPM	연삭저항 커지고 Pin의 마모는 작아짐
37Hz	1,000RPM	
46.3Hz	1,250RPM	적정회전수
55.5Hz	1,500RPM	Pin의 마모는 급속히 커지고 진원도는 향상됨
64.8Hz	1,750RPM	
74.0Hz	2,000RPM	

3.3 페들의 가공결과

페를 가공용 연삭숫들의 속도가 페들의 가공 정밀도에 미치는 영향에 대해서 알아보기 위하여 숫들의 속도를 변화하면서 실험한 결과 2800rpm에서 가장 좋은 가공정밀도를 얻을 수 있었다.

페들의 가공정밀도를 향상시키기 위한 최적 가공조건은 페들의 동심도, 진원도, 원통도를 측정하여 판단하였는데 숫들의 속도는 2800rpm에서 가장 최적의 가공 결과를 얻을 수 있었다. 아래의 Fig. 8은 숫들의 속도가 2800rpm일 때 페들의 동심도 분포로 나타내었다. 100개를 가공한 평균 동심도는 0.61 μ m 이었다.

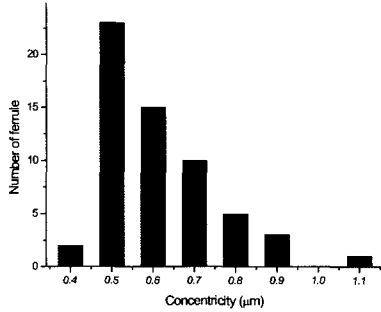


Fig. 8 Concentricity distribution of Ferrule

페룰의 최적 가공 조건을 선정하기 위하여 가공 후 페룰의 진원도는 Fig. 2의 측정 위치 1과 3번에서 측정하였으며, 원통도는 1,2,3번의 위치에서 측정하였다. 10개씩 페룰을 가공한 후 페룰의 진원도를 측정하여 가공용 숫들의 속도 및 조정자 축의 속도를 변화시켜 가면서 가장 좋은 페룰 가공 조건을 선정하였다. 앞에서와 같이 가공용 숫들의 회전 속도는 약 2800rpm, 조정자의 회전 속도는 약 1250rpm에서 진원도가 가장 좋게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 9은 페룰의 진원도 측정 결과로서 평균 진원도는 1.84μm 이었으며, Fig. 10은 원통도를 측정한 결과로 평균 2.506mm의 값을 얻을 수 있었다.

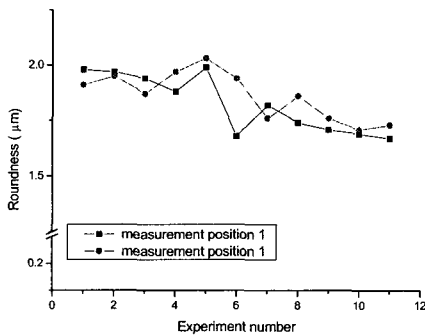


Fig. 9 Roundness of ferrule

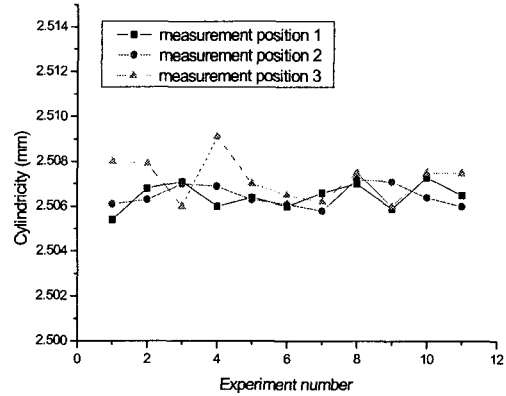


Fig. 10 Cylindricity of ferrule

4. 결론

본 연구에서는 고기능성 부품인 페룰의 최적 가공조건을 선정하기 위하여 페룰 동축가공기를 제작하였으며, 제작된 가공기를 이용하여 실험변수들을 변화하면서 가공 실험을 하여 페룰 가공을 위한 최적 가공조건을 선정하였다.

1. 가공용 숫들과 페룰의 직각도를 맞추기 위하여 가공 실험을 하면서 척킹 시스템의 미세조정 나사를 이용하여 척킹 용 핀의 정렬을 맞춘 후 가공 실험을 하였다.

2. 조정자의 속도에 따른 연삭 특성을 비교한 결과 최적의 조정자 속도는 1250rpm이었으며 조정자의 속도가 1250rpm 이상인 경우에는 척킹용 핀(pin)의 마모가 급속히 커지지만 진원도는 향상되는 결과가 나타났으며, 1250rpm 이하의 속도에서는 핀의 마모는 작아지나 연삭저항이 커졌다.

3. 가공 조건에 따른 페룰의 진원도, 원통도와 동심도 등을 측정하여 최적 가공조건을 선정한 결과 가공용 숫들의 최적 조건은 2800rpm임을 알 수 있었다.

4. 최적 가공 조건에서 100개의 페룰을 가공 한 후 측정된 결과의 평균값은 동심도 0.61μm, 진원도 1.84μm, 원통도 2.506mm이었다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 “고기능성 부품가공용 지능형 연삭시스템”의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Ohmori, H., Li, W., Makinouchi, A., Bandyopadhyay, B. P., "Efficient and precision grinding of small hard and brittle cylindrical parts by the centerless grinding process combined with electro-discharge truing and electrolytic in-process dressing," Journal of Materials Processing Technology, 98, pp. 322-327, 2000.
2. Ioan D. Marinescu, Hans K. Tonshoff, Ichiro Inasaki, Handbook of ceramic grinding and polishing, William Andrew Publishing, LLC, pp. 125-127, 1998.
3. Said Jahanmir, M. Ramulu, Philip Koshy, Machining of ceramics and composites, Marcel Dekker. INC, pp. 166-172.