

페룰 가공용 지능형 동축 연삭시스템 개발에 관한 연구

안건준[†] · 이호준^{*}

A Study on the development of intelligent coaxial grinding system

K. J. Ahn, H. J. Lee

Key Words: Ferrule (페룰), Grinding(연삭), Coaxial Grinding Machine(동축가공기), Roundness (진원도), Concentricity(동심도), Loading & Unloading system(공급 장치)

Abstract

Today the demand of the optical communication components has been increased. Zirconia Ferrule has become the one of the most important elements because it determines transmission efficiency and quality of information in the optical communication system. Grinding is the major process in the ferrule manufacturing process which require high processing precision. In this reseach, specially designed spindle, chucking system, loading & unloading system and cooling system, as a supporting experimental equipment for development of an Intelligent Coaxial Grinding System (ICGS) for Zirconia Ferrule processing, is developed. We are also analized the adaptability of ICGS in practical use, through the way of evaluation for the performance of the each systems above.

1. 서 론

페룰은, 광부품에 있어, 정보의 전송효율과 정보의 질을 결정하는 중요한 역할을 수행하는 부분으로 높은 정밀도가 요구되는 초정밀 부품이다. 고급 통신의 경우에는 페룰의 소재로 지르코니아(ZrO_2) 세라믹을 사용하고 있으며, 이에 따라 제품의 가공은 전적으로 연삭작업에 의존한다. 특히, 빛의 경로를 일정하게 유지하여 품질을 높이기 위해서는, 동축에 맞춰 외형을 가공해 주는

동축가공 기술이 페룰 가공라인의 30%를 차지하는 가장 중요한 가공공정이 된다. 페룰은 0.1 ~ 0.5 μm 의 동심도, $\pm 0.2\mu m$ 의 외경치수, 0.1 μm 대의 진원도와 원통도, 10 nm의 표면거칠기를 구현해야 세계적 경쟁력을 갖출수 있는 초미세, 초정밀 기계가공 부품이다. 이러한 가공정밀도를 구현하기 위한 동축가공 연삭시스템의 공정은 기존의 와이어를 이용한 센터리스 연삭 방식에서 초미세 센터핀을 이용한 초고속 원통연삭 방식으로 급속히 변화하게 되었으며, 일본의 2~3개 업체만이 상용화에 성공하였다. 국내 일부에서 생산된 장비는 구형의 가공방식을 채택한 장비이며, 생산된 페룰의 품질이 낮아 세계적인 페룰 업체와의 경쟁력에 있어서 격차를 보이고 있다.

페룰의 동축가공을 위해서는 우선 가공시 페룰을 지지하기 위한 센터핀이 장착된 척킹장치, 양 센터핀을 일직선상에 정렬하기 위한 미크론 단위로 조정 가능한 미세 조정장치, 페룰을 적절한 압력으로 척킹할 수 있는 척킹압력 조정장치, 고속 대량생산을 고려하여 방진이 가능한 주축 고

[†] 크루선택(주)

E-mail : charles@cruciatec.com

TEL : (041)548-3377 FAX : (041)548-3374

* 크루선택(주) 연구소

정장치, 가공 후에도 폐를 적절한 속도로 회전시키기 위한 휠, 그 외에도 고정도의 연삭유 정화장치, 가공중의 분진 비산을 방지하기 위한 집진장치 등을 필요로 한다. 본 연구에서는 폐의 가공공정 중에 지능형 동축가공 연삭시스템에 적합한 장치의 구조해석 및 설계를 통하여 기초 실험장치를 제작하고 제작된 실험장치를 통하여 폐의 동축가공에 대한 가공특성을 평가하여 최적의 지능형 동축가공 시스템 개발을 위한 각 요소별 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 지능형 연삭시스템의 설계

2.1 가공물(폐)의 요구 정밀도

지능형 동축가공 연삭시스템의 가공 대상물의 폐의 요구정밀도는 미세 내경 대비 외경의 중심도가 $0.5\mu\text{m}$ 이하를 요구하는 제품으로 상세 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Required accuracies of the SM ferrule

Applications	PM	SM	ALL
Outer Diameter(mm)	$\varnothing 2.499 \pm 0.0005$		
Inner Diameter(mm)	$\varnothing 0.125 \pm 0.001$		
Concentricity(μm)	≤ 0.5	≤ 1.0	
Material	Zirconia		

2.2 동축가공 연삭시스템의 해석

Fig. 1은 ANSYS를 이용하여 동축가공기를 가공에 의한 X, Y, Z방향의 변형 및 연삭력에 의한 변형을 분석한 그림이다. Z방향의 변형에서는 중심부분의 처침이 $4\mu\text{m}$ 로 가장 많았고, Y방향의 변형에서는 상부는 변형이 거의 없고 하부만 전후 방향으로 $3\mu\text{m}$ 정도 팽창하였다.

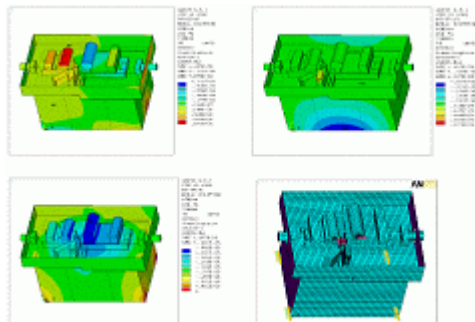


Fig. 1 Analysis of Co-axis Grinding Machine

2.3 지능형 동축가공 연삭시스템의 설계

본 연구에서는 지능형 동축가공 연삭시스템을 Grinding system, Chucking system, Loading & Unloading system, Cooling system의 4개의 Part로 나누어 설계, 제작하여 각 부의 성능평가를 하였으며, Table 2는 고품질의 폐를 가공하기 위한 지능형 동축가공 연삭시스템의 각 부분별 목표 사양으로 볼베어링 스피들의 Run-out이 $0.5\mu\text{m}$ 이하, 척킹 시스템의 척킹 정밀도 $0.3\mu\text{m}$ 이하, Center pin의 진원도 $0.3\mu\text{m}$ 이하, 폐를 Loading 및 Unloading 속도 10pcs/min이상을 목표 사양으로 정하여 설계하였다. 상세 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Specification of spindle and chucking system

Item	Specification	
Spindle	Radial stiffness(N/m)	≥ 100
	Radial Run-out(μm)	≤ 0.5
	Maximum speed(rpm)	10,000
	Vibration amplitude(μm)	≤ 0.5
	Heat generation($^{\circ}\text{C}$)	5
Chucking system	Chucking alignment(μm)	≤ 0.3
	Roundness of center pin	≤ 0.3
Loading & Unloading	Speed of Loading and Unloading(pcs/min)	≥ 10
Cooling system	Rate of purification(%)	≥ 95

2.3.1 Grinding system and Chucking system의 설계

폐의 동축가공을 하기 위해서는 복합적인 가공 요소들이 필요하지만 특히 마이크론(μm) 단위의 절입을 고려한 고정도의 이송계와 더불어 고정밀의 Run-out을 가지는 스피들이 요구 되어진다. 본 연구에서는 폐를 가공을 위한 고정도의 시스템을 갖추기 위해 Regulating 휠과 Grinding 휠을 회전시키기 위한 구동수단으로서 4축의 AC 서보모터를 사용하였고, 각 휠의 이송을 위하여 초정밀급 리니어 가이드와 볼스크류, AC 서보모터를 사용한 구동방식을 채택하였으며, 양산설비의 경제성을 고려하여 $0.3\mu\text{m}$ 의 Run-out을 가지는 볼베어링 타입의 Spindle을 설계, 제작 하였다. Fig. 2는 AC Servo motor에 의해 구동되어지는 이송계 및 RW wheel, Grinding wheel, Chucking system의 설계도를 나타낸 것이다.

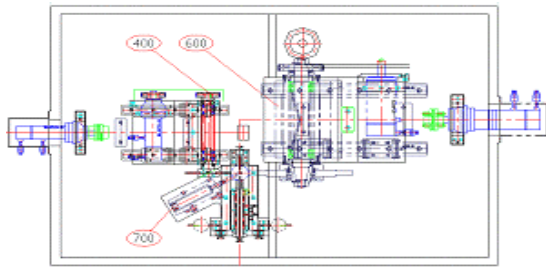


Fig. 2 Design for developed coaxial grinding system

광폐를 동축가공 공정에서 제품의 동심도에 가장 큰 영향을 미치는 기구Part는 연삭가공시 $\varnothing 125 \pm 1 \mu\text{m}$ 의 내경을 가지는 광폐를 Chucking 하는 Chucking system이다. 본 과제에서 개발한 척킹 시스템은 Fig. 3의 우측 도면과 같이 주축대와 심압대를 일체형으로 가공한 방식을 채택하였으며, Center Pin은 초경재질로 연마하였으며, 주축대에 삽입되는 Pin은 고정형으로 사용되고 심압대쪽의 Pin은 그림과 같이 본 연구에 전용으로 적용될 수 있는 유압 슬라이드 실린더와 에어를 이용한 Damping 실린더를 자체 설계하여 제작하였다. 심압대의 가운데 2개의 투명노즐은 공기가, 바깥쪽 검은색 노즐은 심압대핀의 윤활 역할을 하는 유압을 담당하는 구조로 폐를 Chucking 시에는 로봇 그리퍼에서 폐의 후단부 Counter-sink 부를 주축대 핀에 장착하면 심압대핀이 공압실린더와 유압 슬라이드 실린더의 파지력에 의해 폐를 선단부로 삽입이 된다. 동축가공이 끝나면 로봇 그리퍼가 폐를 잡고 심압대 핀이 후퇴해서 폐를 Unloading 하게 된다. 또한 심압대 하단부에 보이는 2개의 미세조절 Unit은 폐물과 휠의 직각도를 보정하기 위한 장치로서 폐를 5~6개 가공후 원통도를 측정하여 틀어진 량만큼 심압대를 보정하게 된다. 보정량은 수 마이크론 단위로 0.001mm 다이얼 게이지를 이용하여 미세조절 Unit을 통하여 보정하게 설계 하였다. Fig. 3은 동축가공용 스피들 모델링과 척킹시스템 도면을 나타낸다.

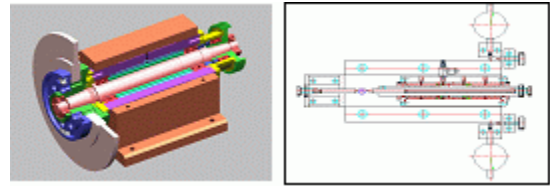


Fig. 3 Design of spindle and chucking system

2.3.2 Loading&Unloading system and Cooling system의 설계

생산성과 직결된 가공 사이클 타임은 실가공 시간보다 Loading & Unloading 시간이 더 많이 걸리므로 이러한 예비공정 시간을 줄여주는 것이 바람직하다. 더구나 폐를 Center pin에 Chucking 하기 위해서는 Loading 라인으로 넘어가는 폐의 앞뒤를 정확하게 판별하여 지속적으로 공급하여야 한다. 폐의 앞뒤판별을 위해서는 2개의 면적센서를 이용하며, 면적센서를 효율적으로 사용하기 위해서 Fig. 4의 좌측 도면에서와 같은 무진동 로타리 피더를 적용하였다. 그림에서 보여지는 것과 같이 피더가 회전하면 상부의 홀더에 폐물이 유입되어 1차 면적센서로 앞뒤를 판별하여, 폐물이 正방향이면 그대로 Loading tube를 타고 대기조로, 폐물의 방향이 반대방향이면 면적센서 밑에 위치한 로타리 실린더에서 폐물을 180°회전시켜 이동시키도록 하였다. 한 방향으로 선별되어 이동된 폐물을 Mitsubishi社의 5축 다관절 로봇 및 컨트롤러를 사용하여 척킹 시스템에 공급하는 구조이다.

Feed Robot

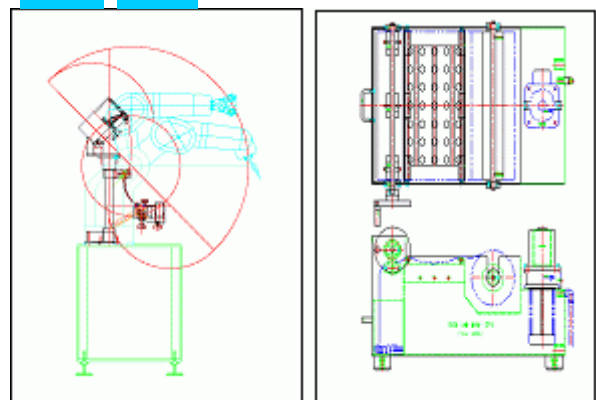


Fig. 4 Design of Loading & Unloading system and Cooling system

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치 제작 및 실험방법

Fig. 5는 지능형 동축가공 연삭시스템 시작품을 제작한 사진으로 실험을 하기위한 통합제어부를 구성하였다. 실험에서는 동축가공용 스피들의 Run-out 및 정강성, 척킹시스템의 척킹정밀도 및 Center pin의 진원도, Loading&Unloading system의 공급속도, Cooling system의 정화수율 등을 평가하였다.



Fig. 5 Test equipment for developed coaxial grinding system

동축가공기용 스피들의 성능평가는 Fig. 6은 스피들의 회전정밀도를 평가하기 위해 제작한 회전정밀도 측정용 장치로 센서의 분해능은 0.5nm까지 측정이 가능한 정전 용량형 센서를 사용하여 스피들의 회전정밀도 및 강성을 측정하였다. 회전정밀도의 측정은 Fig 6에서와 같이 스피들의 중앙, 내측, 외측의 3곳에서 측정을 하여 비교하였다.

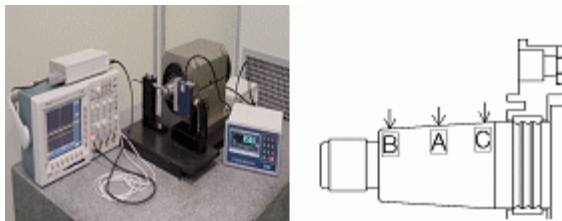


Fig. 6 Test equipment for Run-out and stiffness of spindle

초정밀 심압, 주축 Center pin set의 초미세 Alignment를 평가하기 위해서는 상대적인 비교실험을 하였다. 1 μ m의 눈금을 가지는 고배율 광학현미경을 이용하여 주축심압대의 좌우 측면과 바로 위의 3방향에 광학현미경을 고정시키고 심압대측 Center pin을 미소량씩 전진시키면서 Center pin간의 정렬상태를 각각 10회씩 확인하였으며,

Center pin의 진원도는 진원도 측정기를 사용하여 핀의 진원도를 측정하였다.

Loading&Unloading system의 성능평가는 피더에 총 100개의 페를을 공급하였으며, 모두 피더에서 앞뒤 판별을 정확하게 판별한 후 튜브를 타고 내려온 페를을 5축 다관절 로봇의 그리퍼가 대기하고 있다가 Chucking system의 Center pin에 정확하게 Loading하는 시간을 5차례 연속적으로 측정하였으며, Cooling system은 식 (1)을 사용하여 연삭유 정화 장치의 성능평가를 하였다.

$$\frac{B-C}{A} \times 100 \quad (1)$$

여기서 A : 가공전 연삭유 무게
B : 가공후 연삭유 무게
C : 연삭칩의 무게

를 나타내는 것으로 실제 가공후의 연삭유 무게에서 연삭칩의 무게를 제한 후 가공전 후 연삭유 무게를 비교하여 연삭유 정화장치의 성능을 평가하였다.



Fig. 7 Test equipment for cooling system

4. 결과 및 고찰

4.1 동축가공용 Spindle의 성능평가

스피들의 회전정밀도를 평가하기 위해 제작한 회전정밀도 측정용 장치로 센서의 분해능은 0.5nm까지 측정이 가능한 정전 용량형 센서를 사용하여 스피들의 회전정밀도를 측정하였다. 회전정밀도의 측정은 Fig. 8 에서와 같이 스피들의 중앙, 내측, 외측의 3곳에서 측정을 하여 비교하였으며 1회전시 Voltage변위를 측정한 결과 0.2 μ m (0.004V)로 나타났다.

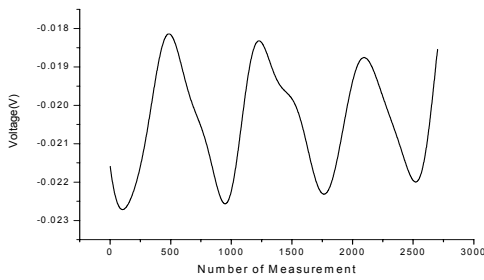


Fig. 8 Run-out of spindle system

스핀들의 강성은 전문대학교의 전용해석 S/W 인 CAE S/W를 이용하여 강성을 해석한 결과 레디얼 강성은 10,000[rpm]에서 반경방향의 강성이 108[N/ μ m]로 나타났다. Fig. 9는 제작한 스핀들을 로드셀과 Gap sensor를 사용하여 반경방향의 강성을 측정된 결과치를 나타내는 것으로 측정결과 10N의 힘을 가했을 경우 변위량이 0.1 μ m로 나타났으며, 40N의 힘에서는 변위량이 0.395 μ m로 나타나 반경방향의 강성이 100[N/ μ m]이상임을 알 수 있다.

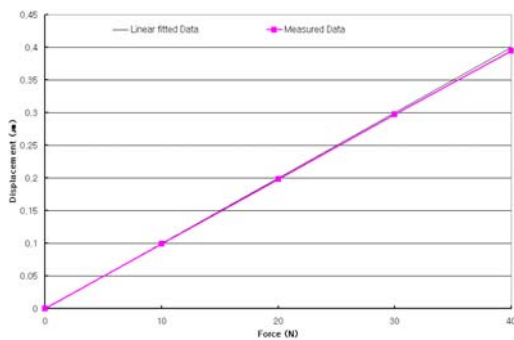


Fig. 9 Stiffness of spindle system

4.2 Chucking system의 성능평가

1 μ m의 눈금을 가지는 고배율 광학현미경을 이용하여 주축심압대의 좌우 측면과 바로 위의 3방향에 광학현미경을 고정시키고 심압대측 Center pin을 미소량씩 전진시키면서 10회씩의 실험한 결과 광학현미경의 1 μ m눈금 이내에서 정렬되는 것으로 확인되었지만 정확한 값의 측정에는 비전시스템등을 이용하여 재 측정해야 할 것으로 판단되어 향후 실시 예정이다.

내경이 125 μ m인 광폐물을 동축가공 공정 동안 정밀하게 Chucking하기 위해서는 Center pin의 반복능도 중요하지만 Center pin tip의 미세형상과

진원도도 상당히 중요한 인자이다. 실험에 사용한 미세 Pin 20set의 최선단 팁에서 1mm떨어진 부위의 진원도를 Mitutoyo社의 RA-2000AS/AH기종으로 측정된 결과 그림 Fig. 10에서와 같이 가공한 전체 20set의 Center pin의 경우 평균 진원도가 0.1 μ m로 나타나 설계 목표치인 0.3 μ m이하 보다 우수한 성능을 보였다.

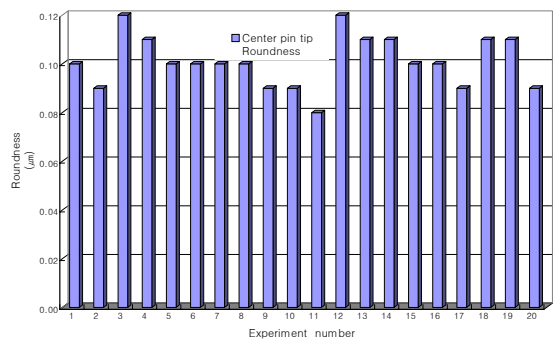


Fig. 10 Roundness of center pin

4.3 Loading&Unloading system의 성능평가

앞뒤 방향이 판별된 폐물을 5축 다관절 로봇이 Chucking system의 Center pin에 정확하게 Loading 하는 시간을 5차례 연속적으로 측정된 결과 Table 3에서와 같이 평균 5.448초로 나타났다. Fig. 11은 가공물의 공급시간을 나타내는 그래프로서 A는 폐물의 분당 공급속도를 나타내며, B는 폐물의 개당 공급 속도로 폐물 한 개당 평균 11.01 pcs/min으로 공급이 가능한 것으로 나타났다.

Table 3 Measurement of loading&unloading time

구분	1	2	3	4	5	Average
Total loading time	549	552	541	532	550	544.8
1pcs loading time	5.49	5.52	5.41	5.32	5.50	5.448
velocity of supply	10.92	10.87	11.09	11.28	10.9	11.01

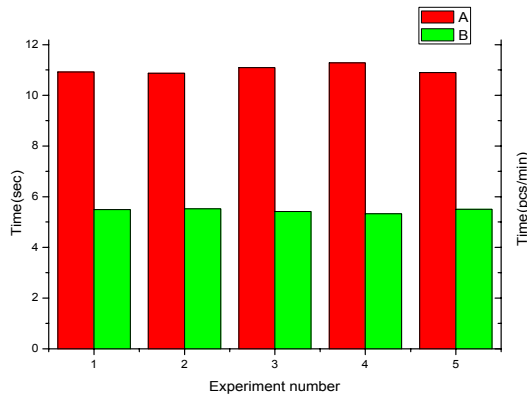


Fig. 11 Result of efficiency test at loading system

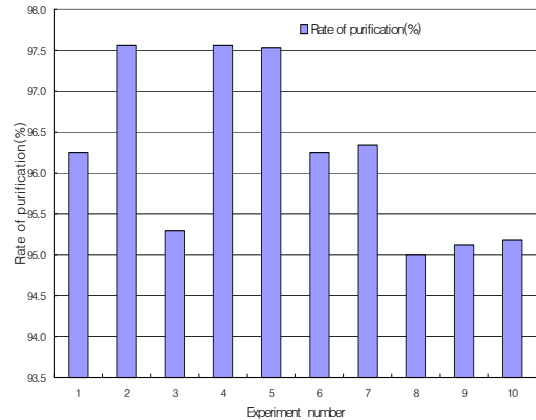


Fig. 13 Purification rate of cooling system

4.4 Cooling system의 성능평가

Fig. 12는 지르코니아 세라믹 파우더가 연삭유 정화장치를 통과 하기 전, 후의 무게 값을 비교한 그래프이며 Fig. 13은 비교 분석한 지르코니아 파우더의 무게를 식(1)에 의하여 연삭유 정화 수율을 나타낸 그래프로 그림에서와 같이 정화수율이 평균 96.2%나타나 동축가공용 Cooling system으로 사용하기에 이상이 없는 것으로 판단된다.

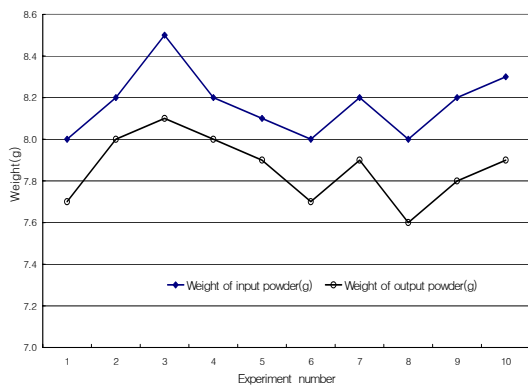


Fig. 12 Compared the first weight with the last weight of ZrO₂

4. 결론

본 연구에서는 페룰 가공용 지능형 동축가공 연삭시스템 개발을 위한 기초실험으로 스핀들, 척킹시스템, Loading&Unloading system, Cooling system을 설계, 제작하고 실험을 통해 실용상 적용 가능성을 분석하였으며, 그 결과 페룰의 목표 동심도를 가공하기 위한 동축가공 연삭시스템의 각 장치별 기본 자료를 제공하고자 하였다. 구체적인 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 마이크론 단위의 페룰 가공을 위한 동축가공용 볼베어링 스핀들을 제작하여 실험한 결과 회전정밀도 0.2 μ m, 반경방향의 강성 평균 101N/ μ m를 나타내었다.
- 2) 척킹 시스템의 척킹 정밀도를 광학 현미경을 사용하여 측정한 결과 1 μ m이하를 나타내었으며, 척킹용 Center pin을 제작하여 성능평가를 한 결과 평균진원도가 0.12 μ m로 나타났다.
- 3) Loading & Unloading system에서 페룰의 개당 공급 속도를 측정된 결과 평균 11.01pcs/min의 공급이 가능한 것으로 나타났다.
- 4) Cooling system의 시험결과 지르코니아 파우더의 정화수율이 96.2%로 나타나 동축가공용 연삭유 정화 장치로 적용 가능함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 중기거점 과제인 고기능성 부품 가공용 지능형 연삭시스템 개발 의 연구

결과의 일부이며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) H.-J. Lee, K.-J. Ahn, D.-K. Kim, S.-J. Lee, H.-Z. Choi, Y.-J. Choi, 2003, "Evaluation of Machining Characteristics according to the Chucking Pressure, Design, and Production for Developing Coaxial Grinding system of Light communicative Ferrule", J. of KSPE, Vol. 20. No 7. pp7-12
- (2) Dong-Kil Kim, Young-Tae Kim and Sang-Jo Lee, 2002 "A study on the chucking alignment error analysis in coaxial grinding of ferrule", KSPE Summer Conference, pp. 9-14
- (3) C. H. Park, I. C. Kim, Y. K. Chung and H. S. Lee, 2003, "Study on the Floating Couplings for High Precision Feeding with Ballscrew," J. of KSPE, Vol. 14, No. 5, pp157-163, 1997.