

광학소자가공방법(절삭①)

# 연질 재료의 초정밀 경면 절삭

단결정 다이아몬드 바이트를 공구로 이용하는 초정밀 절삭 기술은 원래 광학 부품의 고정밀 고능률 가공을 목표로 개발된 기술이다. 특히 미국에서는 우주, 군사, 핵융합 등의 광학 부품 가공에 응용돼 걸프전 때 '사막의 폭풍 작전'에 이용하기 위해 24인치 x 36인치의 대형 거울을 단기간에 제작한 경위가 학회에 발표되기도 했다.<sup>5)</sup> 그 외에도 미국 뿐만 아니라 유럽에서도 같은 대형 거울을 제작한 보고가 있다.<sup>6)</sup>

편집자 주

## 1. 특징

절삭 가공은 제거 가공 중 가장 광범위하게 이용되고 있는 기본적인 가공법이며 능률이 높다는 특징과 공구와 피삭재의 접촉점, 즉 가공점 파악이 가능하여 모성 원리에 따른 가공을 가장 쉽게 실현할 수 있다는 특징을 갖는다. 예를 들면, 유리(遊離) 지립 가공에서는 가공 중의 공구, 지립, 공작물의 상호 관계를 전혀 관리할 수 없고 연삭 가공에서도 지립과 피삭재의 진짜 접촉점이 명확하지 않은 것과 대비된다.

광학 부품이 대상이 되는 고정밀 가공을 생각했을 때 절삭 가공에 있어 문제가 되는 것은 큰 가공 반발력이 공작 기계의 변위를 초래하여 가공 지령값과 가공 치수에 괴리가 생긴다는 점과 표면 거칠기가 커지는 것이다. 그러나 가공 재료로 알루미늄, 동 등과 같은 금속 또는 플라스틱 등 연질 재료를 날카로운 단결정 다이아몬드 공구를 이용해 절삭 가공하면 가공면에 대한 공구의 전사성이 매우 좋기 때문에 공구의 날끝 형상과 형상과 이송량

으로 계산할 수 있는 이론 표면 거칠기에 아주 가까운 값의 가공 표면을 얻을 수 있다. 즉 이송량을 적게 하면 경면과 같이 표면 거칠기도 낮출 수 있다. 또 작게 절입함에 따라 가공 반발력을 줄여 공구 궤적과의 괴리가 적은 가공 형상 및 치수를 실현할 수 있다.

이것은 종래 시행되어온 래핑, 폴리싱 등이 가공 치수/형상의 측정과 가공이 반복되기 때문에 가공 시간이 걸리는 데 반해 높은 생산성을 기대할 수 있는 이점이 있다. 또 폴리싱 등 유리 지립 가공에서는 얼룩 등 공구 형상이나 손상 및 마모에 기인하는 형상 정밀도의 열화가 현안이 되는 경우도 많지만 초정밀 절삭에서는 그런 걱정이 없는 것도 본 기술의 적용을 고려할 때 중요한 요소가 된다.

## 2. 용도

초정밀 다이아몬드 절삭에 의해 제작된(혹은 제작되었던) 부품

에는 알루미늄 합금을 재료로 사용한 자기 디스크, 폴리곤 미러 (Polygon Mirror), VTR 실린더, 복사기용 감광 드럼 등이 있다. 무산소 동을 재료로 하는 것에는 레이저 가공기용 평면·구면·비구면(포물면 등) 거울이 있다. 유기물(플라스틱)을 재료로 하는 것에는 콘택트렌즈, 광학기기용 비구면 렌즈 등이 있다. 이들 부품은 높은 정밀도와 높은 양산성 모두가 요구되는 경우가 많다. 바꾸어 말하면 이들 부품 가공에 초정밀 경면 절삭 기술을 적용함에 따라 이들 고정밀 부품의 비약적인 저비용화가 실현되었다고 할 수 있다.

### 3. 장치

초정밀 절삭에 이용되는 가공기는 초정밀 가공기라 불리는 기계로 매우 정밀한 기계 요소, 미세한 위치·속도 제어를 이용해 진동 제어, 열 변위 대책을 고려하여 설계되어 있다. 기본적으로는 절삭 가공기이지만 연삭 스펀들을 추가함으로써 연삭 가공이 가능한 기계도 많다.

주축 스펀들, 직선 안내에는 공기 또는 기름의 유체 정압 베어링이 이용된다. 정압 베어링은 유체를 이용함에 따라 베어링 간극이 평균화되는 효과를 기대할 수 있으며 높은 정밀도를 실현할 수 있기 때문에 이용되고 있다. 공기 정압 베어링과 기름 정압 베어링을 비교하면 일반적으로 강성일 경우 기름 정압 베어링이 발열, 고속성, 가격 면에서 공기 정압 베어링보다 뛰어나지 않기 때문에 주축 스펀들에 공기 정압, 직선 안내에 기름 정압을 이용하는 등 두 가지를 조합하여 만들어진 기계가 많지만 가공 대상 등에 따라 독자성을 갖기 때문에 다르게 조합된 기계도 있다.

가공기의 축 수는 X, Z 2축으로 된 기계가 많지만 비구면을 대상으로 한 가공기 등에서는 1축(B축 등)이 더 추가된 것도 있다. 콘택트렌즈 대상 기계의 경우 R,  $\theta$  2축으로 된 기계도 있다. 또 표면에 미세한 요철 가공을 하거나, 편차량이 큰 비구면을 가공하기 위해 공구대를 피에조 소자 등으로 미세한 양이지만 고속으로 구동하는 Fast Tool Servo라는 장치를 추가하는 경우도 있다.<sup>7)</sup>

기계의 진동은 가공물의 표면 거칠기의 열화를 초래하기 때문에 진동에 대한 대책은 중요하다. 예를 들어 자기 커플링을 이용해 주축 모터의 진동을 차단하거나, 에어 댐퍼로 바닥 진동의 영향을 줄이는 등의 대책이 이루어지고 있다. 또 가공기의 베이스도 진동의 감소나 기계 구조의 경시변화 상 중요하기 때문에 주철을 사용하는 경우에는 충분한 열처리를 하거나 화강암이나 레진 콘크리트를 베이스 재료로 이용한다.

또 고정밀도 특히 높은 형상 정밀도를 실현하기 위해서는 열 대책이 최종적인 장벽이 되는 경우가 많다. 이 때문에 가공기의 구조 재료에 열변형이 적은 재료 (엠버나 제로듀)를 사용하거나 대칭성을 감안하여 배치하는 설계 상의 조정이 이루어진다. 특수

한 예로는 온도 관리된 기름을 기계가 닿는 곳에 분사하는 '오일 샤워' 기계도 있다.

### 4. 공구

초정밀 경면 절삭에 이용된 공구는 단결정 다이아몬드 바이트이다. 다이아몬드를 연마할 때 생성될 수 있는 매우 날카로운 에지(edge)가 미세한 절입을 이용한 절삭을 가능케 하는 것이다. 절삭날의 예리함 즉, 절삭날 모서리 곡률 반경의 경우 확실한 값이 필요한 것은 아니지만 검출기가 2개인 SEM을 이용한 측정 결과에서는 신폴 바이트일 경우 50nm정도, 가공 중에 마모된 경우 0.3 $\mu$ m정도이다.<sup>8)</sup>

절삭날의 형상은 직선인 것(평 바이트)과 원호상인 것(R 바이트)이 있으며 가공물 재질이나 가공 사양에 따라 구분해서 사용한다. 일반적으로 평 바이트가 가공면 거칠기의 극소화와 고능률화 모두를 만족시킬 수 있지만 공구 설정각의 영향이 크다는<sup>9,10)</sup> 점에는 주의할 필요가 있다. R 바이트의 경우에는 공구 설정각을 고려할 필요는 없지만 기계 진동의 영향이 평 바이트보다 크다는<sup>11)</sup> 문제가 있다.

2축 제어 기계를 이용해 R 바이트로 비구면 형상을 가공할 때에는 가공점이 시시각각 이동하기 때문에 R 형상의 정밀도가 가공 후의 형상에 그대로 영향을 준다. 따라서 이와 같은 용도의 R 바이트는 높은 형상 정밀도가 요구되며 실제로 R 정밀도 0.1 $\mu$ m 이하의 바이트가 공급되고 있다.

다이아몬드는 철계 재료와는 화학적 친화성이 높기 때문에 경면 절삭하기는 어렵다. 철계 재료를 경면 절삭할 수 있다면 초정밀 경면 절삭 기술의 적용 확대에 많은 기여를 하게 되므로 단결정 다이아몬드, 다결정 CBN 바이트, 단결정 CBN 바이트 등에 의한 경면 절삭<sup>12)</sup>이 시도되고 있지만 실용적으로 만족스러운 결과는 얻지 못하고 있다. 다이아몬드로 가공할 때 철과 다이아몬드의 접촉이 경면 가공을 방해하는 것으로 추정되기 때문에 양쪽의 접촉 시간을 감소시킬 목적으로 공구에 진동을 주면서 가공하는 시도도 이루어지고 있다.<sup>13,14)</sup>

### 5. 피삭재

초정밀 경면 절삭에 있어서는 보통 절삭에서는 문제가 되지 않는 미세한 개재물을 파냄으로써 생기는 굽힌 자국, 결정립의 역학적 이방성에 기인하는 결정립계 단차, 가공 전의 압연이나 열이력에 기인하는 변형 등이 문제가 된다.<sup>15)</sup> 따라서 특히 고순도의 재료나 작은 결정립으로 된 재료 등이 초정밀 경면 절삭용 재료로 공급된다. 또 재료 압연시의 영향을 감안해 표층을 제거한 뒤에 가공하거나 열처리 후에 가공한다.

6. 가공 기술

초정밀 절삭에는 일반 절삭과 같이 공구는 고정하고 공작물이 회전해 가공하는 선삭과 공작물을 고정하고 공구가 회전해 가공하는 밀링이 있다. 그 외에 공구를 직진 운동시키는 플레이너 방식의 가공과 공구 공작물과 함께 회전시키는 가공이 있지만 특수한 용도로 제한된다. 밀링의 경우 보통 프레이즈 공구와 같은 다날 공구가 아니라 단날 공구를 이용하는 경우가 많기 때문에 플라이 커팅이라고 한다.

선삭으로 평면을 가공하는 경우에는 연속 절삭이 가능하지만 가공 진행과 함께 절삭 속도가 변화하여 중심부에서는 가공 속도가 제로가 되는 문제가 있다. 단 제로가 되는 경우를 제외하면 절삭 속도가 크게 변화해도 표면 거칠기나 형상 정밀도에는 그다지 변화가 생기지 않는 것으로 알려져 있다. 한편 플라이 커팅의 경우 단속 절삭이 되므로 공구와 가공물과의 접촉 개시나 종료 시에 과대한 절삭 저항이 작용하고, 절삭 저항이 작용하는 방향이 변화하는 등의 문제가 있지만 일정한 절삭 속도로 가공할 수 있고, 회전체의 질량이 변화하지 않는 등의 이점도 있다. 가공물의 형상 및 그 외의 사양에 따라 선삭과 플라이 커팅을 구별해 이용한다. 구면을 가공하는 경우에는 선삭 방식에서는 공구를 NC 제어해야 하지만 플라이 커팅 방식에서는 공구와 공작물의 기하학적 배치에 따라 공구 궤적으로 구면을 창성할 수 있다. 타원면일 때도 마찬가지이다. 원통 형상(드럼 등)을 가공할 경우에는 선삭 방식이 이용된다.

실제로 가공할 때에는 공구 세팅이 큰 문제가 된다. 공구의 위치 설정이 가공 정밀도에 영향을 주는 것은 일반 절삭 시에도 마찬가지이지만 초정밀 절삭의 경우에는 필요한 세팅 정밀도가 1 $\mu$ m 이하인 경우도 많다. 일반적으로는 접촉 감지를 사용한 툴(Tool) 세팅이 실시되지만 충격에 의한 공구 파손이나 오염을 감안해야 하므로 비접촉 툴 세팅이 검토된다. 주로 광학적인 관측과 화상 처리 조합에 의한 방법이 있지만 디포커스를 이용하는 방법<sup>16)</sup>이나 카메라 3대로 3축 방향에서 관측하는 방법<sup>17)</sup> 등이 시도되고 있다.

또 초정밀 경면 절삭 중 하나인 주요 응용 가공에 비구면(광학면) 창성 가공이 있다. 이 경우에는 NC 제어로 가공하는 것이지만 NC의 제어 단위가 0.01 $\mu$ m나 0.001 $\mu$ m가 되는 일반 NC와 비교해 큰 자릿수의 연산을 해야 하는 문제와 고분해능의 위치 피드백, 속도 피드백에 대응하기 위한 특별한 NC 장치가 필요하다는 문제가 있다. 또 비구면 가공 NC 지령의 프로그래밍에 대해서도 몇 가지 제한<sup>18,19)</sup>이 있다.

가공 중의 상태 변수를 관측해 가공을 적응제어하는 시도도 몇 번 있었지만<sup>20)</sup> 아직 실용 단계에는 이르지 못하고 있다. 초정밀 절삭은 일종의 극한 상황에서 수행되기 때문에 예를 들어 제어에 따른 가공 중의 파라미터 변화가 다른 요인에 영향을 줘 좋은 결

과를 얻기 힘들다는 것도 이 기술의 어려운 점이라고 할 수 있다.

7. 가공 현상

그림 1은 초정밀 절삭의 가공 요인 상관도를 나타낸 것이다. 왼쪽부터 순서대로 '가공 조건', 그에 따라 일어나는 '작용', 그에 따라 나타나는(관측 가능한) '현상', 얻을 수 있는 '가공 품질'이 열거되어 있다. 또 그림 2는 가공 중의 가공 현상을 나타낸 모식도이다. 초정밀 절삭에서는 공구 날끝의 곡률 반경과 절입이 매우 근접한 오더 크기가 된다.

가공 중의 공구를 밀어붙이는 힘에 의한 탄성 변형이 가공 후에 회복하는 현상(스프링 백)은 일반 절삭에서는 무시할 수 있는 크기이지만 초정밀 경면 절삭에서는 가공 현상에 영향을 주게 된다. 이것은 날끝의 마모에 따른 절삭날 모서리 곡률 반경의 증가에 현저하게 좌우된다. 배니싱(Vanishing)은 가공 중의 탄성 변형 때문에 공구 회피면에 의해 가공면이 비벼지는 현상을 말한

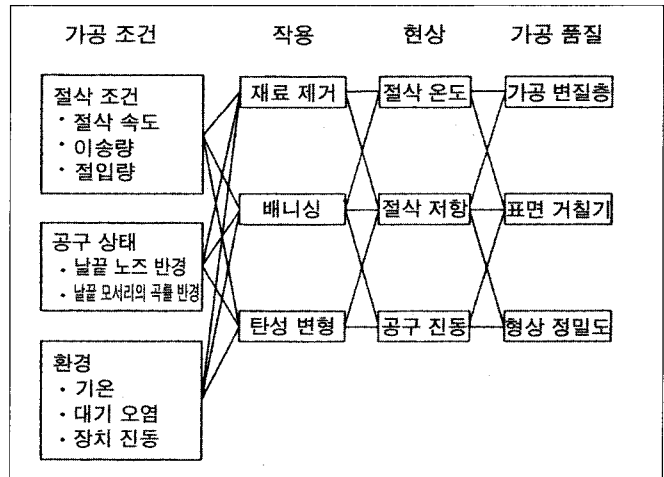


그림 1. 초정밀 다이아몬드 절삭에서의 각종 인자 관계

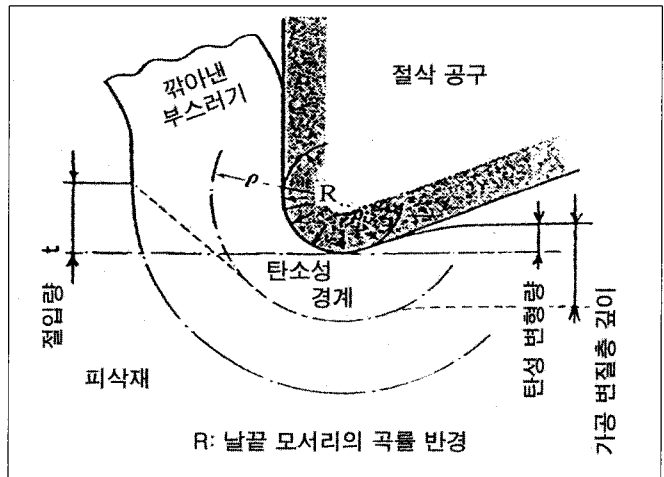


그림 2. 가공 상태 모식도

다. 표면 거칠기는 향상될 수도 있지만 가공 변질층(표면 잔류 응력) 증대가 염려된다. 탄성 변형량의 많고 적음, 공구인 다이아몬드와 피 가공물과의 화학적인 친화성 등이 영향을 주는 것으로 보인다.

절삭열의 경우 가공 단위가 작기 때문에 가공물 전체의 온도 상승은 그다지 크지 않지만 가공점에서는 상당한 고온(가공물의 용점 부근)이 측정된다.<sup>22)</sup>

가공 후의 가공 변질층은 역시 가공 단위가 작기 때문에 일반 절삭에 비하면 매우 작지만 정해진 치수로 절입 가공을 하기 때문에 유리 지립 폴리싱 등과 비교하면 커진다. 공구가 마모되어 날 끝 모서리의 곡률 반경이 커지면 표면 거칠기는 그다지 나빠지지 않더라도 잔류 응력 존재 깊이가 늘어나고 박판 재료는 휘어져 나타나는 경우도 있다.<sup>22)</sup>

해결해야 하는 과제로 공구 마모 문제가 있다. 이것은 가공 메커니즘 상 규명해야 하는 과제일 뿐만 아니라 장시간 가공에 있어 가공 정밀도 열화, 초정밀 절삭 기술 적용 재료의 확대라는 실용적인 관점에서 중요하다. 다이아몬드 공구의 마모 과정을 규명하고 제어하는 직접적인 접근과 피삭재 종류에 맞는 새로운 공구 재료 발견, 마모를 억제할 수 있는 가공 프로세스 개발 등의 접근이 기대된다.<sup>23)</sup>

초정밀 절삭 가공 중 제반 현상을 이해하기 위한 가공 모델 구축은 다양하게 시도되고 있으며<sup>24-27)</sup>, 현상 이해도 좀더 진전되기를 기대한다.

### 8. 마이크로 가공으로의 확대

최근 동향에서 주목할 만한 것으로 초정밀 절삭 기술이 마이크로 가공으로 확대되고 있는 점을 들 수 있다. 마이크로 구조물, 부품을 깎아 만드는 가공 방식이다. 반도체 프로세스를 응용한 각종 마이크로 구조물 제작법과 비교하면

- ① 3차원 구조, 특히 깊은 홈, 복잡한 형상의 가공이 용이하다,
- ② 재료 선택의 범위가 넓다

는 이점이 있다. 최근 개발된 초정밀 가공기는 모두 마이크로 가공이라는 차원에서 개발된 것으로 공구 경로 형성 등의 주변 기술에 대해서도 많은 연구가 이루어졌다.<sup>28)</sup> 사용된 공기 베어링의 공기 흐름을 층류화해 형상 정밀도를 좀 더 높이는 시도도 이루어졌다.<sup>29, 30)</sup>

마이크로 가공에 대한 응용이 확대됨에 따라 초정밀 가공되는 재료도 그 범위가 늘어나고 있다. 대표적인 것으로 플라스틱 재료를 들 수 있다. 플라스틱은 가볍고 부식에도 강하여 원하는 특성에 따라 재료를 설계할 수 있는 특징이 있다. 플라스틱 부품은 보통 사출 성형 등의 프로세스를 통해 생산되지만 높은 정밀도가 요구되는 경우나 마이크로 기기 등에 응용하기 위해 미세한 부품을 만들 때에는 깎는 가공도 필요해진다. 기존에 콘택트렌즈 가

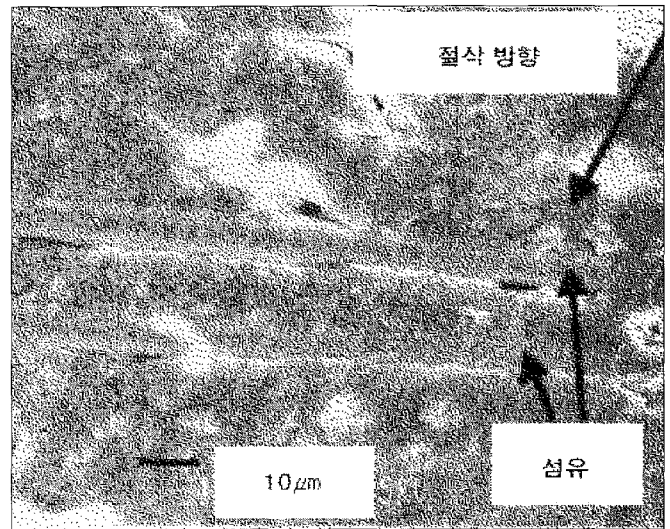


그림 3. 유리 섬유 강화 플라스틱의 초정밀 다이아몬드 절삭면(SEM 사진)  
(유리 섬유가 절단되어 있다.)

공에 다이아몬드 절삭이 이용되었는데 앞으로는 가공 대상이 되는 플라스틱 재료도 다양해질 것으로 예상된다. 그러나 금속 재료에 비해 플라스틱의 미세 절삭성에 관한 검토는 충분히 이루어졌다고는 할 수 없어 플라스틱의 어떠한 물성이 가공성에 영향을 주는지 명확히 할 필요가 있다. [결합수], [유리 전이 온도]<sup>31, 32)</sup> 등의 물성값은 가공 특성에 영향을 주는 것으로 밝혀졌다.

또 플라스틱의 강도를 보강할 목적으로 유리 섬유나 탄소 섬유를 혼합한 재료(GFRP, CFRP 등)가 개발되고 있다. 유리 섬유 강화 플라스틱에 초정밀 다이아몬드 절삭을 적용하여 적절한 조건 하에서 섬유를 절단하며 가공할 수 있어 정밀 가공이 가능하다는 점이 밝혀졌다(그림 3). 단 공구 마모가 현저하다는 것은 결점이다.<sup>33)</sup>

### 참고사항

1. 초정밀 생산기술 대계 제1권 기본기술, 후지 테크노 시스템(1995)
2. 초정밀 생산기술 대계 제2권 실용기술, 후지 테크노 시스템(1994)
3. 초정밀공학회편 : 정밀공작 편람, 코로나사, (1992) pp. 210-223
4. optomechatronics 시대의 초정밀 절삭 기술, 일본 optomechatronics 협회, (1991)
5. R. Rhorer: LIDAR Project-Diamond Turning Mirrors in Panic Situation-, Proc. American Society for Precision Engineering (ASPE) 1992 Annual Meeting, pp. 26-28
6. E. Brinksmeier, W. Preuss: Diamond Machining of the 3M Reflector of the KOSMA Submillimeter Telescope by a Single-point Fly-cutting Process, Proc. ASPE 1996 Annual Meeting, pp. 56-61
7. G. M. Moorefield II et al : Generation of Rotationally Asymmetric Optical Surface Using a Fast Tool Servo. Proc. ASPE 1994

- Annual Meeting, pp. 45-48
8. 田昭一 외 : 개량 주사 전자현미경(SEM)을 이용한 단결정 다이아몬드 공구의 절삭날 모서리 곡률 반경 반경 측정과 해석, 정밀공학회지, 56, 7(1990) pp. 1311-1316
  9. 前田幸男 외 : 다이아몬드 공구를 이용한 Al 합금의 경면 절삭에 관한 연구(제1보) - 바이트 설정각의 절삭면 거칠기에 대한 영향 -, 정밀공학회지, 54, 10(1988) pp. 1993-1998
  10. 前田幸男 외 : 다이아몬드 공구를 이용한 Al 합금의 경면 절삭에 관한 연구(제2보) - 마모 바이트에 의한 절삭면 형성 메커니즘-, 정밀공학회지, 55, 10(1989) pp.847-852
  11. 高巢周平 외 : 경면 절삭에 의한 정상 미진동의 절삭면 거칠기에 대한 영향, 정밀공학회지, 53, 5(1987) pp.
  12. 田正美 외 : cBN공구를 이용한 강의 초정밀 절삭, 정밀공학회지, 52, 12(1986) pp. 2024-2029
  13. 森脇俊道 외 : 스테인리스강의 초정밀 초음파 진동 절삭 가공의 연구, 초정밀공학회지, 57, 11(1991) pp. 1983-1988
  14. E. Shamoto, T. Moriwaki : Study on Elliptical Vibration Cutting, Annals of the CLRP, 43, 1(1994) pp. 35-38
  15. E. Brinksmeier et al : Effect of Grain Orientation and Grain Boundaries on the Surface Topography of Diamond Turned OFHC Copper, Proc. ASPE 1996 Annual Meeting. pp. 506-509
  16. P. Morantz: A Nanometric Precision Non-contact Toolsetting System, Proc. ASPE 1992 Annual Meeting. pp. 18-21
  17. J. Schaefer et al : The Development of a Non-contact Diamond Tool Alignment and Measuring System, Proc. ASPE 1994 Annual Meeting. pp. 358-361
  18. M. Gerchman : Optimized Tool Path Descriptions for Aspheric Surface Generation, Proc. ASPE 1992 Annual Meeting. pp. 15-17
  19. M. Y. Yang et al : New Biarc Interpolation for Ultra-precision Aspheric Surface Machining, Proc. ASPE 1997 Annual Meeting. pp. 195-198
  20. Q. Ma, P. I. Ro : Use of Force Feedback for Dynamic Error Correction in Diamond Turning for Surface Roughness Improvement., Proc. ASPE 1994 Annual Meeting. pp. 37-40
  21. 齊藤大介 외 : 초정밀 다이아몬드 절삭에서의 절삭 온도 측정, 1994년도 정밀공학회 춘계대회 학술 강연 논문집, pp. 173-174
  22. K. Horio et al : A Study on Damaged Layer Remaining in Diamond Mirror Cut Surface, Annals of the CIRP, 41, 1(1992) pp. 137-140
  23. 島田尙一 외 : 초정밀 절삭 가공 기술 - 연구 현황과 문제점 -, 1997년도 정밀공학회 추계대회 학술 강연 논문집, p. 9
  24. 眞鍋圭司 외 : 강소성 유한 요소법을 이용한 단결정 재료의 절삭분 생성 과정 해석, 정밀공학회지, 56, 9 (1990) pp.1729-1734
  25. 森脇俊道 외 : 강소성 유한 요소법을 이용한 미세 절삭 기구 해석, 정밀공학회지, 57, 12 (1991) pp. 2163-2168
  26. C. Arcona, T. A. Dow : Development of a Tool Force/Surface Finish Model for Diamond Turning, Proc. ASPE 1995 Annual Meeting. pp. 13-16
  27. C. Arcona, T. A. Dow : An Empirical Tool Force Model for Precision Machining, Proc. ASPE 1996 Annual Meeting. pp. 500-505
  28. 竹内芳美 : 마이크로 절삭 가공, 정밀공학회지, 68, 2(2002) pp. 167-170
  29. 澤田潔 외 : 공기 베어링의 종류화 연구 - 절삭 가공을 통한 서브 마이크로 피치 격자의 제작 - 2003년도 정밀공학회 춘계대회 학술 강연회 강연 논문집, (2003) p.357
  30. 澤田潔 외 : 공기 베어링의 종류화 연구 - 베어링면의 경면화 - 2003년도 정밀공학회 춘계대회 학술 강연회 강연 논문집, (2003) p.360
  31. 富田裕介 외 : 플라스틱의 초정밀 절삭, 일본기계학회 제2회 생산 가공·공작기계 부문 강연회 논문집, (2000) pp. 127-128
  32. 李綱 외 : 플라스틱 초정밀 절삭에서의 절삭 온도, 2002년도 정밀공학회 춘계대회 강연 논문집, (2002) p.546
  33. 藤原誠 외 : 섬유 강화 플라스틱의 초정밀 절삭 특성, 2003년도 정밀공학회 춘계대회 학술 강연회 강연 논문집, (2003) p.365

본 고는 2003년 일본에서 출간된 「광디바이스 정밀가공 핸드북」책자의 내용으로서 국내 광학렌즈산업 현장에서 이용될 수 있을 것으로 예상하고 발췌, 정리하여 한국광학기기협회에서 기술참고자료로 발간한 내용중의 일부이다. 주요 내용은 현재 일본에서 이루어지고 있는 광학소자에 대한 절삭, 연삭, 연마 등 기본적인 제거가공방법을 비롯하여 증착, 코팅 및 몰딩 등 변형가공방법에 이르기까지 폭넓게 광학소자 가공방법을 체계적이고 알기쉽게 기술하여 놓았다. 비록 일부 내용들은 우리나라 산업현실과 다소 차이가 있는 부분도 있을 것이나 광학기술의 역사와 기반이 앞서있다고 생각하는 일본의 최신 기술 관련 자료이기 때문에 국내 업체 관련분야 종사자들에게 도움이 되리라 기대하며 1월호부터 연재할 계획이다. 본 책자에 대한 문의는 한국광학기기협회(T. 02-3481-8931)로 연락하면 된다.