

경면가공기술개발

— 공구의 선택 및 마멸대책 —



이 재 경

한국기계연구소 가공기술연구실 책임연구원

● 1947년생
● 기계공학(정밀가공)을 전공하였으며, 기능성 세라믹부품가공에 관심이 있으며, 알루미늄 경면가공 연구 등에 참여하고 있다.

1. 머리말

최근 초정밀 가공에 대한 요구가 높고, 화제에 오르는 일이 매우 많다. 초정밀가공이라는 것은, 현재의 보통 기술로서는 도달하지 못한 정밀도 한계를 뛰어 넘는다는 의미의 고정도가공 (high precision machining)과 반도체 부품 생산으로 대표되는 미세 치수의 한계에 도전하고자 하는 의미의 미세가공(fine machining)의 두가지 뜻이 포함되어 있다고 생각할 수 있다. 어느경우에서도 초정밀가공은 생산가공기술의 하나이므로 바라는 대로 품질을 가진 것을 값싸게, 빠르게 반복생산이 가능한 기술이어야 한다.

지금까지 기계공업에 있어서 가공 정밀도가 높은 생산품목으로서 불록게이지를 비롯하여 정밀측정기기 분야에 그 예가 많았다. 그러나 기능의 고도화와 더불어 전기, 전자 반도체, 광학 관련기기 및 각종 제어기기 등에 초정밀 가공의 필요성이 증가하고 있으며, 대부분의 경우, 부품형상 및 가공면 거칠기를 얻기 위한 제어가공 수단으로서 연삭 혹은 래핑등 지립(연마제)을 이용한 가공 공정이 포함된 것이 대부분이다. 금속 재료만이 아니고 수정 진동자, 자기헤드, 반도체 부품 및 유리, 수정, 페라이트, 실리콘 혹은 세라믹 등 경취성 재료에

도 초정밀 가공기술의 응용예가 최근 많아지고 있다. 한편, 최근 레이저 응용기를 중심으로 하여 고정도 복잡형상의 연질 금속 제품이 사용되는 경우가 많아지나 이들의 부품에 대한 지립을 이용한 가공에서는 형상정도와 가공면 거칠기를 동시에 향상시키는 것은 어려운 일이다. 따라서 고정도 고강성의 공작 기계를 개발하고 마멸이 거의 생기지 않는 공구를 사용하여 공작기계의 운동을 가공물에 그대로 전사하는 방법에 입각한 초정밀 가공기술이 급속히 진전하고 있다.

이것의 대표적인 예가 천연 다이아몬드를 이용하여 구리 및 알루미늄을 선반가공하면 $0.05\mu\text{m}$ 이하의 정면을 쉽게 얻는 기술이다. 다이아몬드를 이용한 절삭가공에 의하면 양호한 치수 정밀도 만이 아니고 진원도, 원통도, 평면도, 진직도 등의 표면 정밀도가 바라는 대로 얻어진다. 또한 지립가공의 대상은 철 계통의 기계부품 혹은 유리의 광학 부품등이 대상인 반면, 최근 전자공학의 진보와 정보화사회로 발전함에 따라 고정밀도가 필요하게 된 비자성 금속인 구리, 알루미늄, 플라스틱등도 가공 대상으로 하고 있다. 컴퓨터의 자기디스크, 건식 복사기의 드럼등이 대표적인 예이다. 이러한 부품들에는 기억밀도, 입출력 속도, 상의 선명도가 표면 정밀도와 밀접한 관계를 맺고 있으므로 극한의 정밀도가 요구되어 최근 나이

아몬드 절삭이 보급되고 있는 분야이다. 이 용도의 다이아몬드 선반은 지금까지의 선반과는 다른 초정밀이라고 하는 입장에서 특별히 설계 제작되지 않으면 안된다. 따라서 여기서는 고정밀도 공작기계와 단결정 다이아몬드 공구를 사용한 절삭 가공기술, 이른바 “초정밀 다이아몬드 경면절삭가공”을 달성하기 위한 조건등에 대해 살펴보고 공구인 다이아몬드 바이트의 초정밀 가공에 있어서의 중요성, 성능 및 특질에 대해 살펴보고, 금후 해결되어야 할 문제에 대해 살펴본다.

2. 초정밀 가공에 있어서의 공구의 조건

초정밀가공에서 공구의 날끝 재료로 다이아몬드가 사용되는 이유는 우선 경도가 가장 강한 결정이고, 예리한 날끝 가공이 가능하기 때문이다. 즉, 초정밀가공은 미세한 칩을 내는 가공이므로 칩이 $1\mu\text{m}$ 이하가 되면 절삭을 위한 전단응력이 급격히 증가하여 대부분 재료의 이상 전단응력에 가까운 값이 된다. 따라서 통상의 고속도강 및 초경합금 뿐 아니라 스톨의 A(어런덤), C(카보란덤) 입자조차도 그 강도에 견디지 못하므로 현재로서는 단석 천연다이아몬드만이 유일한 공구재이다. 그러나 다이아몬드 예리한 날끝은 래핑으로 가공하지만, 강한 취성 때문에 날끝의 형상을 선택하는데는 절삭능력, 내마멸성과 결정의 피연마성을 고려하지 않으면 안된다. 또한 다이아몬드는 인성이 약하므로 고경도 재료의 절삭에는 치핑이 일어나며, 연질 금속인 동, 알루미늄등을 절삭하여도 보통의 공구재료와 유사한 마멸이 생겨 표면 거칠기가 나빠지므로 재연마의 필요가 있다.

3. 다이아몬드의 절삭공구로서의 특성

다이아몬드는 뛰어난 경도 때문에 우수한 절삭 공구의 소재로서 외관미, 가공정밀도, 장기간 가동의 목적에 널리 사용되고 있으며, 최근

정압 베어링의 발달과 더불어 절가가공상 불가결한 공구로서 다이아몬드공구가 더 한층 초점이 되고 있다. 그러나 이것은 폐쇄적인 영역에서 생산되고 있고 기술적 발표도 숫자가 적어 일반적으로는 그 특성이 잘 이해되어 있지 않은 상태이다. 따라서 여기서는 다이아몬드의 절삭공구로서의 특성, 경면가공 등에 대해 그 개요를 서술한다.

3.1 색에 의한 경도의 차

다이아몬드 원석의 색은 적, 청 등 여러가지가 있지만, 갈색, 황, 무색의 순으로 많이 산출되며, 각기 경도차가 있어 갈색이 가장 단단하고 그 다음으로 무색, 황의 순이 된다. 다이아몬드는 동일 결정형, 동일색이라도 동일 물성으로 한정하기 힘들며 무색투명한 것이라도 형성과정에 차이가 있고, 보석급의 원석이라도 바이트로서의 우수한 특성을 갖고 있는 것은 아니다. 또한, 다른 광물결정에 비하여 매우 높은 점성을 갖고 있는 것 같이 느껴지고, 특히 황색의 경우는 이점이 뛰어나서 절삭공구로서 사용하는 경우 치핑이 생기기 어렵고, 내마멸성은 낮지만 날끝파손이 생기기 어렵고 취급이 쉬운 특징이 있다. 갈색의 원석은 이와 정반대로 경도는 우수하나 점성이 떨어져 가동중에 충격으로 치핑이 발생하기 쉽다. 그러나 유의하여 사용하면 날끝능력의 R 이 0.3 미크론 정도의 마멸 상태에 도달하면 그후로는 쉽게 치핑이 생기지 않고, 장거리의 절삭이 가능해진다. 난삭재의 절삭가공에 있어서 좋은 성능을 나타내는 것으로는 거의 갈색의 원석을 사용한 것이 많다.

3.2 경도

원자간의 결합력이 매우 견고하여 굽고 누르는 어떤 경도 측정방법에도 타물질에 비해 매우 높은 수치를 나타낸다. 연삭저항은 코란덤의 140배 정도이다. 다이아몬드의 최강의 결정 위치는 (1,1,1) 면이지만 폴리싱하여 인장강도를 계산하면 헬쯔(Helz)의 탄성이론에 의해

400~1,000kg/mm²에 이르는 것으로 알려져 있고⁽¹⁾, 또한 결정 위치에 의해 상당히 커다란 편차를 나타내는 것으로 되어 있다. 절삭공구의 제작에 있어서는 (1,1,1)면에 평행하게 연마하여 이면을 경사면으로 하면 크레이터 마멸에 대해서는 높은 강도를 얻을 수 있다. 그러나 (1,1,1)면에 평행한 연마는 불가능하여 통상은 3도 정도의 경사각을 붙여 연마하지만 이 경우 경사면의 강도는 떨어진다. 0.5도 정도로 연마할 수 없는 것은 아니지만 이 경우 무리한 연마를 함으로 연마면의 정밀도가 나오지 않으며 예리한 인선이 나오지 않는다. 따라서 결정 방위의 어느 곳을 경사면으로 잡는가는 매우 어려운 문제를 포함하며, 특히 초정밀 절삭에 있어서는 인선의 강도와 정밀도가 동시에 요구되어짐으로 이점에 관해서는 아직도 계속 연구가 진행되어지고 있다. 날끝능선단 R은 지금까지 직접 측정하는 것이 불가능하였지만, 2개의 2차 전자 검출기를 가진 SEM으로 측정된 결과가 발표되었다⁽²⁾. 이에 따르면 연마가공된 다이아몬드 공구는 40~60nm이고, 이온 스펙타 가공된 것은 10수 nm의 능선반경을 가지고 있었다. 이러한 날끝의 예리함에 의해 금속면 절삭에 있어서의 응력, 가공변질층, 가공표층의 흐름무늬 등의 발생을 작게 할 수 있다.

3.3 열전달

다이아몬드는 탄소 원자의 공유 결합으로 이루어져 있어, 열전도율은 광물중 최대로 석영 유리의 100배이다. 실제 다이아몬드 절삭공구는 인선의 정밀도가 높고, 불활성에 의해 다른 절삭공구 보다 마찰계수가 작으므로 칩의 유동이 좋아 절삭가공시의 발열량이 매우 작으며, 또한 발생한 열도 생크 부에 재빨리 전도되어 피삭물의 열에 의한 변형 방지에 잇점이 있다.

3.4 벽개성

단일결정의 원석을 사용함으로 다른 공구에서 볼수 없는 벽개성이 나타나 다이아몬드 절삭공구의 결점으로 되어 있다. 취급에 충분히

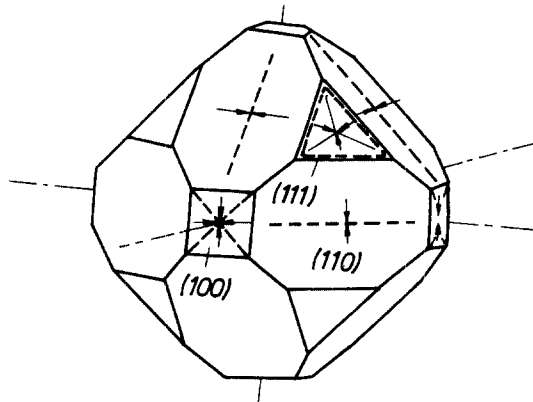
유의하여 충격을 주지 말아야 하며, 손가락 끝으로도 만지지 않도록 하여야 한다. 벽개면에 평행하게 충격을 주면 간단히 나누어지므로 원석 가공상의 하나의 기술로서 활용되지만, 절삭공구로서 사용할 경우는 문제가 생긴다. 금속 결정립계에 불순물이 있든지, 재질이 불균일하여 내부의 정도차 큰 경우 (연하고 단단한 불균일 재질의 상호 교차 절삭은 단속절삭에 해당하여, 연속충격을 주는 경우의 파괴강도 1/4 정도의 힘에 파손하는 경우가 있음) 등의 원인으로 인선 혹은 칩 그 자체가 파손된다.

다이아몬드 원석은 앞에서 언급한 바와같이 원석이 각기 다르므로 때에 따라 파손에 다다른 것은 어쩔수 없는 일이다. 칩 내의 다소의 균열은 통상 지장이 없고, 평균적인 사용상태에서의 절삭저항은 200g 정도이고 초정밀 절삭시에는 10g정도이다.

4. 다이아몬드 절삭공구 제작상의 문제

4.1 성형

원석의 표준결정형은 정8면체이지만, 보통은 사방 12면체가 많고 형태는 천차만별로 기계적 생산은 어렵다. 다이아몬드 연마 방향에 관해서는, 결정축을 기초로 한다는 정설이 있고 결



(실선화살표는 절단, 연마가 가장 쉬운 방향, 점선은 가장 곤란한 방향을 표시. 쇄선은 결정축)

그림 1 다이아몬드의 각 방면에서의 정도이방성

표 1 다이아몬드의 Knoop경도⁽³⁾

면	방 위	HK (kgf/mm ²)
(100)	(110)	6,900
(100)	(110)	9,600
(110)	(110)	7,400
(110)	(111)	6,200
(111)	(112)	9,000

정축을 무시하여 연마하는 것은 불가능하며, 원석의 가공성형은 연마위치, 연마방향에 중대한 제한이 있다. 통상평면의 조합에 의한 성형으로 이루어지고, 오목한 형상 및 곡면의 연마는 불가능하지는 않지만, 매우 고도의 기능력을 필요로 하고, 초경 세라믹과 같이 자유롭게 형태를 성형하는 것은 현재로서는 매우 곤란하다. 다이아몬드의 경도는 결정면 방향에 따라 달라지고, 경도는 (100)면, (110)면, (111)순으로 높아진다. 그러나 표 1에서와 같이 동일면에서도 방향에 따라 경도가 달라진다. 마멸특성도 결정방위에 따라 내마멸성이 달라진다. 내마멸성은 (111)면이 가장 높고 (100), (110)으로 낮아진다.

다이아몬드 가공상 문제가 되는것은 이방성과 벽개이다. 다이아몬드는 단단하지만 취성이 있어 벽개하기 쉬운 물질이다. 벽개는 면 사이의 간격이 최대인 (111) 면에 평행하게 일어난다(그림 1).

벽개된 다이아몬드의 파면은 마크로하게 본다면 조개껍질 무늬와 같이 보이며, 벽개의 모양은 벽개면 전체에 퍼져있지 않고 도중에 삭감하기도하고, 다시 발생하기도 한다. 벽개를 관찰함으로써 결정결함의 상태를 추측하는 것이 가능하다. 결정결함의 측정은 공업재료로서의 다이아몬드의 신뢰성 향상에 중요하다. 일반적으로 다이아몬드 결함의 측정은 광학적 흡수 스펙타, 전자스핀공명, X선, TEM 등에 의해 이루어진다.

4.2 가공장치

다이아몬드 가공은 일반적으로 스카이프라는

주철판을 2000~3000m/분의 속도로 회전시키며, 연마제로서는 다이아몬드 가루를 기름 종류에 푼 것을 이용한다. 최근에는 기계 연마 이외에 이온 보울 이용한 스펙타 가공으로 양호한 결과를 얻고 있다. 초정밀 절삭용 다이아몬드 바이트는 날끝의 예리함과 절인의 균일성이 요구되기 때문에 이방성에 좌우되기 힘든 보 가공이 중요하게 되었다. 그러나 보 가공에서는 가공면 표층에 변질층이 남기 때문에 가공 후 플라즈마 처리 등에 의해 크리닝이 필요하다.

5. 경면가공용 절삭공구

초정밀가공의 실현에는 절삭기계의 연구, 개발이 커다란 요인이며 또한 공구인 다이아몬드 바이트에 관해서도 많은 연구가 뒤따라야 한다. 최대의 문제는 공구의 성능, 특히 수명에 편차가 심해 생산성에 해를 끼치고 공구의 계획적인 관리에 지장을 초래한다. 신뢰성이 높은 초정밀 절삭용 다이아몬드 바이트가 안정적으로 공급되기를 강력히 바라고 있다. 이와같이 초정밀이라는 것은 일반적으로 치수정밀도와 다듬질면의 표면거칠기로 나타내어지며 전자는 주로 가공기계에 관계가 있고 후자는 공구와 많은 관련이 있다. 따라서 초정밀 경면가공용 다이아몬드 바이트의 성능으로서는 절삭면의 거칠기에 중점이 주어지고, 또한 공구의 수명도 표면거칠기가 나빠져서 어느 한도를 넘는 시기로 규정하므로 역시 표면거칠기의 문제이다. 이러한 관점으로 부터, 이하 다이아몬드 바이트의 성능을 고찰하며 수명의 편차 문제해결의 방도를 찾아본다.

5.1 바이트의 형상

경면절삭가공의 경우, 대부분 넓은 면적을 가공하므로 여기에 사용되는 바이트는 전부 이송 마크가 생기지 않은 형상으로 만들어지며, 통상의 바이트와는 비교되지 않는 고정밀도의 가공면을 얻고 있다. 가공기계는 정압베어링을

사용하고 있고 진동이 매우 적어 초정밀 절삭에 불가결한 미소절입이 가능하다. 한편 미소절입이 가능한 바이트는 단결정 다이아몬드 바이트에 한정되고 최근은 이 바이트의 용도가 확대되고 있다. 특히 공기 스피너는 강성이 적으므로 절삭저항이 적은 다이아몬드 바이트에 의해서만 그 성능을 발휘할 수 있다.

표면거칠기는 $0.01\mu\text{m}$ 대가 요구됨으로 바이트는 이송마크가 생기지 않도록 설계로 되어있고, 크게 나누어 직선날과 곡률을 가진날이 있다. 직선날은 바이트의 설치 각도가 매우 중요하며 어렵고 미묘한 기술을 요구하며, $10''$ 의 각도로 다듬질 면의 양부가 좌우되지만 면 정밀도는 우수하며, R 을 가진 날은 설치는 용이하지만 면 정밀도는 다소 떨어진다. 따라서 이상적인 경우는 설치각도의 미세 조정이 가능한 바이트 홀더를 이용한 직선날을 사용하는 것일 것이다. 단, 곡률 반경이 작은 집광용 미러등은 R 을 가진 날이 아니면 안된다.

5.2 잔류응력, 가공변질 등

여기서의 문제는 초정밀 절삭에 의해 단순히 기하학적 평면, 혹은 곡면이 얻어지는 것으로만이 아니고, 얇은 박판 공작물의 가공이나 가공물 내부에 변질이 일어나면 안 되는 경우이다. 이로 인해 사용년수의 감소, 성능의 저하를 초래함으로써 어떻게 하든 이것을 최소한 억제하는가가 제품의 품질에 관한 중요한 과제이다. 원인은 모두 절삭시의 저항에 있으므로 절삭저항을 줄이는 인선형상의 바이트를 선정해야 한

다. 이상적인 설계에 의하면 가공 변질층을 극소로 줄이는 것은 충분히 가능하며, 통상적인 바이트의 사용에서는 변질층의 두께가 $1\mu\text{m}$, 특히 초정밀 절삭의 경우는 $0.2\mu\text{m}$ 정도이다.

5.3 절삭메카니즘

단결정 다이아몬드는 다른 공구 재료에 비해 매우 예리한 날끝으로 다듬을 수 있으므로 절삭성은 매우 좋다. 절삭성이 좋다는 것은 아주 얇은 칩을 분리할 수 있는 능력을 가졌다는 것이며, 실제 두께가 100nm 이하의 칩을 분리할 수 있다고 보고되고 있다. 절삭면에 바이트의 인선형상이 전사되는 원리는 널리 알려져 있다.

그림 2는 원호형 인선에 의한 절삭 상황을 도식적으로 나타낸다. 전사가 이상적으로 실현된 절삭면의 단면은 그림 2의 우측과 같이 공구인선의 반경 R 과 같은 원호로 1회전당 이송량 F 의 피치로 ABC 와 같은 원호가 반복되는 곡선으로 된다. 곡선의 파고치 HR 은 $F < R$ 의 조건에서

$$HR = F^2 / 8R$$

으로되며, 이를 이론 거칠기라 칭한다. 윗식에서 HR 에서 HR 은 F 와 R 의 선정에 의해 임의의 작은 수치로 줄일 수 있다. 또한 직선인 바이트에서는 절인을 이송방향과 평행으로 한다면 이론 거칠기는 0으로 된다.

실제 절삭에서는 절삭면의 거칠기 곡선은 그림 2의 ABC 와 같은 이상형이 깨져 거칠기 값은 HR 보다 커진다. 그림 2의 왼쪽은 절삭동

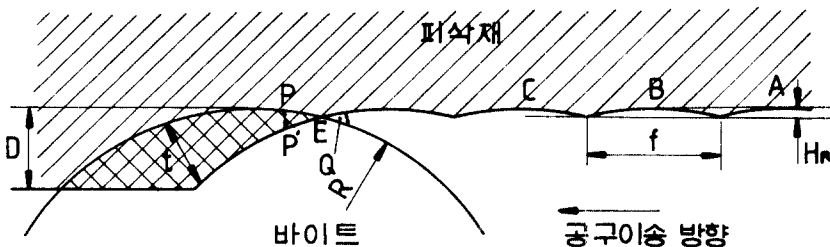


그림 2 원호형 인선의 전사

작중 바이트 인선이고, 그림중의 그물 빗금친 부분이 제거되면 완전한 전사가 된다. 이 부분의 두께 t 는 그림에서는 두껍지만 실제 초정밀 절삭의 조건에서는 매우 얇다. 수치적으로 바이트 R 은 수 mm, 이송 F 는 $10\mu\text{m}$ 내외가 이용되고 있다. 기계에 설정하는 절입량 D 도 수 μm 이지만 t 는 이것보다도 훨씬 작다. 또한 두께 t 는 일정하지 않고 선단 E 에서 0으로 수렴한다. P 위치의 두께가 바이트 인선으로 절삭가능한 한계두께라고 하면 P 보다 우측에 잇는 부분은 절단되지 않고 좌측이 PP' 로 파단된 상태로 칩이 되나, $PP'E$ 는 결국 좌측이 PP' 로 파단된 상태로 칩이 된다. $PP'E$ 는 결국 깎이지 않고 바이트 날끝으로 눌러 찌그러진 상태로 버니싱 작용에 의해 전사형상 PE 를 만든다. 이 경우에 $PP'E$ 가 우측에 흘러나 가면 돌기 Q 가 되어 전사가 이루어지지 않고 표면거칠기가 나빠진다.

정상적으로 가공된 부분도 가공표면층에 소성변형으로 내부응력이 존재하므로, 초정밀 절삭에서는 가공변질층을 극소로 줄이기 위해 경 가공 즉 칩이 얇은 것이 바람직하다. 버니싱 과정은 순전히 소성변형이므로 바람직하지 못하다. 이처럼 가공변질층을 극소로 억제하기 위해서도 그림 2의 임계점 P 는 가능한 한 우측에 가도록 하고, 공구의 가공한계 두께 PP' 를 줄이기 위해, 즉 얇은 칩을 분리하기 위해서는 다이아몬드 절삭공구의 날끝은 되도록 예리하여야 한다.

5.4 마멸현상

다이아몬드 공구의 여유면 마멸은 초경공구의 1/10000 이하로 알려져 있다. 공구의 마멸은 경사면 마멸, 여유면 마멸이 많이 다루어지거나 날끝의 능선부의 마멸은 관찰 측정이 어렵기 때문에 언급된 경우가 적다. 그러나, 극도로 예리한 인선이므로 당연히 마멸되어 둔화되는 것은 당연하며, 신품의 다이아몬드 공구가 상당량을 절삭을 시작한뒤 안정된다고 하는 것은 이런 이유이다. 단, 초정밀 절삭에서는 날

끝의 예리함이 생명이므로 이러한 전절삭은 바람직하지 못하다. 다이아몬드 공구에 의한 절삭은 정밀가공으로 취급되지만 요구실현되는 정밀도에 따라 여러가지 단계가 있고 초정밀에 이르지 못하는 경우도 있으므로 주의를 요한다. 실제 공구의 마멸에 관한 여러종류의 현미경 사진들이 발표되고 있지만, 초정밀가공에 이용된 공구의 사진은 많지 않다. 예를들어 길이방향의 줄 또는 홈 무늬가 다수 평행으로 조각된 여유면 마멸대, 인선에 치핑이 나타난 상태등은 훨씬 이전에 초정밀 가공에 사용불능이 된다. 실제 요구되는 초정밀 공구의 인선능선 정밀도는 주사현미경으로는 해상되지 않는 범위이므로 이러한 마멸과정은 현재에도 충분히 밝혀져 있지 않다.

5.5 재료

다이아몬드는 천연산의 광물로서는 예외적으로 불순물이 적고, 완전한 가까운 단결정으로 산출됨으로 경도외의 특성과 더불어 초정밀 절삭의 공구재료로 적합하다. 그러나 천연다이아몬드 중에 결함이 적은 상질의 다이아몬드 원석은 보석으로 취급되고, 그 밑의 것이 공업용으로 사용되며, 아주 불량한 것도 있다. 원석의 형상, 표면상태에 따라서는 결정내부가 보이지 않는 것도 있으며, 이 경우에는 원석을 가능한 한 평행한 2면이 생기게 연마하면 미소 크랙 및 이물질의 내포등을 쉽게 볼수 있고 편광에 의해 내부응력의 관측에도 좋다. 또한 공구형상 가공중 감량이 적게되는 외형을 고려하여 원석비 및 가공비를 줄일 수 있어야한다. 인조 합성다이아몬드에서는 품질의 제어가 가능하다면 양질의 결정의 안정적인 공급을 기대할 수 있으나, 현재는 연마제(지립)로서 대량 생산되고, 커다란 단결정의 합성도 가능하지만, 천연품보다도 제조비용이 많이 든다.

6. 맺 음 말

초정밀 절삭용 다이아몬드 공구의 날끝 형상

에 관해서는 여러가지 설계안이 개발되어 제각기 성공적으로 사용되고 있지만 제품 품질의 균일성, 즉 성능과 수명의 차이는 아직까지 미해결이다. 또한, 초정밀공구의 날끝 능선에 관해서 최근 측정 데이터가 발표되고 있으나, 양호한 날끝능선, 불량한 능선 및 소정의 다듬질이 이루어지지 못하고 수명에 탈해버린 능선들에 대한 제각기의 형상, 구조 등이 밝혀지지 않고 있으며, 공구의 제작법을 개발하는 것은 금후의 연구과제로 남아있다. 그리고, 단결정 바이트의 연마에 대해서는 많은 기술적인 진전이 이루어져 왔으나, 수명의 차이는 해결하지 못하고 있다. 이는 날끝능선의 연마방향과 더불어 다이아몬드의 이방성, 원석의 품질 등과 관련이 있다고 볼 수 있다. 공구의 마멸과정이 결정방위에 의존하는 것은 당연하겠지만, 공구의 연다가공에서는 이방성 그자체가 공구마멸에 나타나는 문제 및 경사면과 여유면의 마멸과 달리 예리한 인선을 둔화 시키는 날끝 능선의 마멸은 어떻게 진행되는가가 문제이며, 공구의 결정방위와 성능, 수명과의 관련은 실험적으로 해명되어야 할 것이다. 또한 재료인 다

이아몬드 원석에 있어서도, 커다란 결함이 발견된 것은 제외되지만 극히 경미한 결함은 어디까지 허용될 것인가가 문제이다. 내부응력, 착색등 결함의 인자는 다양하지만 제각기 공구의 성능 및 수명과의 관련은 명확하게 밝혀져 있지 않다. 이러한 인자중에서도 어느것이 가장 크게 영향을 미치는지 확인 된다면 커다란 진보가 이루어질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 井川直哉, 1970, "Diamond 절삭공구", 高精度, Vol. 1,2, No. 1 p. 34.
- (2) 淺井昭一, 田口佳男, 1988, "Diamond 刃先測定", 日本 精密工學會秋季大會 Symposium 資料, p. 19.
- (3) 西村一仁, 1988, "Diamond Bite의 개발", 日本 精密工學會秋季大會 Symposium 資料, p. 11.
- (4) 小島一志, 1988, 응용기계공학, p. 86.