



광학소자 가공방법(연삭③)

경취 재료의 연삭 절단

연삭절단은 외주 날 블레이드에 의한 방법과 내주 날 블레이드에 의한 방법 두 가지로 크게 나뉜다. 이중 외주 날 절단은 전자산업이 발달한 오늘날 가장 일반적인 정밀 연삭 절단법이고 여기에 이용되는 절단기는 절단 이외에 총형흡 가공도 할 수 있기 때문에 범용성이 높다. 본 고에서는 이러한 절단 이외에 흡가공도 가능한 외주 날 절단에 대해서만 개략적으로 설명하기로 한다.

편집자 주

1. 연삭 절단의 종류

회전 칼날이 얇은 블레이드를 이용한 연삭 절단은 외주 날 블레이드에 의한 방법 (이하, 외주 날 절단)과 내주 날 블레이드에 의한 방법 (이하, 내주 날 절단) 두 가지로 크게 나뉜다. 이들 절단법은 주로 절단 두께의 대소에 따라 사용법이 나뉘고 절단 두께가 작은 경우에는 외주 날 절단이, 절단 두께 (또는 구경)가 특히 큰 경우에는 내주 날 절단이 이용된다.

외주 날 절단은 가장 일반적인 정밀 연삭 절단법이고 여기에 이용되는 절단기는 절단 이외에 총형흡 가공도 할 수 있기 때문에 범용성이 높다. 이 절단법은 그림 1과 같이 여러 개의 블레이드를 스페이서를 끼워 하나의 플랜지에 붙여 사용하므로 멀티컷이 가능하고 가공의 능률을 높일 수 있다. 또한 두께가 십~수십 μm 정도의 매우 얇은 블레이드를 사용할 수 있기 때문에 절단 시 재료 손실이 매우 적다. 그 외 블레이드가 얇기인 점, 절단기에 블레이드 세팅이 쉽다는 점 등의 장점이 있다. 그러나 플랜지에서

블레이드가 돌출되는 양을 크게 하면 블레이드의 횡강성이 저하되기 때문에 절단 두께가 두꺼운 경우에는 높은 절단 정밀도를 기대할 수 없다.

한편, 내주 날 블레이드는 두께 0.13~0.18mm 정도의 도너츠 모양의 스테인리스제 대금 내주부에 다이아몬드 지립을 전착한 것으로 날끝의 횡강성을 높이기 위해 그림 2처럼 블레이드 외주부를 텐션 링으로 팽팽하게 펼쳐 절단에 이용한다. 블레이드는 그 내주부가 탄성 한도에 도달할 정도로 팽팽하게 펼친다. 따라서 항장력이 높은 대금을 사용한 블레이드일수록 높은 횡강성을 얻을 수 있다. 다이아 전착부의 두께는 0.32~0.40mm 정도이고 비교적 적은 재료 손실로 대구경의 공작물을 매우 정밀하게 절단할 수 있다. 하지만 블레이드가 고가인 점, 절단기에 블레이드를 세팅하는 데 시간이 걸리는 점, 절단기가 대형이고 복잡한 동시에 고가인 점 등 때문에 특히 대구경의 공작물 절단에만 이용된다. 내주 날 절단은 지금까지 3,4,5,6,8 인치로 서서히 대구경화된 실리콘 잉곳의 절단 가공에 크게 기여했지만 최근에는

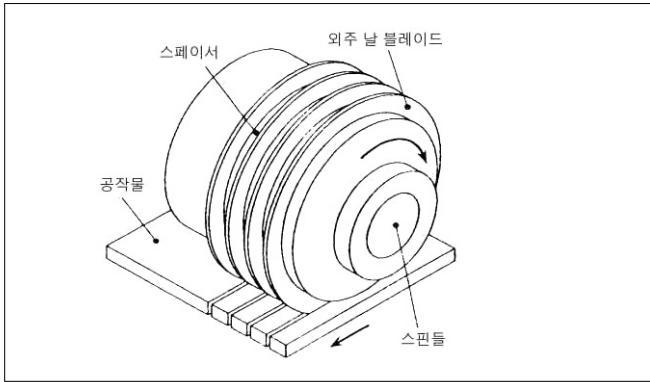


그림 1. 외주 날 블레이드를 이용한 멀티컷

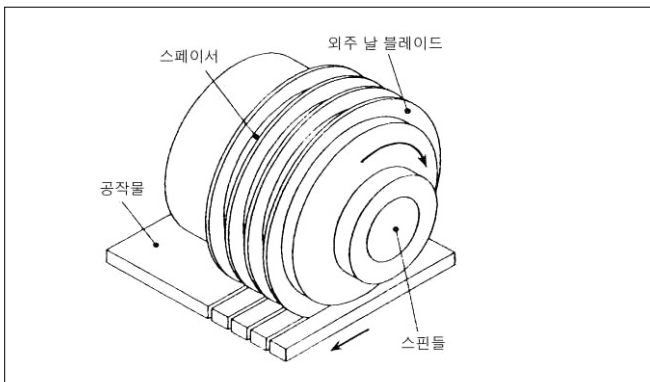


그림 2. 내주 날 블레이드를 이용한 슬라이싱

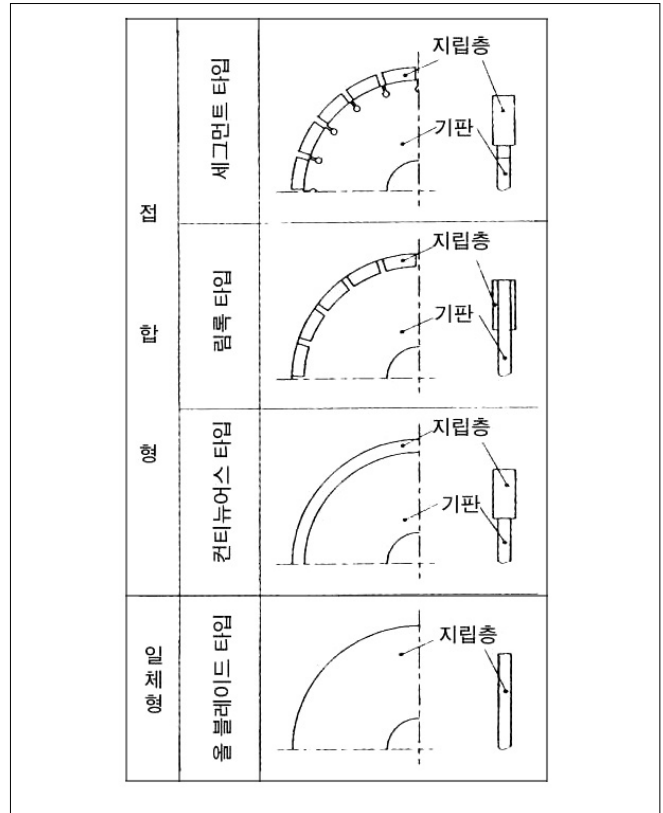


그림 3. 외주 날 블레이드 형상의 종류

12 인치 이상의 구경을 갖춘 실리콘 잉곳의 절단은 와이어 톱으로 대신한다. 그 이유는 내주 날 블레이드의 대형화에 거의 비례해 절단기를 대형화할 필요가 있고 절단기의 제작 비용이나 설치 공간 면에서 실용상 문제점이 생기기 때문이다. 따라서 내주 날 절단으로 가능한 최대 절단 구경은 현실적으로는 8 인치 정도라고 봐야 할 것이다.

2. 외주 날 절단에 요구되는 조건

전자산업이 오늘날처럼 발전하기 이전에 외주 날 절단은 오로지 석재 가공에만 이용되었다. 당시에는 피삭재의 가치가 그만큼 높지 않았기 때문에 절단에 의한 재료 손실이 큰 문제가 되지 않았다. 또한 절곡(切曲)과 관련해서도 필요한 경우에는 후공정에서 수정이 가능했기 때문에 특별히 큰 문제는 되지 않았다. 그러나 전자산업에 외주 날 절단이 이용되자 요구되는 조건이 달라져 엄격해졌다. 피삭재가 매우 고가이기 때문에 절단에 의한 재료 손실을 가능한 한 적게 하려는 요구, 소정의 절삭 비용을 초과하지 않고 절단하고 싶기 때문에 치핑을 적게 하려는 요구, 두께 오차를 적게 하고 싶기 때문에 절곡을 적게 하려는 요구, 재료의 특성에 영향을 주기 때문에 가공 변질층을 적게 하려는 요

구, 양산에 대응하고 싶기 때문에 가공 속도를 높이려는 요구, 거기에다 절단면을 경면으로 하려는 요구 등이 바로 그것이다. 이들 요구는 전자기기의 소형화·고기능화·대중화에 따라 점점 엄격해진다.

그런데 이상에 언급한 요구에는 기술적으로 상반되는 것이 몇 가지 포함되어 있다. 예를 들면, 절단 손실을 적게 하려고 블레이드의 두께를 얇게 하면 칼날의 황강성이 저하돼 절곡이 커지고, 가공 속도를 높이려고 하면 절곡, 치핑, 가공 변질층이 발생하기 쉬워진다. 이렇게 상반되는 요구를 어떻게 동시에 만족시키느냐가 외주 날 절단에서는 큰 과제이다.

3. 외주 날 블레이드의 종류

3.1 형상에 의한 분류

다이아몬드 외주 날 블레이드의 형상은 그림 3처럼 크게 접합형과 일체형으로 나뉜다. 접합형은 박육 원반상의 강철제 기판 외주부에 지립층이 접합된 것으로 외주부 형상에 따라 다시 세그먼트 타입, 림록 타입, 컨티뉴어스 타입으로 분류된다.1) 세그먼트 타입은 연삭액 공급, 절삭분의 배출을 쉽게 하기 위해

지립층부 및 강제 기관 외주부에 절결을 만든 타입으로 깎이는 맛이 뛰어나다. 그러나 블레이드 외주가 단속적으로 공작물에 접촉하기 때문에 공작물에 치핑이 발생하기 쉬운 점, 블레이드 자체의 정밀도가 그다지 높지 않기 때문에 절단 정밀도가 별로 좋지 않다는 등의 단점이 있다. 이러한 이유 때문에 정밀도가 높은 절단용으로는 많이 이용되지 않는다.

림록 타입은 기관 외주부의 절결에 지립층이 접합된 타입으로 날끝의 횡강성이 다른 타입에 비해 높은 것이 최대 장점이다. 그러나 세그먼트 타입과 마찬가지로 블레이드 외주의 지립층이 단속적으로 공작물에 접촉하기 때문에 공작물에 치핑이 발생하기 쉽고 또한 지립층의 마모가 진행되면 절삭날이 없는 기관 측면이 공작물에 접촉하는 등의 문제가 생긴다.

컨티뉴어스 타입은 접합형 블레이드 중에서 정밀 연삭 절단에 가장 적합하다. 이 타입의 블레이드는 강제 기관의 외주부에 지립층이 연속적으로 접합되기 때문에 블레이드 외주와 공작물의 접촉이 연속적이다. 이 때문에 앞에서 말한 두 가지 타입의 블레이드에 비해 치핑 발생이 적다.

일체형 올 블레이드 타입은 블레이드 전체가 지립층으로 이루어진 타입이다. 접합형에 비해 횡강성은 작지만 블레이드를 매우 정밀하게 제작할 수 있고, 또 매우 얇은 블레이드를 제작할 수 있기 때문에 절단 손실이 적은 고정밀도 절단에 적합하다. 또 접합형 컨티뉴어스 타입의 블레이드와 같이 치핑 발생도 비교적 적다. 그러나 블레이드의 횡강성이 그다지 높지 않기 때문에 접합형 블레이드에 비해 깊은 절입의 절단에는 적합하지 않다.

3.2 결합제의 종류

다이아몬드 외주 날 블레이드에 이용되는 결합제로는 레진 본드, 메탈 본드, 전주, 전착 등이 있다. 결합제의 선택 방법에 따라 블레이드의 강성, 치핑 발생, 절단면의 먼 거칠기 절단 홈 폭 정밀도의 지속성 등이 많이 달라지기 때문에 선정은 매우 중요하다.

레진 본드에는 열경화성 페놀 레진이 주로 이용된다. 이것은 탄성률과 강도가 낮다는 특징이 있다. 탄성률이 낮기 때문에 공작물과 접촉했을 때에 각각의 지립 절삭날 높이가 맞춰지기 쉽고 동시에 연삭 지립수가 많아진다. 그 결과 지립 절입 깊이가 작아지고 치핑 발생이 억제된다. 또 강도가 낮기 때문에 마멸된 지립은 연삭 저항에 따라 차례대로 탈락한다. 이 때문에 날카로운 절삭날을 가진 지립만이 항상 블레이드 외주에 존재하고 깎이는 맛도 뛰어나다. 그 반면, 지립층의 소모는 빠르다.

메탈 본드에는 주로 동, 주석 및 각종 금속 분말을 고온 소성한 것이 이용된다. 그 특징은 레진 본드와는 반대로 강도와 탄성률이 높다. 메탈 본드는 지립 유지력이 강하고 내마모성에 뛰어나기 때문에 절단된 재료의 두께 정밀도가 중요한 경우나 홈 가공

처럼 홈 단면 형상이 중요한 경우에 적합하다. 그러나 레진 본드 블레이드에 비해 동시 연삭 지립수가 적기 때문에 지립 1개 당 절입 깊이가 커지고 치핑이 발생하기 쉽다. 또 마멸된 지립이 탈락하지 않고 블레이드 외주에 남기 때문에 연삭 저항이 서서히 커지고 휘어져 잘리거나 치핑이 발생하기 쉬워진다. 이상의 문제에 대처하기 위해 드레싱을 하면서 가공을 하거나 또는 자주 드레싱을 할 필요가 있다.

전주는 지립을 여러 층으로 넣어 니켈 도금층을 두껍게 성장시키는 것이다. 이 제조법에 따르면 변형이 적은 매우 얇은 블레이드를 제작하는 것이 가능하다. 일반적으로 올 블레이드 타입으로서 주로 절단 폭이 작은 다이싱용으로 사용된다.

전착은 니켈 도금으로 강철제 기관 외주부에 지립을 한 층만 고착시키는 것이다. 지립이 한 층밖에 없기 때문에 지립이 탈락하는 중연삭에는 적합하지 않다. 경연삭의 경우에도 드레싱이 그다지 이루어지지 않기 때문에 블레이드의 수명이 비교적 짧다.

4. 절단기가 갖춰야 할 조건

외주 날 블레이드를 사용하는 절단기로 슬라이서 혹은 다이서라 불리는 공작 기계가 있다. 일반적으로는 그다지 정밀하지 않은 절단·홈 가공을 하는 고정밀·고능률의 절단기를 슬라이서라 하고, 작은 지름의 매우 얇은 블레이드를 이용해 정밀도가 높은 절단·홈 가공을 하는 절단기를 다이서라고 하여 구분한다. 그러나 최근 가공 공정의 복잡 다양화에 따라 다양한 절단·홈 가공 공정에 유연하게 대응할 수 있는 절단기에 대한 요구가 사용자 측에서 높아져 과거의 슬라이서와 다이서 양쪽의 기능을 겸비한 고정밀도, 고강성, 고마력, 소형, 저가격의 절단기가 개발되었다. 이렇게 개발된 절단기는 일반적으로 초정밀 슬라이서라

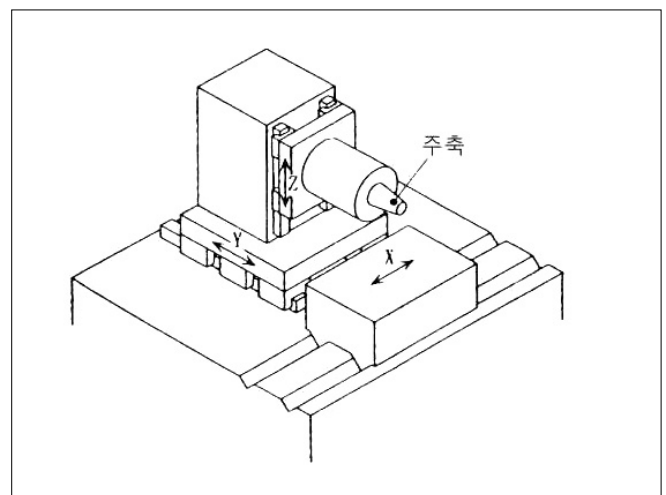


그림 4. 초정밀 슬라이서의 구조

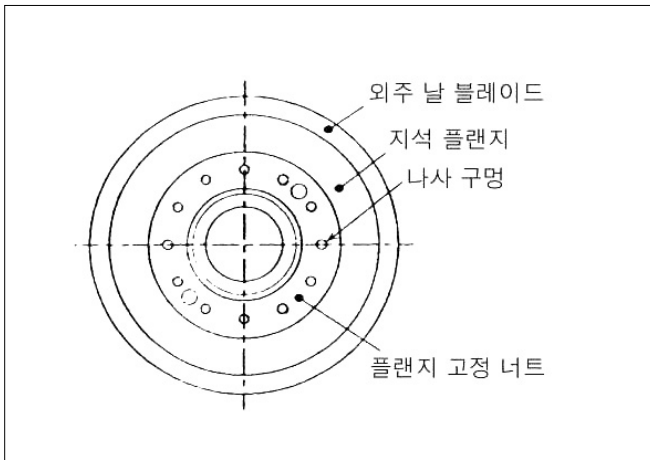


그림 5. 지석 플랜지의 밸런스 조정 나사 구멍

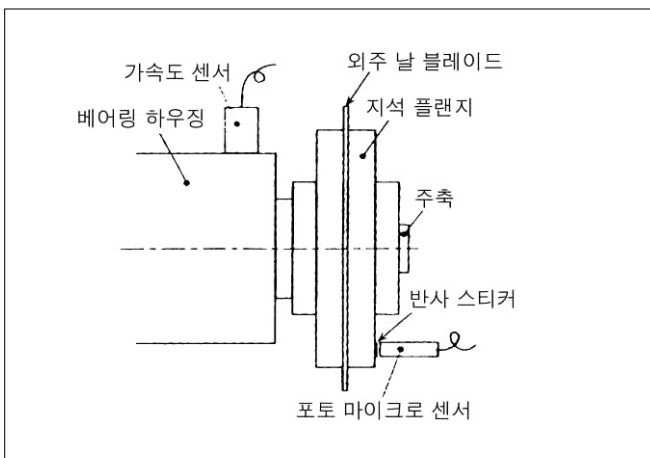


그림 6. 진동의 계측 방법

들을 구동하는 전동기로는 고속 회전, 고출력을 얻을 수 있는 유도 전동기가 적합하고 진동 없이 그 출력을 스펀들에 전달하기 위해 이것을 스펀들에 내장한 타입이 적합하다. 공작기계 제조업체에서는 진동을 제거하기 위해 내장한 뒤에 회전체의 불균형 양에 대한 2면 수정을 했다.

연삭 절단은 공작물 이송 속도가 느린 크립 피드 연삭으로 이루어지는 것이 일반적이다. 따라서 초정밀 슬라이서의 X축 테이블 안내에는 저속이라도 스틱 슬립이 생기기 어렵게 고안된 공기 정압 안내, 유정압 안내, 볼 안내, 습동 안내 등이 채용된다. 그 단면 형상으로는 요잉 오차가 생기기 어려운 V-V 안내가 적합하다. 테이블의 구동에는 볼 나사가 사용되는 것이 일반적이지만 수나사와 암나사의 편심이나 수나사의 약간의 롤링이 테이블 운동의 진직도에 영향을 주는 경우도 있기 때문에 부품의 선정, 조립 정밀도에 충분히 주의해야 된다.

초정밀 슬라이서에는 높은 절단 피칭 정밀도가 요구되는 경우가 많고 그 Y축에는 0.1 μ m 단위의 높은 위치 결정 정밀도가 요구된다. 이 때문에 모아레 줄무늬 방식의 광전 리니어 스케일 등을 이용한 폐회로(closed-loop) 제어가 채용된다. Z축의 위치 결정 정밀도는 홈 가공에 중요하지만 일반적으로는 Y축에 요구되는 위치 결정 정밀도만큼 정밀도만큼 엄격하지는 않다.

초정밀 슬라이서 전체의 구조로는 기계 강성, 열강성과 함께 뛰어난 구조가 요구된다. 그 대책의 한가지로 기계의 소형화가 효과적이다. 또 열변형을 억제하기 위해 실온을 $\pm 2^\circ$ 정도의 온도 폭으로 제어하는 공조 장치, 연삭액의 온도를 일정하게 제어하는 연삭액 온도 제어 장치 등과 같은 주변 기기가 필요하다.

불린다. 초정밀 슬라이서의 구조는 그림 4와 같다. 초정밀 슬라이서에는 아래와 같은 기계 성능이 요구된다.²⁾

- ① 고속 회전할 수 있으며(10,000~ 50,000 rpm), 진동과 발열이 적은 스펀들
- ② 진동과 발열이 적으며 고속, 고출력의 전동기
- ③ 높은 정밀도로 순조롭게 이송할 수 있는 테이블 이송 기구
- ④ 절단 피칭 정밀도를 확보하기 위한 정밀한 위치 결정 정밀도
- ⑤ 열변형이 생기기 어려운 기계 구조
- ⑥ 열변형의 원인이 되는 발열이 적은 기구
- ⑦ 소형으로 강성이 높은 구조

치핑 발생을 적게 하려면 고속 회전하고 진동이 적은 스펀들이 꼭 필요하다. 이 때문에 대부분의 초정밀 슬라이서의 스펀들에는 공기 정압 스펀들이 채용된다. 공기 정압 스펀들은 다른 베어링과 비교해 발열은 적지만 베어링 간극 내에서 공기 전단에 의한 발열이 있다. 이 때문에 저열팽창 재료의 채용, 베어링 하우징의 냉각, 늘어남을 보정하는 구조의 채용을 통해, 열변형에 의한 절단 피치 오차를 최대한 작게 하는 대책이 마련되었다. 스펀

5. 절단기에 대한 블레이드 설치와 조정

5.1 지석 플랜지의 면 흔들림 제거

블레이드 측면의 흔들림은 휘어져 잘리거나 치핑 발생의 원인이 된다. 주축에 대한 지석 플랜지면(플랜지의 블레이드 누름 면)을 수직으로 만들기 위해 일반적으로 절단기의 주축 테이퍼 부는 평면 연삭반보다 길게, 또한 테이퍼 각도는 작게 설정된다. 그러나 주축 테이퍼의 지석 플랜지 설치 오차 등으로 인해 지석 플랜지 면에는 수 μ m 정도의 면 흔들림이 발생하는 것이 보통이다. 정밀도가 높은 절단·홈 가공이 요구되는 경우에는 지석 플랜지를 주축에 설치한 뒤에 절단기의 X축 테이블 이송을 이용해 지석 플랜지 면을 절삭하면 된다. 이에 따라 지석 플랜지 면의 흔들림을 쉽게 0.1 μ m 이하로 억제할 수 있다. 이를 위해서는 소결체 다이어몬드 바이트로 연삭을 쉽게 할 수 있고 경질 알루미늄 처리된 알루미늄 합금이 플랜지 재질로 적합하다.

5.2 움직이는 동적 밸런스 조정

주축의 진동도 역시 치핑 발생의 원인이 된다. 절단기 스핀들의 동적 밸런스는 공작기기 제조업체에 의해 충분히 조정되어 있기 때문에 보통 문제가 되는 경우는 없다. 그러나 사용자가 여기에 절단 블레이드나 지석 플랜지를 새로 설치한 경우에는 불균형이 발생하는 것이 보통이기 때문에 그 때마다 동적 밸런스를 조정해 진동을 제거할 필요가 있다. 조정 방법으로 지석 플랜지의 일부를 삭제해 불균형을 제거하는 방법도 있지만 이 방법으로는 완벽한 조정이 어렵다. 일반적으로는 그림 5처럼 지석 플랜지 측면에 원주 방향으로 같은 간격으로 나사 구멍을 만들고 그 부분에 정밀한 천칭 등으로 계량한 나사를 삽입함에 따라 불균형을 제거한다. 진동 계측은 그림 6처럼 가속도 센서를 베어링 하우징에 자석으로 고정한다. 포토 마이크로 센서는 주축 회전에 동기해서 진동을 계측하는 목적으로 이용된다. 또한 진동 상태는 주축 회전수에 따라 변하기 때문에 진동 계측은 주축을 사용 회전수로 회전시킬 필요가 있다. 동적 밸런스를 잡기 위한 밸런싱 시스템 (밸런서)은 현재 많은 회사에서 시판되고 있으며 이것을 사용하면 능률이 높은 작업을 할 수 있다.

5.3 툴링과 드레싱

블레이드 외주가 주축에 대해 편심되어 있으면 단속 연삭이 되기 때문에 치핑이 발생하기 쉬워진다. 따라서 편심은 가능한 한 제거해야 된다. 또 홈 가공 등에서는 소정의 홈 단면 형상을 얻을 수 있도록 블레이드 외주 단면 형상을 조정해야 된다. 블레이드 외주의 형상을 조정하는 이런 작업을 툴링이라 한다. 또 블레이드 표면의 지립 돌출량이 적으면 절삭분의 배출이 나빠져 연삭 저항이 증가하고 휘어져 잘리는 원인이 된다. 또한 메탈 본드 블레이드 등은 지립 유지력이 강하기 때문에 깎이는 맛이 나쁜 손상된 지립을 블레이드 표면에서 강제로 제거할 필요가 있다. 블레이드 표면의 깎이는 맛을 양호하게 만드는 이런 작업을 드레싱이라 한다. 얇은 날 블레이드는 횡강성·구부림 강도가 낮기 때문에 블레이드에 큰 횡하중이 작용하는 툴링이나 드레싱은 부적당하다. 따라서 블레이드에 가능한 한 힘이 가해지지 않는 방식이 채용된다. 블레이드 외주의 편심을 제거하기 위한 툴링으로 가장 일반적인 방법은 비트리파이드 본드의 재래 지석에 대해 홈 가공을 반복하는 방법이다. 이 방법은 거의 모든 종류의 본드제를 사용한 블레이드에 대응할 수 있다. 그러나 홈 가공에서 블레이드의 외주 단면 형상을 필요한 형상으로 조정하고 싶은 경우에는 사용할 수 없다. 이 경우에는 방전 툴링이 효과적이다. 이 방법은 메탈 본드 블레이드에만 대응할 수 있지만 일반적으로 홈의 단면 형상 정밀도가 요구되는 경우에는 메탈 본드 블

레이드가 사용되기 때문에 특별한 지장은 없다. 툴링용 전극으로는 고정 전극, 회전 전극³⁾, 와이어 전극⁴⁾, 메탈 본드 다이아몬드 블레이드⁵⁾를 이용한 예가 있다. 또한 블레이드 외주의 편심을 제거하면 동적 밸런스가 다시 흐트러지기 때문에 툴링한 뒤에 동적 밸런스 조정을 다시 하는 것이 바람직하다. 위에 말한 방법으로 툴링을 한 경우 동시에 드레싱도 이루어지기 때문에 툴링에 이어 드레싱을 할 필요는 없다. 그러나 가공을 계속하는 사이에 점점 지립이 손상되어 깎이는 맛이 나빠지기 때문에 정기적 또는 연속적으로 드레싱할 필요가 있다. 정기적으로 간단하게 드레싱하는 방법으로는 공작물 앞뒤에 비트리파이드 본드의 재래 지석을 배치하고 매회 절삭 시에 이것에 홈 가공을 하는 방법이 있다. 또 연속 드레싱을 하는 방법으로는 공작물의 슬라이스대에 역시 비트리파이드 본드의 재래 지석을 이용해 슬라이스대마다 절단하는 방법이 있다. 메탈 본드 블레이드에 대해서는 전해 드레싱을 하는 방법도 실용화되고 있다. 그러나 과도하게 드레싱하면 지립층의 소모를 촉진시키기 때문에 주의할 필요가 있다.

6. 절단 조건

6.1 지립

블레이드의 종류와 결합제에 대해서는 앞에서 언급했기 때문에 여기에서는 지립에 대해서만 설명하도록 하겠다. 경취 재료의 가공에는 일반적으로 다이아몬드 지립이 이용되는데 절단 가공에서도 예외는 아니다. 같은 다이아몬드 지립이라 해도 그 특성은 다양해 절단 블레이드용에는 특히 치수가 일치하는 납작하지 않은 강인한 지립이 필요하다. 사용하는 지립 크기는 블레이드의 두께에 따라 다르지만 일반적으로 60/80 μ m보다 미세한 입자가 이용된다. 전주 기술로 만들어지는 다이싱용 블레이드에는

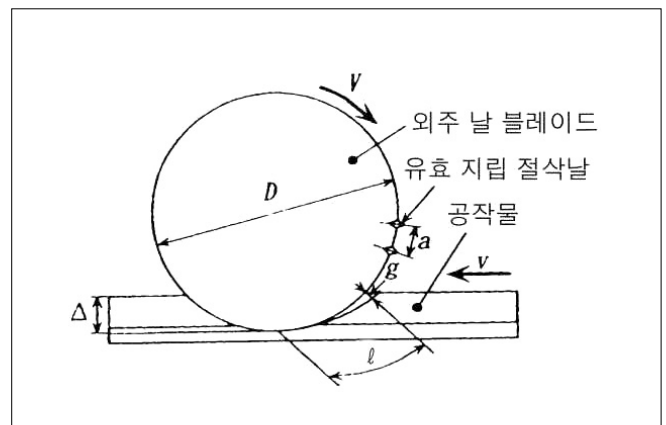


그림 7. 연삭 절단의 접촉호 길이와 지립 절입 깊이

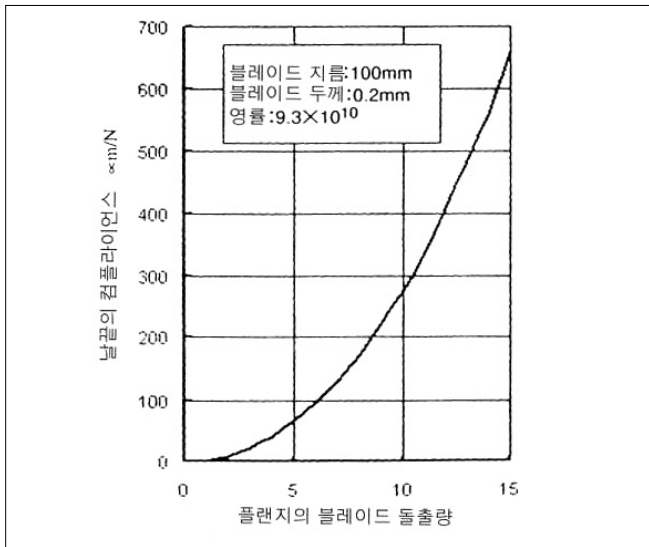


그림 8. 플랜지의 블레이드 돌출량이 날끝의 컴플라이언스에 주는 영향

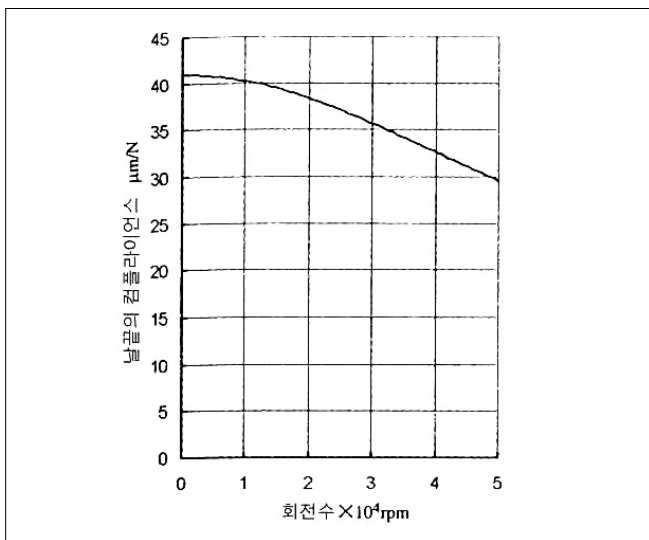


그림 9. 회전수가 날 끝의 컴플라이언스에 주는 영향

40/60~2/4 μm 범위의 미크론 크기의 다이아몬드 지립이 사용된다.

6.2 절단 블레이드의 지름

그림 7처럼 연삭 절단은 크립 피드 연삭이기 때문에 일반적인 연삭보다 지석과 공작물 사이의 접촉호 길이가 길어지고, 절삭분의 배출이나 가공점에 대한 연삭액 공급이 어려워진다. 접촉호의 길이 l 은 블레이드 직경을 D , 블레이드 절입 깊이를 Δ 로 하면 근사치로 표시할 수 있다. 이 때문에 절단 블레이드 지름을 작게함에 따라 접촉호 길이를 짧게 하고 절삭분의 배출이나 연삭액 공급을 쉽게 하려는 경향이 있다. 그러나 그만큼 필요한 블레이드 주속도를 얻기 위해서는 회전수를 높이지 않으면 안 된다.

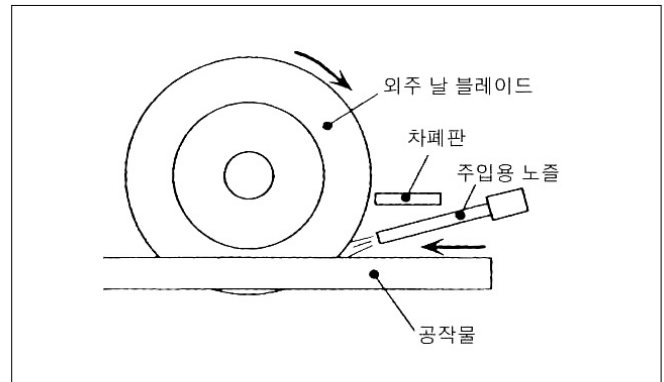


그림 10. 등반 회전 공기류의 차단

6.3 플랜지의 블레이드 돌출량

일반적으로 플랜지의 블레이드 돌출량은 블레이드 두께의 20배가 한도로 되어 있다. 이 이상의 비율로 하면 절단 정밀도가 급격히 저하된다. 이것은 블레이드 날끝의 날 두께 방향의 컴플라이언스(단위 크기의 점 하중에 의한 하중 점의 변위량)와 플랜지의 블레이드 돌출량과의 관계를 나타낸 그림 8에서도 알 수 있다. 따라서 정밀도가 높은 절단을 하기 위해서는 공작물의 두께에 따라 가능한 한 플랜지의 블레이드 돌출량을 작게 할 필요가 있다.

6.4 연삭 방향

연삭 절단은 보통 다운 컷으로 이루어진다. 그 이유는 공작물에 생기는 칩핑이 업 컷보다 적기 때문이다. 업 컷의 경우 연삭점에 위를 향하는 연삭 저항이 작용하기 때문에 칩핑이 생기기 쉽다. 또 지립 절입 깊이가 최대가 되는 공작물 윗부분 부근의 연삭점에서의 연삭액 공급이 어려워지기 때문에 온도 상승에 의한 칩핑이나 가공 변질층 발생을 초래하기 쉽다.

6.5 블레이드 주속도

정밀 연삭 절단에서는 블레이드 주속도를 높임에 따라 절곡이나 칩핑 발생이 줄어드는 것으로 알려져 있다. 그 효과의 이유로 다음 사항을 생각할 수 있다.

- ① 지립 1개 당 절입 깊이의 저감
- ② 블레이드의 횡강성 향상
- ③ 블레이드가 원래 가지고 있던 변형의 저감

지립 절입 깊이 g 는, 블레이드 직경을 D , 블레이드 주속도를 V , 공작물 이송 속도를 v , 블레이드 절입 깊이를 Δ , 지립 절삭날 간격을 a 로 하면 근사치로 $2a \cdot v/V$ 로 표시할 수 있다. 이 식

에서 알 수 있듯이 g 는 V 와 반비례하기 때문에 V 를 크게 하면 g 를 작게 할 수 있다. 그 결과 1개의 지립에 의한 절삭 단면적이 작아져 치핑이 줄어들고 동시에 연삭 저항도 작아져 휘어져 잘리는 양이 작아지는 것으로 생각된다.

블레이드 회전수가 블레이드 날끝 날 두께 방향의 컴플라이언스에 주는 영향에 대해 해석한 결과를 그림 9에 나타냈다. 해석은 지석 플랜지 지름을 92mm, 블레이드의 외경은 100mm, 구멍 지름은 50mm, 두께를 0.2mm, 영률은 $9.3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$, 푸아송비를 0.28, 밀도를 $7.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 로 했다.

이 해석 조건처럼 플랜지의 블레이드 돌출량이 블레이드 날 두께의 20배 정도인 경우 회전수를 30,000 rpm 정도로 올려도 날끝 컴플라이언스 감소는 10% 정도이고, 원심력에 의한 날끝의 횡강성 향상은 거의 기대할 수 없음을 알 수 있다. 그러나 플랜지의 블레이드 돌출량이 큰 경우에는 회전수가 10,000rpm 정도 되더라도 날끝의 컴플라이언스는 많이 감소된다. 따라서 어쩔 수 없이 블레이드 돌출량을 크게 해야 되는 경우에 한해 회전수 증가는 날끝의 횡강성 향상에 유효하다고 할 수 있다. 절단 블레이드는 블레이드 종류에 상관없이 약간이라도 변형된 부분이 있는 것이 보통이다. 블레이드가 많이 변형되면 절단 폭이 넓어질 뿐만 아니라 절단면에 대한 블레이드 측면의 접촉이 강해져 치핑이 발생하기 쉬워진다. 그러나 블레이드의 회전수를 높이면 원심력의 효과에 따라 변형이 작아지므로 치핑 발생이 억제된다.

6.6 연삭액의 공급

연삭 절단은 크립 피드 연삭이기 때문에 가공점에 대한 연삭액 공급이 어렵다는 것은 앞에서 설명했다. 그것을 어렵게 하는 또 하나의 이유로 블레이드의 고속 회전에 의해 생기는 동반 회전 공기류의 영향을 들 수 있다. 이 공기류가 강하면 노즐에서 방출된 연삭액은 진로를 바꿔 연삭점에 도달할 수 없게 된다. 그 영향을 없애기 위해 그림 10처럼 연삭액 노즐 앞에 판을 달아 동반 회전 공기류를 차폐하는 방법을 취할 수도 있다. 또 연삭액을 높은 압력으로 주입하는 방법도 효과적이지만 블레이드의 날 두께 방향으로 힘이 작용하지 않도록 충분히 주의해야 된다.

7. 연삭 절단에서의 외주 날 절단 블레이드의 거동^{6, 7)}

절단 중에 블레이드가 변형되는 원인으로는

- ① 블레이드 외주의 편마모 (블레이드 외주 단면의 비대칭 마모)
- ② 블레이드 양측면 에지의 깎이는 맞 상위

③ 블레이드가 가진 변형

④ 지석축과 테이블 이송 방향의 조정 오차

⑤ 블레이드 측면에 작용하는 연삭액 공급 압력의 불균형

등을 생각할 수 있다. 이 중 ③과 ④는 조정이 가능하기 때문에 문제가 되는 일은 적다. 따라서 남은 ①, ②, ③이 주요한 원인이 되는데 여기에서는 ①과 ②의 영향만 고려해 절단 중의 블레이드 거동을 설명하겠다. 단, 1 패스의 절단 중 ①과 ②의 상태는 거의 변하지 않는 것으로 한다.

절단 개시 직후 블레이드는 날끝에 작용하는 날 두께 방향의 연삭 저항에 따라 변형된다.

이 때 만곡된 블레이드의 안쪽면이 연삭에 관여하면서 블레이드는 공작물에 절입된다. 그러나 절단이 진행되면 이번에는 만곡된 블레이드의 바깥쪽면이 연삭에 관여하게 되고 거기에 작용하는 연삭 저항에 따라 블레이드가 더욱 변형되게 된다. 그 결과 절단 방향보다 뒤쪽의 블레이드 측면과 절단면에 접촉해 절단면에 위를 향하는 연삭 저항이 작용하기 때문에 치핑이 생기기 쉬워진다. 또한 절단이 진행되면 블레이드에 작용하는 날 두께 방향의 연삭 저항과 블레이드의 굴곡 항력이 균형을 이뤄 블레이드의 변형된 형상은 정상이 된다. 절단 후반, 블레이드는 탄성을 회복하며 공작물에서 빠져 나온다. 이 때 뒤쪽의 블레이드 측면이 절단면과 강하게 접촉하기 때문에 특히 치핑이 생기기 쉬워진다.

8. 외주 날 절단 블레이드를 이용한 각종 절단 방법 소개

외주 날 블레이드를 이용한 정밀 연삭 절단에서는 어떤 식으로 절단면을 평탄하게 하고 치핑을 작게 할 것인지, 그리고 어떤 식으로 절단면을 경면 혹은 경면에 가깝게 다듬질 할 것인지가 과제이다. 이에 대해 몇 가지 방법이 보고되어 있어 여기에 소개한다. 石川 외8)는 테이블 이송 방향에 일치하는 저 주파 진동 (진동수 0~30Hz, 진폭 0~200 μm)을 공작물 측에 부가함에 따라 연삭 저항의 저감 외에 치핑의 저감 등 두드러진 효과를 얻었다. 이러한 효과를 가져오는 요인으로 블레이드가 설령 편마모되었다 해도 진동에 의한 미세 단속 절단이 이루어지기 때문에 일단 변형된 블레이드를 공작물에서 떼어내면 진동 1주기마다 원점 복귀를 하면서 연삭액을 진입하도록 하는 점을 들 수 있다.

萱場 외9)는 블레이드 양측면 에지의 깎이는 맞을 전해 드레싱을 통해 독립적으로 드레싱함에 따라 절단 중에 발생하는 블레이드의 변형량을 변화시키는 것이 가능하다는 점을 주장하였다. 필자들은 공작물 이송 속도의 제어를 통해 블레이드의 변형량을 절단 중에 거의 일정하게 유지해 평탄도가 높은 절단면을 얻는

▶▶▶ 지상 공개 강좌

방법¹⁹⁾이나 변위 센서로 블레이드 변형을 계측하며 절단하고, 그 출력에 따라 블레이드 양측면에 공급하는 연삭액에 압력차를 줘 변형을 제어하는 방법²⁰⁾을 제안하고 좋은 효과를 얻었다. 절단면을 경면으로 다듬질하는 방법으로는 블레이드의 중앙에 조립, 양측면에 극미립 다이아몬드를 배치한 하이브리드 블레이드를 이용하는 방법²¹⁾이나 다이아몬드 블레이드 표면에 전기 영동 현상에 의해 미세한 콜로이드 실리카를 흡착시켜 경면을 얻는 방법²²⁾이 제안되었다. 또 ELID를 이용해 절단하는 방법¹⁴⁾도 제안되었다.

참고문헌

- 1) 庄司克雄 : 외주 날 블레이드를 이용한 정밀 연삭 가공 기술, 정밀 공학회지, 60, 2(1994) 168.
- 2) 田中克敏 : 경취 재료의 고능률· 고정밀 슬라이싱 가공 (石川憲一 편저), IPCS, (1995), 321.
- 3) 柳瀬辰仁, 薄木雅雄, 植松哲太郎, 領木清 : 얇은 날 지식의 기기 상방전 툴링, 제2보, 회전 전극에 의한 고정밀도 툴링, 1992년도 정밀 공학회 춘계 대회 학술 강연회 강연 논문집, (1992) 47.
- 4) 日野裕, 古利明, 野呂瀬進, 磯貝毅, 中村示, 山田國男, 貴志浩三 : 절단 지식의 방전 툴링, 1992년도 정밀 공학회 춘계 대회 학술 강연회 강연 논문집, (1992) 43.
- 5) 黒部利次, 川昌夫, 佐藤彰 : 얇은 날 다이아몬드 지식의 툴링, 1991년도 정밀 공학회 춘계대회 학술 강연회 강연 논문집, (1991) 437.
- 6) 水野雅裕, 庄司克雄, 井山俊郎, 森田喜男 : 정밀 연삭 절단의 절단면 창성에 대해, 정밀 가공학회, 58, 1 (1992) 105.
- 7) 水野雅裕, 井山俊郎, 高田昌夫, 岡光宣, 領木信夫 : 고정밀 슬라이싱 가공의 외주 날 블레이드의 거동 해석, 일본 기계 학회 논문집 (C편), 60,569 (1994) 314.
- 8) 石川憲一, 諏訪部仁, 古永俊博 : 외주 날 절단에 미치는 진동 효과에 관한 연구, 1991년도 정밀 공학회 추계 대회 학술 강연회 강연 논문집, (1991) 783.
- 9) 萱場信雄, 藤政泰 : 전해 드레싱에 의한 절단 변형 제어, 1991년도 정밀 공학회 춘계 대회 학술 강연회 강연 논문집, (1991) 991.
- 10) 水野雅裕, 井山俊郎, 遠藤良幸, 森田喜男 : 컴퓨터 제어에 의한 고정밀 슬라이싱에 관한 연구, 정밀 공학회지, 59, 7(1993) 1169.
- 11) 椿健吾, 水野雅裕, 井山俊郎, 吉田宏 : 연삭액에 의한 외주 날 블레이드의 변형 제어 (제어 파라미터가 치핑에 미치는 영향), 1996년도 정밀 가공회 도호쿠지부 모리오카 지방 강연회 강연 논문집, (1996) 87.
- 12) 神田虎彦, 三橋眞成 : 광 디바이스 기판의 하이브리드 블레이드를 이용한 경면 연삭 절단, 1992년도 정밀 공학회 추계 대회 학술 강연회 강연 논문집, (1992) 213.
- 13) 池野順一, 谷泰弘, 福谷亭人 : 초미립 지립의 전기 영동 현상을 이용한 연삭 절단법 개발, 일본 기계학회 논문집 (C편), 57, 542 (1991) 3320.
- 14) 高橋一郎, 大森整, 中川威雄 : 전해 드레싱 연삭에 의한 경면 절단, 1989년도 정밀 공학회 추계 대회 학술 강연회 강연 논문집, (1989) 687.

『광학세계』 원고모집

한국광학기기협회에서 발간하는 '광학세계'의 원고를 모집하고 있습니다.

'광학세계'에 관심을 갖고 계신 관련업체, 학계, 연구계 및 개인 구독자 여러분의 많은 참여를 부탁드립니다.

- 원고모집 안내 -

1. 원고 내용 : 연구논문, 회사소개, 제품소개, 국내·외 기술동향, 이달의 독자, 수필 등
2. 원고 분량 : 제한 없음
3. 원고 마감 : 수시 접수중

※기사로 활용할만한 좋은 소재를 알고계신 경우 연락주시면 직접 방문하여 취재하겠습니다.

연락처 : 한국광학기기협회 '광학세계' 편집부

TEL : (02)581-2321 FAX : (02)588-7869

이메일 : pjy@koia.or.kr/koma94@chollian.net