

제 4 장 능률 연삭

1. 크리프 피드연삭

크리프 피드 연삭(creep feed grinding; CFG)은, 그림 1에 나타났듯이 저석 반경 절입량 Δ 를 일반 연삭의 100~1000배로 크고, 반대로 공작물 속도 v 를 1/100과 작게하여 실시하는 연삭법이다. 연삭 가공률($\Delta \cdot v$)은 일반 연삭과 거의 같지만, 1패스로 연삭이 종료되도록, 가능한 범위에서 스톤 반경 절입량을 크게 취한다. 따라서 일반 연삭과 같이 공작물 테이블 반전 시에 에어 컷의 헛된 시간이 없어지고, 가공 시간이 반 이상 단축되고, 이 때문에 실제의 연삭 가공률은 거의 같아도 전체적으로 능률은 증가한다.

그런데 크리프 피드 연삭에서는, Δ 가 대, v 가 소이기에, 최대 저립 입자 절입 깊이 g_m 는 작지만, 저립 입자 절삭 길이 L_g 는 길어진다. 이 때문에, 크리프 피드 연삭 특유의 성질이 나온다. 그림 2는, 연삭가공률이 일정하다는 조건 하에서 저석 반경 절입량을 일반 연삭 영역으로부터 크리프 피드 연삭 영역까지 변화시켰을 때의, 저립 칼날 1개에 작용하는 연삭력 f_n 와 연삭저항 F_n 를 나타낸 것으로, 크리프 피드 연삭에서는 f_n 는 약 1/2 이하로 작게 되지만, F_n 의 값은 약 1.5배로 크다. 따라서 크리프 피드 연삭에서는 큰 연삭저항이 작용해도 연삭 가능한 고출력의 연삭반이 필요하다. 그러나 f_n 가 작기 때문에 저석 마모량, 스톤 형상 정밀도의 열화는 작다. 그림 3에 저석 반경 감소량과 저석 외곽부의 해이함(다래)을, 일반 연삭과 크리프피드 연삭으로 비교한 예를 나타낸다. 양쪽 모두, 크리프 피드 연삭에서는 작은 것을 알 수 있다.

반면, 크리프 피드 연삭으로의 저석 마모는 날 뭉그러짐 김새로 보게된다. 즉, 연삭 저항이 급증하고, 또는 연삭 연소가 발생해 연삭 불능이 된다. 이러한 날 부서짐이라고 하는 저석의 결합도를 부드럽게 하는 것으로 대처할 수 있다. 필자는 WA60C

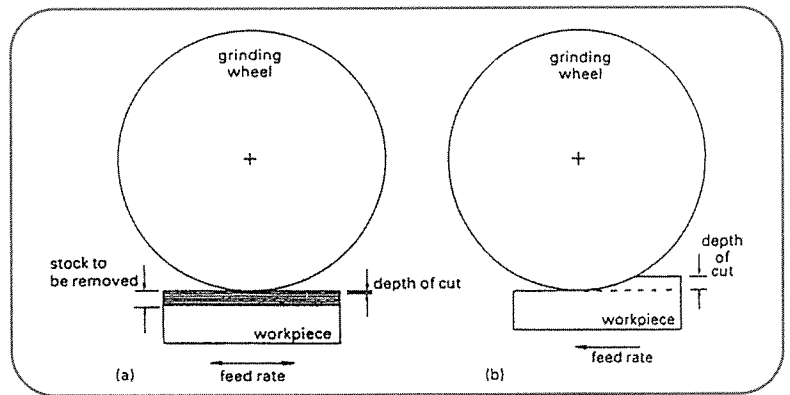


그림 1. Grinding model

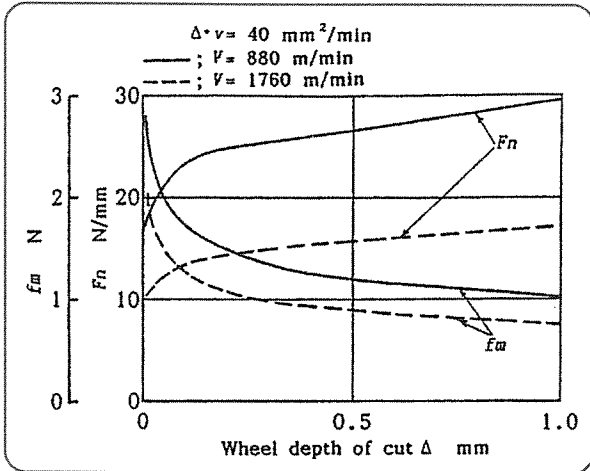


그림 2. Relationship between Grinding force and depth of cut

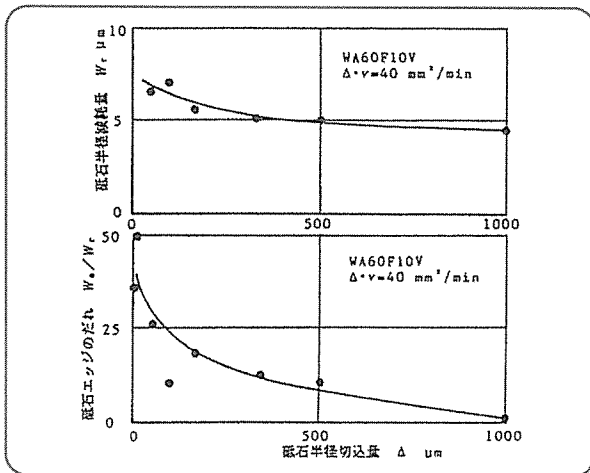


그림 3. Relationship between depth of cut and wear, edge rounding

라고 하는 결합도가 극단적으로 낮은 매우 연한 저석을 이용하고, 지금까지 곤란했던 SCM 강철의 크리프 피드 연삭에 성공하고 있다.

저석 결합도를 부드럽게 하여 날 부서짐을 막는 방법 이외에, 연속 드레싱이라고 하는 방법이 있다. 개략을 그림 4에 나타낸다. 이것은 일반 숫돌의 날 부서짐 층을 드레싱에 의해 연속적으로 제거하면서 연삭하는 것이다. 이 방법에서는 항상 예리한 좋은 칼날이 나와있게 되지만, 저석의 손모양이 현저하다. 또 숫돌의 손모양을 수시 보정하는 기구가 필요하다.

또 크리프 피드 연삭에서는 lg가 크기 때문에, 연삭액 공급량이 적게 되고, 연삭 연소의 발생도 볼 수 있게 된다. 이 문제에 대해서 숫돌·공작물 접촉호 내의 연삭막 두께

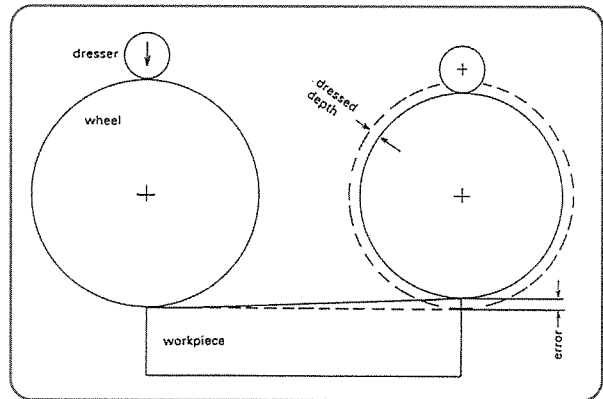


그림 4. Schematic of continuous dressing

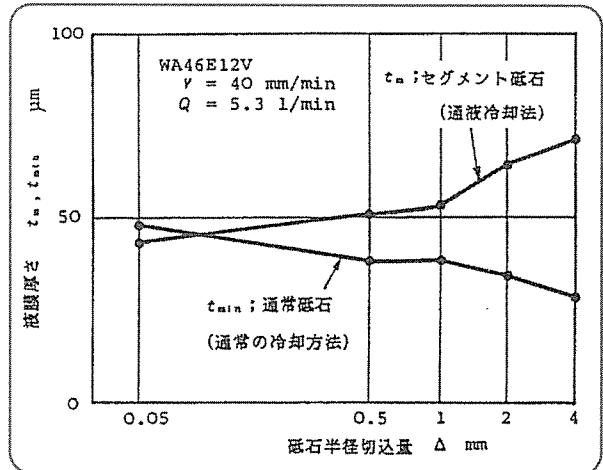


그림 5. Thickness of fluid comparing regular wheel and segment wheel

분포를 측정하여 연삭액 공급량을 평가했다. 일반 저석과 세그먼트(segment)저석 등으로 지석·공작물 접촉호 내의 액체 막두께를 비교한 결과를 그림 5에 나타낸다. 그 결과, 저석 외부 주위에 흠을 넣은 슬롯 저석, 혹은 세그먼트(segment)를 원 주위에 배치한 세그먼트(segment) 저석의 사용이 매우 유효하다는 것을 알았다. 또 이러한 저석은 용이하게 연삭액의 통액공급을 할 수 있기 때문에, 연삭 연소 방지에 효과가 있었다. 통로의 저감에는 연삭액의 고압공급이 유효했다.

2. 하이레시프로 연삭

하이레시프로 연삭은 크리프 피드 연삭과 완전히 반대의 것이다. 즉 숫돌 반경절입량은 통상연삭과 같고 작지만,

표 1. Comparison of conventional grinding, creep-feed and HEDG

	通常研削	クリープフィード研削	HEDG
mm	小: 0.001-0.05 大: 1-30	大: 0.1-30 小: 0.05-0.5	大: 0.1-30 大: 0.5-10
v m/min	小: 20-60	小: 10-60	大: 100-500
V m/s	小: 0.1-10	小: 0.1-10	大: 50-2000

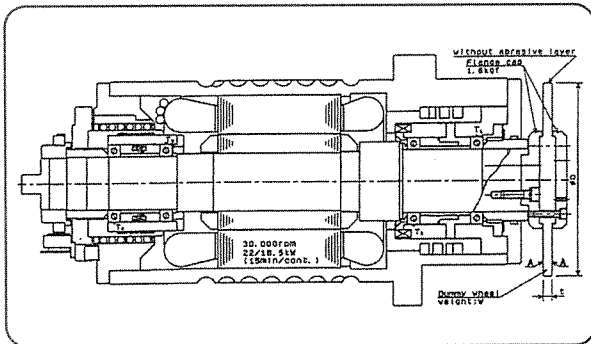


그림 6. Structure of high speed spindle

반대로 공작물 속도 v 를 통상의 10~20배로 크게 하고 능률화를 도모하는 것이다. 큰 공작물 속도는, 전용의 하이레시프로테이블로 주어 테이블 반전에 수반하는 충격을 카운터 밸런스에 의해 관솔하는 구조가 되어 정말로 부드러운 반전 동작이 가능하다. 하이레시프로 연삭의 경우, 최대 연마용 입자 깊이 gm는 크고, 연마용 입자 질삭 길이 LG는 짧게 된다. 따라서 연삭열의 발생이 적고, 연마용 입자 조각칼날의 자생 작용도 활발하게 된다. 이 방법을 연삭절단에 이용했을 경우, 절단면의 파도가 매우 작고, 게다가 경면이 되었다.

3. 초고속 고 능률 연삭

초고속 고 능률 연삭(high efficiency deep grinding, HEDG)은 독일에서 연구를 시작한 새로운 연삭법이다. 이것은 크리프 피드 연삭과 같은 큰 저속 반경 절입량과 일반 연삭과 같은 큰 공작물 속도 v 를 주어서 연삭하는 방법이다. 이 상태에서는 최대 저립 입자 절입 깊이 gm은 비정상적으로 커져 버려서 연

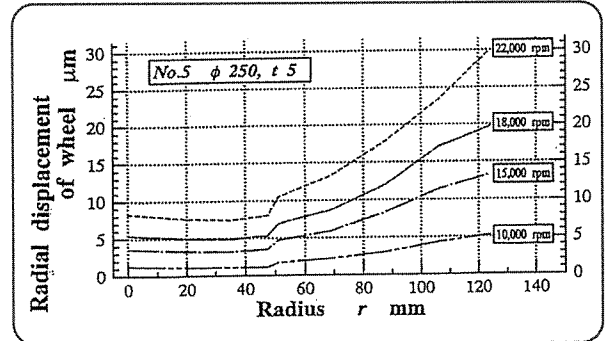


그림 7. Radial displacement of wheel in high-speed grinding

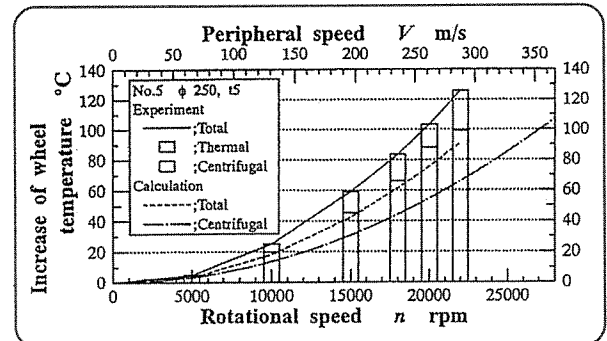


그림 8. Increase of wheel temperature in high-speed grinding

삭이 불가능하다. 그리고 저속 주속도 V 를 크게 해, v/V 를 일반 연삭과 같은 영역에 가져오는 것으로 연삭을 가능하게 하고 있다. 실제로는 $V=200\sim400\text{m/s}$ 의 영역까지 저속 주속을 끌어올려 연삭을 실시한다. 일반연삭, 크리프 피드 연삭, HEDG의 스펙을 비교한 것을 표 1에 나타낸다. 다른 두 개에 비해 HEDG가 이하와 같이 큰 연삭 가공률 G 되고 있는가를 이해할 수 있다고 생각한다.

이 HEDG를 실현하기 위해서는 초고속 회전에 견디는 고출력 주축과 휠, 강력한 연삭액 공급시스템, 고강성 연삭반 등의 개발이 필요 불가결하다. 특히, HEDG 성공의 열쇠는 뛰어난 주축과 휠의 개발에 달려 있다고 해도 과언은 아니다. 필자의 연구실에서는 휠 회전수 30,000rpm(주축 출력 22kW, dn195만), 스톨 주속도 400m/s까지 가능한 초고속 연삭반을 개발했다. 주요 부품인 고속 주축의 구조를 그림 6에 나타낸다. 또 회전중의 저속 반경 방향의 신장, 스톨 표면 온도 상승을 그림 7, 8에 나타낸다. 이와 같이 종래의 연삭에서는 문제가 되지 않았던 것도, 고속 영역에서는 문제가 되는 일이 있다. 또 초고속 영역으로의 휠 강도, 연삭 특성 등 미지의 부분도 많다. 향후의 연구에 기대하고 싶다.