

WC-Co의 高品位 平面 研削加工

허성중*, 강재훈**, 김원일***

Surface Grinding of WC-Co with High Quality

S. J. Heo, J. H. Kang and W. I. Kim

Abstract

Presently, abrasive processing is one of several methods for cutting and grinding brittle materials, and high quality in dimensional accuracy and surface roughness are often required as a structural components, therefore most of them has to be ground. In manufacturing of tungsten-carbide components, grinding by diamond wheel is usually adopted in order to provide configurational and dimensional accuracy to the components.

The present study proposes the experimental research of optimum condition to the high quality surface grinding of the WC-Co material using diamond abrasive wheel in order to minimize the damage on the ground surface and to pursue the precise dimension by conventional grinding machine. Brief investigation is carried out to decrease the dressing efficiency of resinoid bonded diamond grinding wheel to grind WC-Co. When grinding quality is constant, theoretical grinding effect such as machining precision is changed according to the speed of workpiece. Accordingly, normal and tangential grinding forces, which are F_n , F_t were analyzed for the machining processes of WC-Co material to obtain optimum grinding conditions. 3-point bending test is carried out to check machining damage on the ground surface layer, which is one of sintered brittle materials.

Key words : WC-Co(WC-Co계 초경합금재), Truing & dressing efficiency(트루잉 & 트레싱 효과), Theoretical grinding condition(이론적 연삭조건), 3-point bending test(3점식 굽힘시험), Weibull coefficient(와이블 계수)

* 정회원, 경남대학교 기계공학과

** 장회원, 한국기계연구원 가공기술실

*** 정회원, 경남대학교 기계공학과

1. 서 론

초경합금(Hartmetalle, hard metal, cemented carbides, tungsten carbides)은 주기율표 제 IVa, Va, VIa족에 속하는 9종류의 금속 (TiC, ZrC, HfC, VC, Nb-C, TaC, Cr₃C₂, Mo₂C, WC)의 탄화물을 대상으로 하여 이들 탄화물 분말을 철, 코발트, 니켈등의 철계금속을 이용하여 소결 결합시킨 금속을 총칭하는 것이다.⁽¹⁾

이들 초경합금은 저온 경도는 물론 고온 경도가 우수하고 고강도로, 제반 물리적 성질이 안정되어 있는 것이 특징으로 내마멸, 내충격, 내식용의 공구 및 금형용 부품으로써 각 방면에 이용이 증가되고 있는 실정이다.

경질재료(초경합금, Cermet, Ceramics 등)는 소결체가 그대로 제품이 되는 경우도 있지만 높은 치수정밀도와 표면거칠기를 요구하는 제품에서는 소결 후, 최종가공이 필요하게 된다. 가공법의 선택은 제품의 형상, 치수정도, 표면상태 등 품질면과 가공능률의 양면을 고려하여 행해지지만 특수가공을 제외하고는 초경합금의 가공에 실제 널리 이용되는 가공방법중의 하나가 연삭가공이라 할 수 있다.

초경합금의 연삭가공에 관한 연구로는 N.W. Thiel⁽²⁾의 초경합금/탄소강 동시 습식 연삭에 관한 연구와 A. Buttner⁽³⁾의 플러지 연삭, 각 등급별로 초경합금의 연삭실험을 행하여 그 기구를 해석한 玉置⁽⁴⁻⁷⁾의 연구 및 P10계 초경합금을 대상으로 다양한 가공조건에 대한 연삭저항, 가공면 표면거칠기, 연삭비 등을 고찰하여 초정밀, 고능률적 차원에서 실험적인 최적가공 조건을 찾고자 한 저자의 연구^(8,9)가 있었다.

한편, 연삭가공의 성능은 주로 연삭숫돌의 종류와 입도, 결합제의 종류와 결합도, 피가공물의 종류, 분위기(습·건식)에 큰 영향을 받으므로 미시적인 관점에서 가공물의 용도에 적당한 가공조건이 필요하다.^(10,11)

이 가공시에 생기는 표면 균열과 잔류응력의 가공손상은 강도에 큰 영향을 미치기 때문에 가공법과 가공조건등과 가공손상과의 관계를 명확하게 하는 것이 요구된다.⁽¹²⁾

동일 소재로도 최적가공조건을 사용하게 되면 강도의 극대값을 얻을 수 있게 되어 그만큼 소재의 고급품화를 추구할 수 있게 된다고 볼 수 있다.

따라서 본 논문에서는 금형용 부품 및 공구재료(다이스, 펀치)로 널리 사용되는 V20계 초경합금재의 강도,

신뢰성 향상을 목적으로 고경도, 고취성, 난삭재의 후가공을 위해 선진국들을 중심으로 보편적으로 보급되어져 있는 다이아몬드 연삭공구⁽¹³⁾를 사용하여 실제 작업 현장에서 많이 활용되고 있는 범용 평면연삭기의 작업가능조건에서 가공정밀도를 해치지 않고 제거능률 향상을 위한 효과적인 공작물의 이론적 속도 및 이에 따른 연삭깊이를 알아보기 위해 이론적인 최적 연삭조건(Theoretical optimum grinding condition)을 구하였다.

또, 다이아몬드 연삭공구의 숫돌날들이 트루잉(Truing), 드레싱(Dressing)과정을 통하여 창성되고 변화되어 가는지의 여부와 초경합금의 경우 초기 드레싱 후 총 제거 누적량에 따른 저항의 변화를 고찰하여 드레싱 효과의 유지시간이 어느 정도인지를 간접적으로 살펴보기 위해 초경합금의 가공면상에서 트루잉과 드레싱 효과를 조사해 보았다.

초경합금과 같은 소결재료에서는 강도가 낮은 입계와 계면등의 국부적 강도가 거시적인 강도와 입자 자체의 강도에 의해 낮아지기 때문에 재료가 전파단 되기 이전에 재료내에 먼저 존재하고 있는 결함으로부터 국부적 파괴가 생기기 용이하며⁽¹⁴⁾ 특히 포아(Pore)와 조대입자 등의 내부결합에서는 각각 전선에 응력집중에 의한 국소적인 파괴를 일으키기 쉽다.⁽¹⁵⁾

즉, 금속재가 금속 결합으로 이루어져 있는 것에 반해 초경합금재나 세라믹스재와 같은 소결 재료는 이온 결합과 공유 결합으로 이뤄져 있으므로 내부조직의 결합이나 표면의 상처와 함께 기계가공에 의한 인위적인 예리한 상처가 가공표면에 잔류하게 되어 표면으로 부터 깊이 침투, 파급되어 질 수 있기 때문에 강도값의 저하가 야기되어 질 것이다.⁽¹⁶⁾

그러므로 위에서 설정한 연삭조건을 중심으로 가능한 한 최대의 강도 저하 현상을 방지하기 위해 가공 조건에 따른 연삭저항, 연삭 표면거칠기등과 연삭가공 조건이 굽힘강도에 미치는 영향을 3점식 굽힘강도 실험을 통하여 구해봄으로써 강도보증의 차원에서 고품위 가공을 위한 적정 조건을 확립하고자 하였다.

2. 실험조건 및 설정

초기 원재의 변형이나 불필요 부위를 제거 가공하여 요구 치수 및 형상으로 제작하기 위해서는 고능률이 고려되어야하며 강도 보증을 위해서는 가공면의 품질 즉

가공으로 인한 결함이 최대한 억제 될 수 있도록 고려해야 한다. 고능률 및 고품위를 내내기 위한 평면연삭 가공의 금속제거율 $Z^{(17)}$ 는

$$Z = t \cdot V_w - S_r \quad (1)$$

여기서 Z: 금속제거율 ($\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$)

t: 설정 연삭깊이 (μm)

V_w : 공작물 속도(m/min)

S_r : 탄소성 변형에 의한 원상 회복량(mm)

로 표시되므로 Z값의 향상을 위해서는 V_w 와 t의 증가와 함께 S_r 를 감소시켜야 할 것이다. 한편 식 (1)에서 V_w 와 t값의 변화에 따라 생성되는 표면거칠기의 특성방정식⁽¹⁸⁾은 다음과 같다.

$$R_{\max} = \frac{1}{16} \cdot \left(\frac{1}{D}\right) \cdot \left(\frac{V_w}{V_s} \cdot a\right)^2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{b^2}{r} \cdot \left(\frac{f^2}{B}\right) \quad (2)$$

여기서, D: 슷들의 지름 (mm)

a: 연속 연삭입자의 간격 (mm)

b: 가공표면에 남은 흔적 폭 (mm)

r: 슷들의 반지름 (mm)

f: 1회전당 이송거리 (mm/rev)

B: 슷들의 너비 (mm)

식 (2)의 R_{\max} 는 이론적 결과이므로 실제값과의 차이는 있으나 가공조건이 가공만의 거칠기에 미치는 영향을 정성적으로 추측할 수 있다. 또한 평면 연삭에 있어서 단위 입자가 배출하는 Chip의 기하학적 형상에 의한 최대 연삭깊이량 $g^{(19)}$ 값과 접촉호의 길이 l_p 는

$$g = 2a \cdot \frac{V_w}{V_s} \cdot \sqrt{t/D} \quad (3)$$

$$l_p = \sqrt{t} \cdot \sqrt{D} \cdot (1 + V_w/V_s) \quad (4)$$

로 구할 수 있다. 위 식들로 부터 가공조건들이 가공면의 표면거칠기에 미치는 영향을 정성적으로 추정해 볼 수 있다. 즉 R_{\max} 는 g 와 l_p 의 값들에 의해, 그리고 g 와 l_p 의 값은 가공변수 V_w/V_s 와 \sqrt{t} 의 값에 따라 좌우되는 함수임을 알 수 있다. 따라서 연삭가공에 있어서 표면품위를 해치지 않고 제거능률을 높이기 위해서는 동일 g 값에 대한 V_w , V_s , t 값들을 결정하면 된다.

일반적으로 속도비 V_w/V_s 와 연삭깊이 t값이 클수록 가공능률은 향상되나 g값이 증대되어 가공면은 거칠어지고 슷들 작업면상의 각 연삭 입자가 받는 부하가 커져 슷들의 마멸량이 증가하기 때문에 가공 정밀도를 일정하게 유지시키면서 제거능률을 올리기 위해서는 우선 식 (3)에서 V_w/V_s 의 값에 변동없이 V_w 를 고속화 시키면 (이때 V_s 도 같은 비율로 증가) 식 (1)에서의 Z값이 향상되고 나아가 상대속도 V_s+V_w 가 증가되어 탄소성 변형에 기인되는 S_r 의 값이 감소되는 결를 가져와 제거능률은 한층 더 좋아지고 가공표면도 개선될 수 있지만 범용연삭기에서는 그 실현이 어려우므로 $(V_s+V_w) \cdot \sqrt{t}$ 의 값을 일정하게 하되 실제 활용되고 있는 연삭기의 작업가공 조건에서 V_w 에 따른 이론적 설정 연삭깊이를 구하여 제거능률의 최적화를 기하여야 할 것이다. Fig. 1은 이러한 경우를 예시한 것으로 $V_w/V_s = \text{const}$.에서 앞으로 범용연삭기의 구조개선에 의해 속도의 가변화, 고속화가 이루어질 때 V_w/V_s 의 값을 화살표 방향으로 이동시키면 V_w 의 증가와 S_r 의 감소로 Z값을 향상시킬 수 있을 것이다.

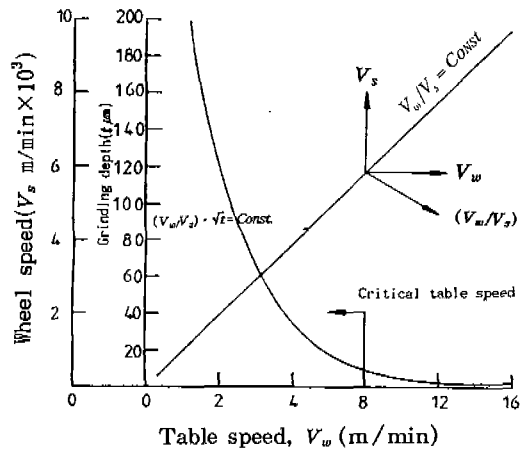


Fig. 1 The theoretical value of depth according to initial condition under constant grinding roughness

한편 $V_w/V_s = \text{const}$.에서는 다이아몬드 연삭스틀로써 초경합금을 습식으로 가공할 경우, 연삭주속도 1,500~1,750m/min의 범위에서 연삭비가 가장 높다는 것이 이미 입증⁽²⁰⁾된 바 있으므로 본 연구에서는 실가공조건 $V_s = 1,750\text{m}/\text{min}$ 를 일정하게 하고 $V_w =$

2~16m/min로 변속케 할 때 초기 연삭조건에 따라 가공정밀도가 각각 다르므로 이에 따른 이론적 설정 연삭깊이 t_{th} 의 변화를 정리한 것이 Table 1 이며 그중 하나의 예로 초기 조건의 경우를 나타낸 것이 Fig. 1의 실곡선이다. 그 어느 것이나 t_{th} 의 값이 공작물의 속도 $V_w = 8m/min \sim 16m/min$ 사이에서는 순탄하게, 8m/min이하에서는 급속한 변화를 하고 있으므로 가공정밀도를 해치지 않고 제거능을 향상을 위한 효과적인 공작물의 이론적 속도는 $V_w \leq 8m/min$ 라고 볼 수 있다.

Table 1. Theoretical grinding depth for surface uniformed by initial condition

$V_w (m/min)$		16	12	8	4	2
$V_w/V_0 \cdot \sqrt{R} (\mu m)$	$t_{th} (\mu m)$	2.0	3.539	7.961	31.648	127.402
0.0129	4.0	7.129	16.025	64.090	256.408	
0.0183	6.0	10.672	24.01	96.04	384.16	
0.0224	8.0	14.266	32.107	128.394	513.577	
0.0259	10.0	17.764	39.96	159.856	639.47	
0.0289	15.0	26.684	59.96	239.855	959.46	
0.0354	20.0	35.403	79.655	316.62	1274.48	

이 속도는 주축 주속도를 1,150m/min로 하여 연질 재료인 알루미늄을 가공하는 경우⁽²¹⁾에 비해 다소 빠르지만 본 실험에 있어서는 피삭재인 초경합금의 기계적 특성을 고려하여 위의 임계값을 기준으로 일반적인 연삭조건을 $V_w = 8m/min$ 로 하고 t 의 값을 여러가지로 변화시켜, 이들 조건에 대한 강도값 결과를 구하여 비교해 보았다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 및 사양

소결 성형재료의 특성 평가 기술에는 여러가지가 있으나 보편적으로 기계적 특성 평가를 위해서는 굽힘강도 시험편을 제작하여 3점 혹은 4점까지 굽힘강도값을 구하고 있다. 이러한 굽힘강도 시험편은 원재를 다이아몬드 절단 슛돌을 사용한 Low speed cutting M/C으로 한 변이 50mm인 정사각형 판재로 성형 절단한 후, 주축동력 3.75KW의 범용 평면연삭기를 사용하여 정사각형 판재의 상하면을 같은 조건으로 굽힘 강도 시험편의 칫수로 제거 및 다듬질 가공을 실행하였으며 그 규격은 KS B0803 및 KS L1591에 명시되어 있는 바와 같이 모양은 단면이 직사각형인 기둥이며 치수는

L40mm×W4.0mm×t3.0mm 이다.

실험에 사용된 피삭재와 장치의 사양은 다음과 같다.

- * 피삭재: P10, V20계 WC-Co
- * 연삭스돌: 레진 본드 다이아몬드 슛돌 (Resin bond diamond grinding wheel)
 - ▷ 1A1 type straight wheel, (D)300×(d)76×(w)15×(t)3
 - ▷ SDC 120 N 100 R_w-3.0
 - ▷ SDC 325 N 100 R_w-3.0
 - ▷ SDC 600 N 100 R_w-3.0
- * 멀티 커팅 머시인 (Multi-cutting machine): Ceramicron MX-833
- * 금속현미경 (SEM) : Nikon Co.
- * 측정 장치 (Measuring apparatus):
 - ▷ Tool dynamometer (Piezoelectric type, 9207 A model, Kistler Co.)
 - ▷ Charge amplifier (504 A, 2 channel, Kistler Co.)
 - ▷ Stereoscopic microscope (Nikon Co.)
 - ▷ Surface roughness tester (Stylus type, Mitutoyo Co.)
 - ▷ Repicorder (A2101 type, made in Japan SAE-EI, Co)

3.2 실험조건

Table. 2 Comparison of grinding conditions (Unit : μm)

Testpiece Group No.	Grain size of diamond wheel and depth of cut		
	# 120	# 325	# 600
1 - 1	10 (P10)		
1 - 2	10 (V20)		
2	10 (V20)	6	
3	10 (V20)	6	2
4	10 (V20)		2
5	10 (V20)	2	

실험에 사용한 다이아몬드 슛돌의 입도와 각 슛돌로 수행한 연삭깊이는 Table 2와 같으며 주 가공 후, 스파크 아웃은 공회 10회 실시하였다.

시편 집단 1-1과 1-2는 동일 가공 조건하에서 P10 계와 V20계 초경합금의 굽힘강도를 비교해보기 위한 것이고, 2는 #120 슛돌로 10 μ m씩 연삭깊이를 주고 상하면을 가공하여 0.2mm 남긴 후 #325으로 6 μ m 씩 연삭 깊이를 주어 소정의 치수로 가공한 것이며 3은 0.2mm남긴 후 0.15mm를 #325로 6 μ m 씩, 나머지 0.05mm를 #600으로 2 μ m 씩 가공한 것이다.

시편 집단 4와 5는 0.2mm 남긴 후 #600, #325로 마무리 가공한 것이다.

트루잉, 드레싱과 주 가공의 조건은 다음과 같으며 Fig. 2에 실험 및 측정장치의 개략도와 Fig. 3에 그 사진을 나타내었다.

- * 트루잉: 브레이크형 트루어 (Brake type truer) (C60K7V GW, 75×25×12.7mm)
- * 드레싱: WA 220H6V (21×21×200mm) 막대형 드레서 (Stick type dresser)
- ▷ Vs= 100 μ m/min, t=0.1mm/pass, total removed volume 1000mm³
- * Coolant: soluble type (×40)
- * 주 실험조건
- ▷ Peripheral wheel speed Vs=1,700m/min, Table speed Vw=8m/min
- ▷ Depth of cut t=2, 6, 10 μ m

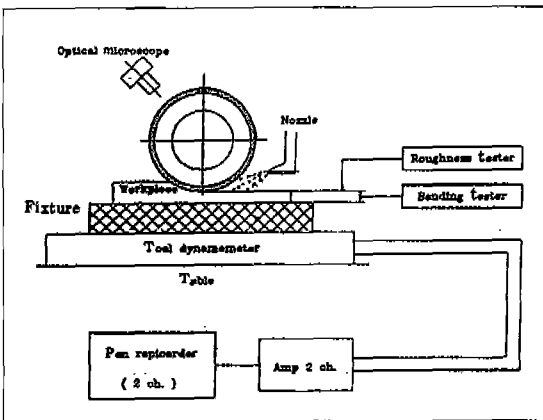


Fig. 2 Diagram of grinding experimental system

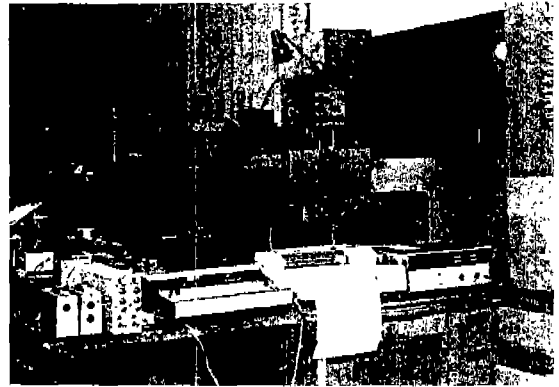


Fig. 3 Photograph of experimental on-line measurement set up

4. 실험결과 및 고찰

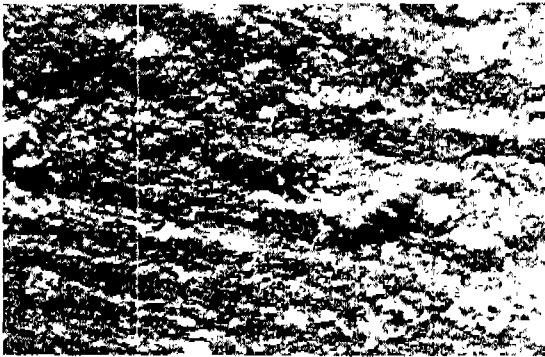
4.1 연삭스돌 입자와 가공면에 대한 고찰

다이아몬드 연삭 공구 가공면 상의 슛돌날들이 트루잉, 드레싱 과정을 통하여 과연 창성되고 변화되어 가는가에 대해 알아보고 슛돌날이 마멸된 상태가 어떤가를 살펴본 것을 Fig. 4에 나타내어 비교하였다.

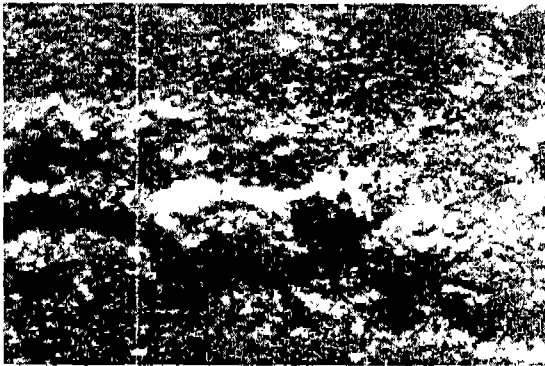
초기 가공면은 실제 연삭시, 연삭저항의 변화 분포로 볼 때, 비정상 영역으로 볼 수 있으며 트루잉과 드레싱 작업 후의 가공면은 정상적인 연삭 영역, 슛돌날이 마멸되었다고 판단될 경우에는 연삭 저항이 급속히 증가하는 과도적 영역으로 말할 수 있으며 연삭가공 시간이 경과함에 따라 슛돌날의 마멸과 탈락이 발생하므로 주기적으로 슛돌 가공면을 조정할 필요가 있는 것을 알수 있다.

Fig. 5는 마멸되었다고 판단되는 슛돌의 날과 재 드레싱 후 새로 들출된 슛돌날을 공작물 이송속도와 연삭 깊이를 변화시켜 가공할 때의 접선 연삭저항의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적으로는 마멸된 슛돌날로 가공하였을 때 더 큰 저항값을 나타내고 있으며 깊이를 증가시킴에 따라 연삭저항도 증가하였으나, 공작물의 이송속도가 빠를수록 전반적인 연삭 저항은 오히려 감소하는 경향이 나타났다.

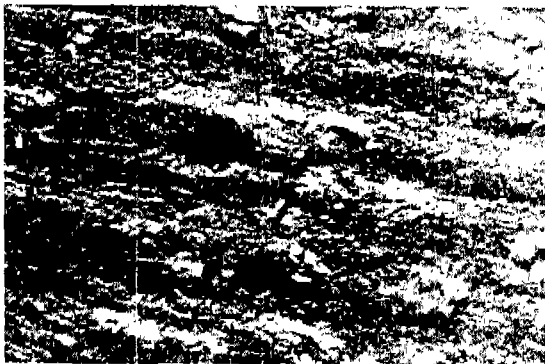
이는 공작물의 속도가 빠를수록 연삭저항이 증가한다⁽²²⁾는 일반적인 이론에 위배되는 것으로 수차에 걸친 재 실험에서도 같은 결과를 나타내는 것으로 보아 피삭재



(a) Truied shape



(b) Dressed shape



(c) Worn shape

Fig. 4 Microphotograph of diamond abrasive wheel

의 물리적 특성 때문에 공작물의 이송 속도가 빠를수록 실제 연삭깊이량을 모두 제거하지 못하는 기계계의 강성 부족에 기인한 것이거나, 공작물 속도를 증가시키면

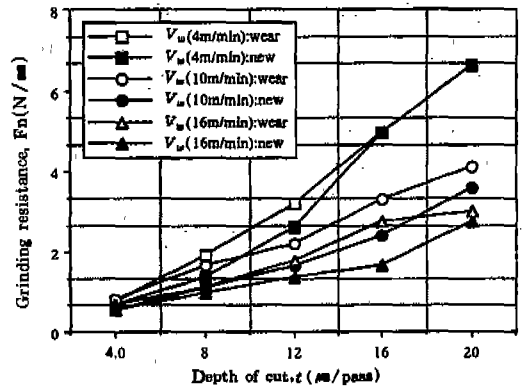


Fig. 5 Effect of wear abrasive grains and new ones on the grinding resistance for various table speed and depth of cut

연삭숫돌 입자의 연삭깊이가 크게되어 입자의 직경이 작아지게 됨으로써 칩 배출이 곤란하게 되어 일시적인 눈막힘 현상이 일어나 연삭능률을 저하시키고, 이때 연삭 잔재량도 많아지는 현상⁽²³⁾에 그 이유가 있다고 생각된다.

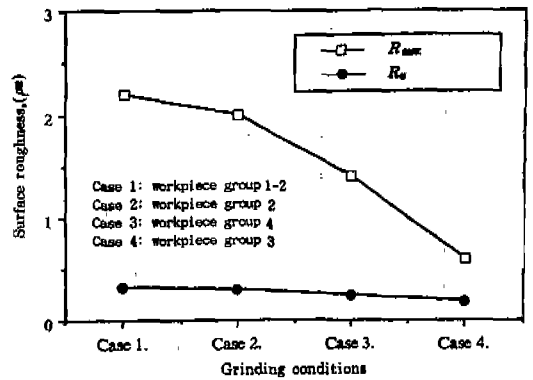


Fig. 6 Surface roughness Rmax and Ra for each workpiece group

Fig. 6은 V20계 시험편 집단의 표면거칠기 (R_{max}, R_a)를 비교하여 나타낸 것으로 집단 1-2(R_{max} 2.2μm, R_a 0.32μm)에 비해 집단 3(R_{max} 0.6μm, R_a 0.18μm)이 약 4배 정도 개선되었다.

4.2 금속재와 경취재료와의 연삭 분력비 비교

대표적인 일반 금속재인 SM45C와 알루미늄 세라믹, 초경합금재의 연삭가공 분력비를 예비실험으로 구하여 비교해 본 것을 Fig. 7에 나타내 보았다. 세라믹이나 초경합금재와 같은 경질 취성재료는 법선저항 F_n 에 해 접선저항 F_t 가 작은것이 통례⁽²³⁾인데 본 실험의 경우에서도 이들 재료가 2.5~4.5배 이상으로 큰 값을 나타내고 있는 바, F_n 의 값이 이렇게 큰것은 고경도의 피삭재에 슷날이 연삭작용을 일으키기가 상당히 어렵기 때문이라 여겨진다.

이것은 실상 세라믹스재나 초경재의 기계적 가공은 마이크로 레벨의 미소 파괴 현상에 의한 것임을 감안할 때, 취성재의 가공표면으로 부터 그만큼 깊이 파괴 결합을 잔재하도록 하는 요인이 될 수 있다고 생각할 수 있다. 또한 연삭깊이를 비교적 크게하는 고능률적 연삭가공을 추구할 때, 다이아몬드 슷날입자의 예리한 슷날 날이 시간이 경과함에 따라 그만큼 고경도 피삭재에 대한 관입이 어려워지게 됨으로써 강제 압입에 의한 결합들이 증대해 질 수 있다는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

4.3 초기 드레싱 후의 지속효과

여러가지 연삭상태에 따른 슷들의 마멸량을 알아보고 적절한 재 드레싱 시기를 간접적으로 고찰하여 초경재 연삭시 드레싱 효과의 지속시간을 알아보기 위해 다양한 연삭 방법으로 연속적인 연삭작업을 행할 때의 연삭저항의 변화 거동을 살펴 보았다.

먼저, Fig. 8~9는 트레버스 타입(Traverse type)으로 V20계를 비교적 큰 연삭깊이인 10 μ m/pass와 20 μ m/pass로 변화시키며 계속 가공물 제거량을 누적시키 나가는 습식연삭시 연삭저항 F_n , F_t 의 변화과정을 비교하여 나타낸 것이다. 연삭과정에서의 슷들의 상태는 초기마멸→정상연삭→재드레싱 요구상태로 변화한다.

그림에서 20 μ m/pass의 경우, Region I은 초기 마멸 과정으로 불안정한 연삭 영역이라 볼 수 있으며 Region II는 Region III에 도달하는 동안의 과도적인 연삭 과정, Region III은 정상 연삭 과정으로 안정된 연삭 영역이라 할 수 있다. 이 다음의 Region IV에서는 연삭 슷들 입자 여유면의 마멸이 커지기 때문에 소성 유동 및 산화에 의한 누름(Burn-out)이 현저하게 나타나는 범위로 다시 드레싱이 필요한 시기가 된다.

실험 결과 총 제거 체적량 100mm³에 달했을 때 초기

드레싱 직후의 경우보다 연삭저항이 2배 이상 증가하여 재드레싱이 필요한 것으로 사료된다. 그러나 이러한 재드레싱 시기는 어디까지나 연삭스들의 눈매움(Loading)이나 눈무덤(Glazing)에 의한 연삭저항의 변화 추

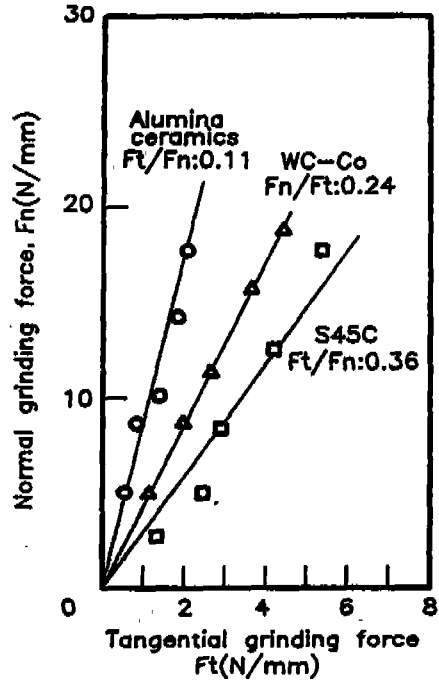


Fig. 7 Comparison of grinding resistance ratio

이로 본 간접적인 것이므로 연삭깊이 10 μ m/pass의 경우, 반드시 20 μ m/pass 보다 2배 정도의 드레싱 효과가 유지될 수 있다는 것은 아니며 더러는 10 μ m/pass 보다 20 μ m/pass를 가하는 경우가 총 제거 체적량이 증가되어

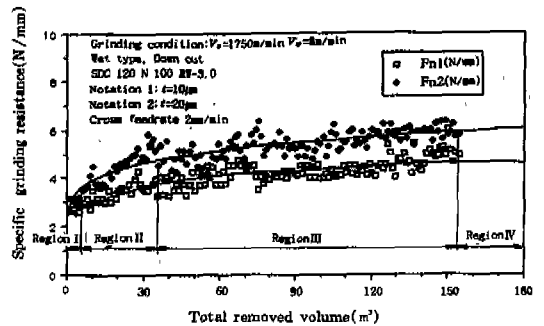


Fig. 8 Effect of total removed volume on the grinding resistance(F_n) for various depth of cut in the case of traverse type

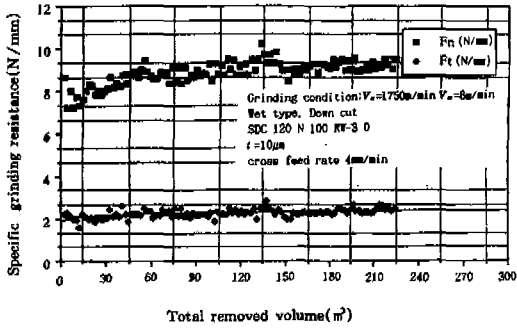


Fig. 9 Effect of total removed volume of the grinding resistance for various depth of cut in the case of traverse type

가도 그 F_n 의 상승 폭이 적음도 발견할 수 있었는데 이는 강한 연삭유의 주입으로 칩의 배출이 용이해지고 슛돌의 눈막힘 현상 및 중연삭깊이량에 따른 다이아몬드 연삭스숫돌 입자의 열화 작용이 억제되어 질 수 있기 때문인 것으로 생각된다.

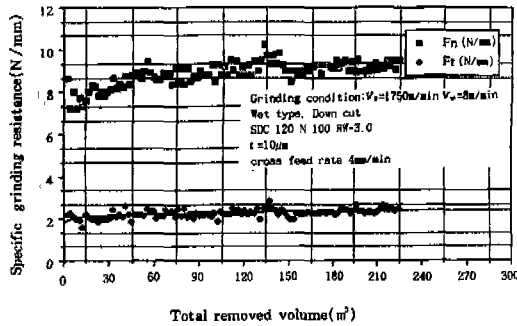


Fig.10 Effect of total removed volume on the grinding resistance for changing cross feed rate

Fig. 10은 $10\mu\text{m/pass}$ 의 연삭깊이에서 크로스피드 양을 2배(4mm/min)로 한 경우, 총제거 체적량에 따른 연삭저항의 변화를 나타낸 것으로 2mm/pass 보다 평균적으로 1.8배~2.4배 정도 증가하는 추세를 나타내는 것으로 보아 슛돌의 마멸속도가 급속히 빨라짐을 볼 수 있다.

동일한 방법으로 플런지 타입(Plunge type)의 연삭 시, 연삭깊이를 $10\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$ 으로 변화 시켰을 때의 연삭 횟수에 대한 연삭저항의 변화 F_n , F_t 를 기록하여 나타

낸 것이 Fig. 11~12로서 설정 연삭깊이 만큼 충분히 제거하기 위해 20회씩의 스파크 아웃을 균일하게 실시 한 후, 다시 연삭깊이를 주는 형태로 가공하였다.

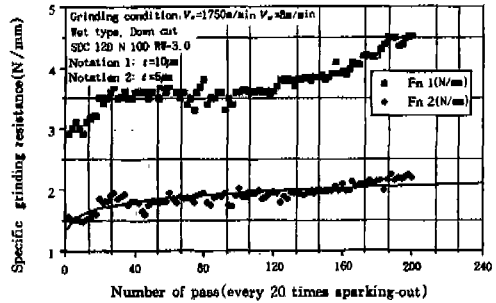


Fig.11 Effect of the number of grinding times on the grinding resistance(F_n) for various depth of cut in the case of plunge type

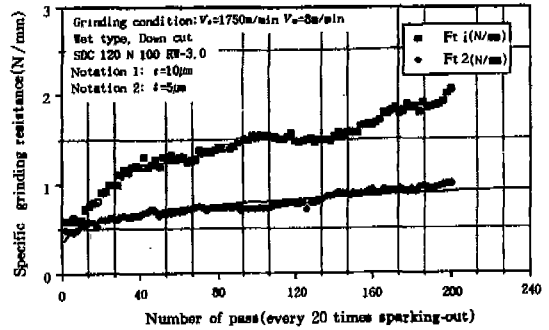


Fig.12 Effect of the number of grinding times on the grinding resistance(F_t) for various depth of cut in the case of plunge type

그 결과 연삭깊이 $10\mu\text{m}$ 의 경우 약 200회 전후의 가공후에 앞서 설명한 소성유동 및 산화가 발생하는 IV의 영역이 됨을 알 수 있었다.

4.4 가공 후 기계적 특성값 비교

만능 재료 시험기에 3점 굽힘강도 측정용 치구를 설계, 제작하여 부착한 뒤, KS규격에 준하여 측정 실험을 한 결과값들을 굽힘강도 계산식($\sigma_b = 3PL/2wt^2$)과 표준편차 계산식인

Table. 3 Example of calculated factors for Weibull plotting

○ Average value rank method $F = \frac{i}{N+1}$

○ Middle value rank method $F = \frac{i-0.3}{N+0.4}$

rank	1 - 1		1 - 2		2		3		4		5		F=i/N+1	ln ln (1/1-F)
	σ	ln σ	σ	ln σ	σ	ln σ	σ	ln σ	σ	ln σ	σ	ln σ		
1	143.2	4.964	181.7	5.202	182.9	5.209	185.3	5.222	184.0	5.215	183.3	5.211	0.0909	-2.351
2	145.2	4.978	182.9	5.208	184.1	5.215	185.9	5.225	185.6	5.224	185.1	5.221	1.1818	-1.601
3	145.6	4.981	183.2	5.211	184.6	5.218	187.3	5.233	186.9	5.231	185.6	5.224	0.2727	-1.144
4	147.4	4.993	183.8	5.214	185.7	5.224	189.9	5.246	189.2	5.242	185.9	5.225	0.3636	-0.794
5	148.2	4.999	185.1	5.221	186.5	5.228	190.1	5.248	189.4	5.244	186.8	5.230	0.4545	-0.501
6	148.5	5.000	185.7	5.224	187.4	5.233	190.5	5.250	190.0	5.247	187.5	5.234	0.5454	-0.238
7	148.6	5.001	186.8	5.231	187.9	5.236	191.0	5.252	190.4	5.249	188.7	5.240	0.6364	-0.012
8	148.9	5.003	188.5	5.239	189.3	5.243	191.5	5.255	191.4	5.254	189.4	5.244	0.7273	0.262
9	149.4	5.007	188.7	5.240	189.4	5.244	193.1	5.263	192.5	5.260	191.0	5.252	0.8182	0.533
10	150.8	5.016	190.1	5.248	190.7	5.251	193.5	5.265	193.1	5.263	191.8	5.256	0.9091	0.874

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$$

에 대입하여

Table 3, 4의 각 데이터를 얻었다.

Table에서 알 수 있듯이 우선 본 실험을 통하여 얻은 각 집단들의 평균 굽힘 강도값들은 P10계 147.58kgf/mm², V20계 185.7~189.8kgf/mm²의 범위으로써, 국내 S

제조업체의 표준재종 선정 기준과 비교하여 약 0.2~2.5kg/mm² 낮은 분포를 보이고 있는 바, 소재 제조상의 문제가 이에 영향을 미치는 것으로 사료되지만 이것은 확실히 단정지어 말할 순 없다고 생각된다.

Fig. 13~16은 앞서의 측정값으로 와이블 플로팅을 한 것인데, 무기재료 또는 분말 조직 즉 파괴 모드(Fracture mode)에서 변형기공이 일어날 수 있는 것의 파괴확률이나 다양한 가공 방법에 대한 우위성에 대해서는 평균강도와 표준 편차 및 와이블 계수 m(도표상의 직선 기울기 값)으로, 값이 클 경우 표준 편차를

Workpiece group No.	Average bending strength (Kgf/mm ²)	Standard deviation (S)
1 - 1	147.58	2.27
1 - 2	135.65	2.82
2	186.85	2.55
3	189.81	2.81
4	189.25	2.94
5	187.51	2.71

Table. 4 Comparison of average bending strength value and standard deviation value (Unit : μm)

작으므로 우수함)등을 기준으로 평가할 수 있다.

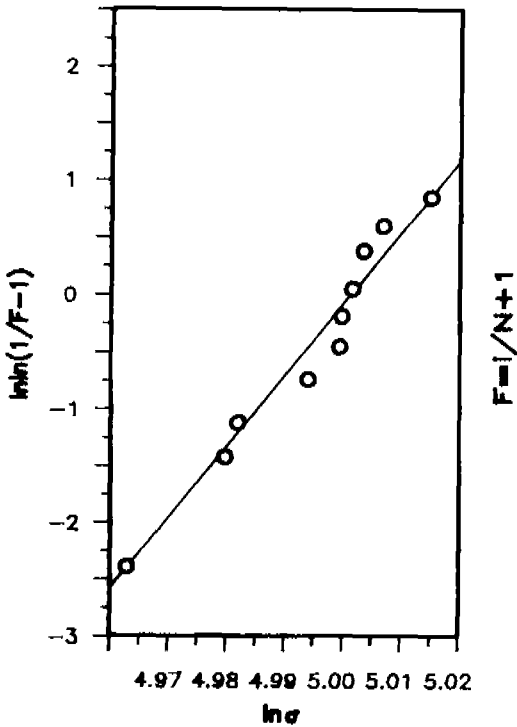


Fig.13 Weibull plotting of bending strength values (workpiece group 1-1 of table 4)

그림들 중, Fig. 13은 P10계 초경합금에 관한 것으

로 횡축의 값들을 동일한 것으로 가정 할 때 동일 가공 조건의 V20계에 비해 m값이 작음을 알 수 있다.

전공정의 연삭깊이량과 후공정의 굽힘강도와의 관계를 알아본 것을 Fig. 14~16에 나타내 보았다.

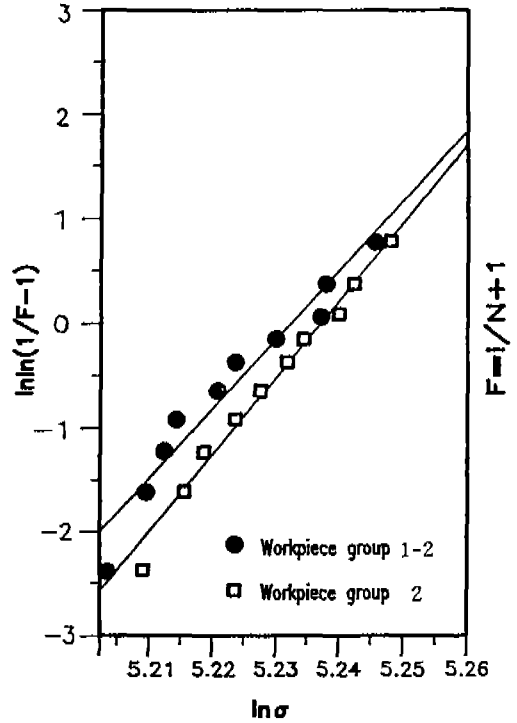


Fig.14 Weibull plotting of bending strength values (comparison of workpiece group 1-2 with workpiece group 2 of table 4)

먼저, Fig. 14는 #120 슛들을 사용하여 연삭깊이 10 μm 으로 가공한 경우(시험편 집단 1-2)와 이 가공 후 #325의 슛들로 절삭 깊이 6 μm 의 후가공 했을때 #120 슛들에 의한 가공 결함이 #325 슛들로 제거 가능한지의 여부를 본 것으로 집단 2가 집단 1-2에 비해 와이블 계수(그래프의 기울기), 평균 굽힘강도, 표준편차 모두 우수한 결과를 나타내어 잔류 가공결함의 제거를 확인할 수 있었다.

연삭깊이량과 굽힘 강도와의 관계를 알아보기 위해 동일 입도(#325)의 다이아몬드 슛들을 사용하는 경우 연삭깊이량의 차이(6 μm 과 2 μm)에 따른 강도값을 비교한

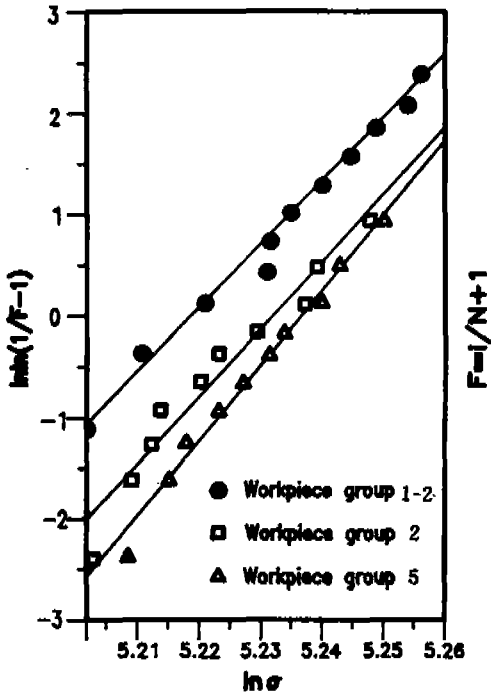


Fig.15 Weibull plotting of bending strength values (comparison various workpiece group 1-2, 2 and 5 of Table 4)

것을 Fig. 15에 나타내 보았다. 그 결과 연삭깊이가 가공 결함에 다소 영향을 미치는 것으로 판명되었으며, 이 영향은 거친 슛돌일수록 더 클것으로 생각되므로 슛돌의 입도에 따른 적정 연삭깊이의 범위가 정해져야 할 것으로 보인다. 이 그림은 가공 결함이 굽힘강도에 미치는 영향을 알아 본 것이다.

그외 슛돌 입도와 연삭깊이의 변화에 따른 굽힘 강도 값의 결과를 비교하여 Fig. 16에 나타내 보았다. 즉 시험편 집단 3, 4, 5의 결과들을 비교한 것이다. 평균 강도는 그다지 큰 차이를 보이지 않으나, 와이בל 계수면에서 볼 때 집단 3의 경우가 가장 우위성을 보이고 있다. 하지만 집단 4와 5가 별 차이가 없는 것으로 보아 #325의 사용량을 증대시키면, 즉 트래버스량을 늘리게 되면 그 결과는 비슷하리라 여겨진다.

Fig. 17은 각 조건으로 가공한 후, 균열과 연삭누름 흔적이 나타나는지의 여부를 알아보기 위해 피삭재 표

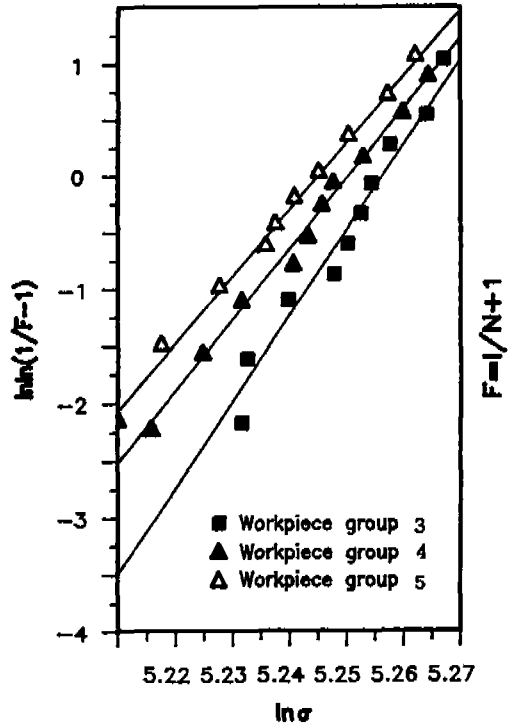


Fig.16 Weibull plotting of bending strength values (comparison various workpiece group 3,4 and 5 of Table. 4)

면을 관찰한 것으로 표면상으로는 슛돌날의 궤적들이 상호 간섭된 무늬 외에 별다른 이상을 발견할 수 없으나 연삭깊이 및 가공조건의 적부에 따라 재료 내외부의 미세균열과 표면상의 잔류응력의 크기에 차이가 날 것이다.

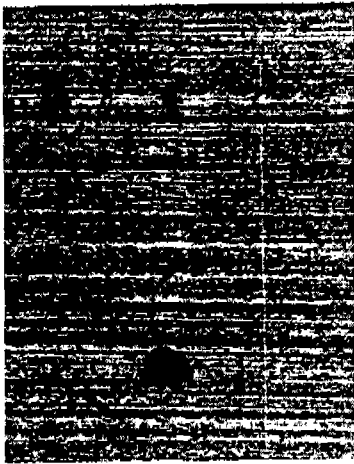
결과적으로 본 실험의 조건내에서의 여러 경우를 서로 비교해 본 결과 기울기 값 m 이 시험편 집단 3→4→5→2→1-2→1-1의 순서로 큰 값을 보여 후가공에 의함으로써 우수한 기계적 특성값의 개선이 발휘되는 고품위 가공의 실현이 가능하게 됨을 알 수 있었으나 고능률적인 면을 고려할 때 저입도의 연삭스들을 사용한 전가공의 필요성도 간과할 수 없으며 필요 이상의 가공은 오히려 가공 코스트의 면 등에서 비능률적인 가공 결과를 초래할 수도 있다고 보여 진다.



(a) Workpiece group 1



(b) Workpiece group 2



(c) Workpiece group 4



(d) Workpiece group 6

Fig. 17 Microphotograph of ground surface

5. 결 론

본 논문에서는 금형용 부품 등으로 널리 사용되는 V20계 초경합금재의 고품위 가공을 목적으로 다이아몬

드 연삭공구를 사용하여 실제 작업 현장에서 많이 활용되고 있는 범용 평면연삭기의 작업 가능조건에서 가공정밀도를 해치지 않고 제거능률 향상을 위해 이론적인 최적 연삭속도(Theoretical optimum grinding velocity)를 구하였다.

또 다이아몬드 연삭공구의 슛돌날들의 드레싱효과의 유지시간이 어느 정도인지를 간접적으로 살펴보기 위해 초경합금의 가공면상에서 트루잉과 드레싱 효과를 조사해 보았으며, 가공 조건에 따른 굽힘 강도값의 경향들 및 연삭저항, 연삭 표면거칠기등과 연삭가공 조건이 굽힘강도에 미치는 영향을 3점식 굽힘강도 실험을 통하여 구해봄으로써 강도보증의 차원에서 고품위 가공조건을 확립하고자 하였다.

본 연구를 수행함으로써 얻을 수 있었던 몇가지 결과들을 항목별로 정리하여 나타내 보면 다음과 같다.

① 주기적인 재 드레싱의 필요성을 알 수 있었으며 그 적정시기는 연삭깊이를 10 μ m으로 하였을때 트레버스 타입의 경우 총재거 체적량 150mm³ 정도 이후였으며 플런지 타입의 경우 연삭횟수 약200회 이후였다.

② #120, #325, #600 입도 순의 다이아몬드 연삭공구를 사용한 다듬질 가공의 경우에 가장 우수한 굽힘강도 결과값, 즉 평균 굽힘 강도값 189.81 kgf/mm²를 얻을 수 있었다.

③ 전연삭공정에서 있을 수 있는 가공 결함을 후 연삭가공으로 제거할 수 있었다. 이는 단계별 가공 공정이나 조건의 변화로 가공면 품질의 향상을 극대적으로 도모할 수 있다는 것을 보여주는 것이다.

④ #600 이상 입도가 상당히 높은 다이아몬드 연삭 슛돌을 사용한 작은 연삭깊이량의 가공은 그 효과를 거의 기대할 수 없으므로 사실상 불필요하다고 보인다.

참고문헌

- 鈴木 壽, 超硬合金と焼結硬質材料, 丸善株式會社, p.33, 1989
- N.W.Thiel, "The Wet Grinding of Tungsten-Carbide/Steel", Industrial Diamond Review, January, 1973
- A. Buttner, "Result of Research on the Plunge Grinding of Tungsten-Carbide", Industrial Diamond Review, Vol. 28, No.327, February, 1968
- 玉置元久, "超硬合金の研削の機構(I)", 機械と工具, pp.16~26, 1962
- 玉置元久, "超硬合金の研削の機構(II)", 機械と工具, pp.15~25, 1962
- 玉置元久, "超硬合金の研削の機構(III)", 機械と工具, pp.59~72, 1962
- 玉置元久, "超硬合金の研削の機構(IV)", 機械と工具, pp.87~94, 1962
- 허성중외, "WC-Co의 고능률적 연삭가공 조건에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제17권, 제3호, pp.721~730, 1993
- S.J. Heo et al., "Study on Ultra-Precision Grinding Condition of WC-Co", KSPE, Vol. 10, No. 1, pp.42~51, 1993
- 松山芳治, 應用金屬學大系12粉末冶金, 誠文堂, 新光社, p.231, 1962
- 窪田治夫, 粉末冶金應用製品(1) 超硬合金と工具, 日刊新聞工業社, p.156, 1964
- Toshiro Shibasaka, "Machining Damage of Sintered Brittle Materials(1st Report)-Fracture Behavior in Cemented Carbide Cutting Tools-", JSPE, Vol.56, No.3, p.551, 1990
- 中島利勝, "フノセラミックスの研削過程に關する研究", 日本精密工學會誌, 第52卷, 第1號, pp.120~126, 1986
- 橋本英文 外, "切削工具材料の挿入み試験における破壊の發生學動", 日本精密工學會誌, 第55卷, 第1號, pp.173, 1989
- T.Shibasaka and T.Sakamoto, "Fracture Initiation in Transverse Rupture Test of Cutting Tool Materials", Proc. of 6th ICPE, p.412, 1987
- 今中治, "セラミックスのラッヒンク, ポリシンク", 日本精密工學會誌, 第32卷, 第8호 pp.31~35, 1984
- Kenjiro Okamura, Toshikatsu Nakajima et al., "Contact Stiffness Theory in Grinding(3rd Report)", JSPE, Vol.36, No.4, pp.241~249, 1970
- 佐藤建兒, "研削理論(第2報)研削仕上面の粗さ", 精密機械, 16卷, 4-5號, pp.1209 1972
- 進村武男, "研削砥石の有効切れ刀に關する解法", 機械研究24卷, 9號, pp.1209 1972
- 日本機械振興協會 技術研究所, 加工技術データファイル, Vol. 5, 1981
- N.K.Kim et al, "A Fundamental Study

on High Efficiency with General Grinding Machine", KSPE, Vol.7, No.4, pp.62~72, 1990

22. 小野浩二, 研削仕上, 眞書店, p. 17, 1962

23. 杉田忠彰, セラミックスの機械加工, 養賢堂發行, pp. 129, 1985