

汎用 研削機의 高能率 加工에 관한 基礎的 研究

김 남경*, 송 지복**

A Fundamental Study on High Efficient Grinding with General Grinding Machine

Nam-Kyung Kim*, Ji-Bok Song**

Abstract

After observing grinding characteristics according to variable grinding condition in order to raise the grinding effect without making worse the grinding quality by using general grinding machine, main conclusions of this study are as follows;

- 1) When grinding quality is constant, grinding effect is changed according to the speed of the workpiece. But the rapidly increasing critical speed of table is ($V_w \leq 4\text{m/min}$).
- 2) As grinding effect is equal, the lower the speed of the workpiece becomes, the lower the grinding force and surface roughness obtains good results.
- 3) In terms of grinding method, the down cut grinding method produces good grinding surface roughness in case of little grinding depth; otherwise, the up cut method in case of more grinding depth.

*부산대학교 대학원 정밀기계공학과 (정회원)

**부산대학교 정밀기계공학과 교수 (정회원) 65

1. 緒 言

研削加工은 他 加工法에 비해 加工精密度가 높을 뿐만 아니라 燒入硬化된 材料-難削材 등의 加工이 可能하기 때문에 製品의 마무리 作業으로 널리 活用되어 왔으나 時代의 變遷에 따라 生産力 向上을 위해 研削特有의 高品質 加工面을 維持하면서 除去率을 높이는 것이 必然的으로 要求되고 있다.

이를 위해 1960年 以後 高速研削과 Creep feed 研削의 研究가 進行되었으나 아직도 究命되어야 할 課題들이 많이 남아있는 實情이다.

一般的으로 圓筒研削에 있어서 高速比(工作物의 速度/숫돌의 周速度)를 一定하게 하였을 때, 研削速度를 增加시키면 發生되는 Chip이 微細化되어 研削抵抗, 溫度, 表面 거칠기가 減少되고 숫돌의 壽命과 研削比가 增大⁽¹⁻³⁾되나 遠心力에 의해 숫돌이 破壞될 危險性을 갖고 있다.

反面 工作物 速度의 高速化가 어려운 平面 研削機에서는 매우 느린 速度로 工作物을 移動시키면서 研削깊이를 크게 하면 Milling 加工에 匹敵할 수 있는 加工能率을 올릴 수 있으나⁽⁴⁾ 숫돌이 工作物에 接觸할 수 있는 호의 길이가 길어져 研削抵抗과 熱은 증대되고 연삭액 공급이 어려워지게 된다.

따라서 본 研究에서는 一般的으로 널리 使用되고 있는 平面 研削機를 對象으로 所定의 加工精密度를 유지하면서 除去 能率 向上을 위한 理論的 加工條件을 究明하고 나아가 實研削 作業에서 이들의 活用을 위한 設定 臨界值를 檢討하였다.

2. 加工 條件의 設定

2-1 加工 能率을 支配하는 因子

除去 加工의 궁극적인 目的은 所定의 치수와 形狀 그리고 表面性狀을 갖는 製品을 高精度(高品位), 高能率(廉價)로 만들어내는 것이다.

高速, 多刃, 미소 切削은 고정밀도의 加工面을 얻을 수 있는 絶對的인 條件이지만 加工能率의 側面에서 不利하다.

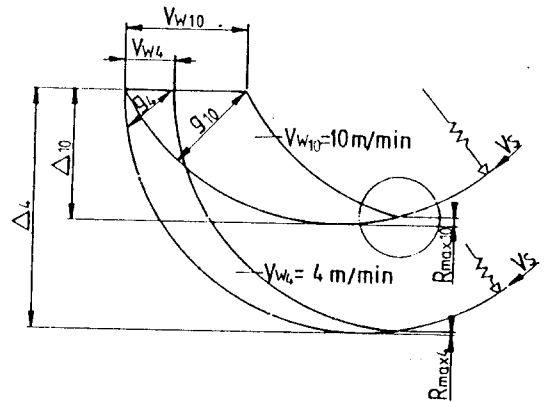
이와 같이 精密度와 能率は 相反된 兩面性을 갖고 있지만 研削加工의 最近 傾向은 加工精密度와 더불어

어 研削能率에 대한 關心이 커져 圓筒 研削을 中心으로 한 高速 研削과 平面 研削에 의한 Creep Feed 研削이 發展을 거듭하여 實用化 段階에 이르게 되었고⁽⁵⁾ 그 各各의 加工能率 Z⁽⁶⁾는

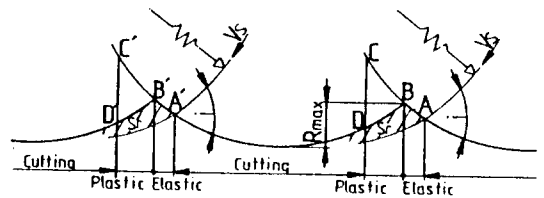
$$Z = \Delta \cdot V_w - S_r \quad (1)$$

로 表示되므로 Z값의 向上을 위해서는 工作物의 速度(V_w)와 숫돌의 切削 깊이(연삭깊이 Δ)의 增加와 함께 彈·塑性 變形에 의한 圓상 회복량(S_r)을 減少시켜야 할 것이다.

Fig-1은 한개의 研削粒子가 加工 條件(V_{w10}, Δ_{10} , V_w, Δ)에 따라 形成되는 chip의 幾何學의 모양(Fig-1(a))과 加工面의 生成 機構(Fig-1(b))를 나타낸 것이다.



a) Chip with geometric form according to grinding condition



b) Transitional cutting model

Fig. 1 Grinding mechanism formed by abrasive grain

그림에서 Δ 와 V_w 는 加工條件에 의해 直感的으로 處理 可能하나 S_s 의 값은 研削의 과도적 절삭과정(研削粒子的 절삭 깊이가 零에서 점차로 增加하여 어느 점에서 最大值(여기서는 g_{10}, g_s)로 되었다가 다시 零으로 減少되기 때문에 彈塑性 과정을 거쳐 절삭이 이루어진다.)에 의해 生成되는 量이므로 결국 절삭날과 工作物과의 상호 干涉中에 存在하는 彈塑性 領域을 줄이고 절삭과정을 增加시키면 S_s 의 값이 減少되어 加工面의 거칠기와 加工 能率이 向上된다.

이와같은 현상을 實現키 위해서는 研削 粒子的 切入角(i)을 크게 하여야 하며 이는 상대속도(V_w+V_s)와 속도비 (V_w/V_s)의 增加에 의해 可能해진다.

2-2 理論的 設定 切削깊이

式(1)에서 V_w 와 Δ 의 값의 變化에 따라 生成되는 表面 거칠기의 特性 方程式⁽⁷⁾은 다음과 같다.

$$R_{max} = 1/16 \cdot (1/d_s + 1/d_w) (V_w/V_s \cdot a)^2 + 1/8 \cdot b^2/r \cdot (f/B)^2 \dots\dots\dots (2)$$

여기 d_s 와 d_w 는 각각 스톨과 工作物의 지름이며 a 는 연속 절삭날의 간격, b 는 加工 表面에 남은 흔적, f 는 1回轉當 移送거리, B 는 스톨의 폭이다.

式(2)의 表面거칠기의 最大值(R_{max})는 理論的 結果이기 때문에 실제값과는 差異가 있으나 加工 條件이 加工面의 거칠기에 미치는 影響을 定性的을 推測할 수 있다.

한편 Fig-1의 (a)에서 研削 條件에 따라 한개의 粒子 절삭날이 排出할 수 있는 chip의 幾何學的 形狀에 의한 最大 두께 $g^{(s)}$ 의 값은

$$g = 2a \cdot V_w / V_s \cdot \sqrt{\Delta (1/d_s \pm 1/d_w)} \dots\dots\dots (3)$$

이기 때문에 式(2)와 (3)을 연관하여 생각해 보면 R_{max} 는 g 의 값에 의해, 또한 g 는 가변수 V_w/V_s 와 $\sqrt{\Delta}$ 의 값에 따라 一意的으로 決定되는 函數임을 알 수 있다.

따라서 研削加工에 있어서 表面性狀을 해치지 않고 加工 能率을 올리기 위해서는 (3)式에서 g 값의 變動이 없겠끔 V_w 와 V_s , 그리고 Δ 의 값을 決定하면 된다.

一般的으로 速度比 V_w/V_s 와 研削 깊이 Δ 의 값이 클수록 加工 能率 Z 는 向上되나 g 의 값이 增大되어 加工面은 거칠어지고 스톨의 作業面의 各 研削 粒子가 받는 負荷가 커져 스톨의 마모량이 增加하기 때문에 加工 精密度를 一定하게 維持시키면서 研削 能率을 높이기 위해서는

(1) 式(3)에서 속도비인 V_w/V_s 의 값에 變動없이 V_w 를 高速化시키면(이때 V_s 도 같은 비율로 增加) 式(1)에서 Z 의 값이 向上되고 나아가 상대속도 V_w+V_s 가 增加되어 彈塑性 變形에 起因되는 S_s 의 값이 減少되는 結果를 가져와 加工 能率은 한층 더 좋아지고 加工 表面도 改善될 수 있으나 汎用研削機에서는 그 實現이 어려우므로,

(2) $(V_w/V_s) \cdot \sqrt{\Delta}$ 의 값을 一定하게 실제 活用되고 있는 研削機의 作業可能 條件에서 V_w 에 따른 理論的 설정 切削깊이를 求하여 加工能率의 最適化를 기하여야 할 것이다.

Fig-2는 (1)과 (2)의 경우를 例示한 것으로 $V_w/V_s = const.$ 에서 앞으로 汎用研削機의 構造 改善에 의해 速度의 가변화 고속화가 이루어질 때 그림에서와 같이 V_w/V_s 의 값을 軸方向으로 이동시키면 V_w 의 증가와 S_s 의 減少로 Z 값의 향상을 실현시킬 수 있을 것이다.

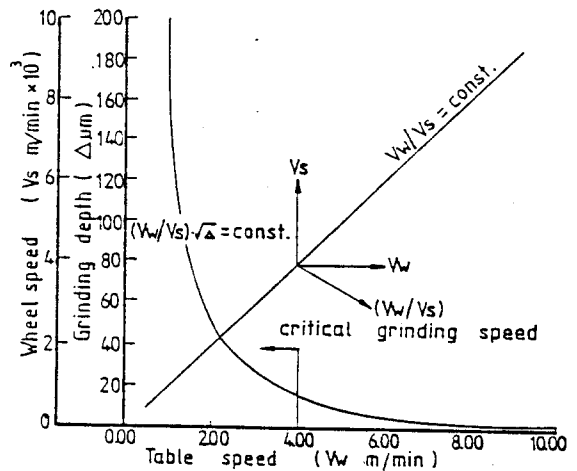


Fig. 2 The theoretical value of grinding depth according to initial condition under constant grinding roughness

한편 $(V_w/V_s) \cdot \sqrt{\Delta} = \text{const.}$ 에서 Creep Feed 研削을 제외한 汎用研削機의 경우 實加工 條件 즉, 슷들의 원주 속도($V_s=1150\text{m/min}$)를 一定하게 하고, 工作物의 속도를 ($1-10\text{m/min}$)로 變속케 할 때 초기 切入 條件에 따라 加工 精密度가 各各 相異하므로 이에 따른 理論的 設定切削깊이 Δ_{th} 의 變化를 求하여 整理한 것이 Table 1이며 그 중 하나의 例, 초기조건 $V_s=10\text{m/min}$, $\Delta=2\mu\text{m}$ 인 경우를 圖示化한 것이 그림속의 실 곡선이다.

Table 1 The theoretical grinding depth for surface unformed by initial condition

$V_s(\text{m/min})$ Initial condition	2	4	6	8	10	$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta}$ (μm)
$V_s=1150\text{m/min}$	50	12.5	5.55	3.13	2.0	0.0123
$V_w=10\text{m/min}$	100	25.0	11.1	6.25	4.0	0.0170
$\Delta=2\mu\text{m}$	150	37.5	16.7	9.4	6.0	0.0210
4						
6	200	50.0	22.2	12.5	8.0	0.0256
8						
10	250	62.5	27.7	15.6	10.0	0.0275

그 어느 것이나 Δ_{th} 의 값이 工作物의 速度 V_w 가 $10\text{m/min}-4\text{m/min}$ 사이에서는 完滿하게, 그리고 4m/min 以下에서는 급속한 變化를 하고 있으므로 加工精密度를 해치지 않고 加工能率 向上을 위한 效果의인 工作物의 理論的 速度는 $V_w \leq 4\text{m/min}$ 이며 이때 研削깊이의 臨界値는 各各 12.5, 25.0, 37.5, 50.0, 62.5 μm 이다.

3. 實驗 方法 및 條件

Fig-3은 연삭 실험장치의 개략도를 표시한 것이다. 사용된 공작기계는 MITSUI TYPE407 평면연삭기로 유체를 공급하면서 주어진 연삭 조건에 따라 실험을 행하였으며 이때 工具 동력계(AST Type TSM-ZM M)를 利用 測定된 抵抗値를 Repicorder에, 가공면의 거칠기는 촉침식 Roughness tester(Talyround 200, Taylor-Hobson)에 의해 그 變化상태를 읽을 수 있게 하였다. 한편 所定의 研削이 끝난 後 슷들의 作業面에 發生된 loading현상을 상호비교 그 성장을 觀察 수록하였으며 實驗에 앞서 실험용 슷들은 前回の 研削자국이 없어질 때까지 Dressing을 行하였다.

Table 2와 3은 본 실험에 쓰인 피삭재의 화학적 성분과 가공 조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Chemical composition of material (wt, %)

Element Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Al7075	0.40	0.50	1.20	0.30	2.10	0.18	5.10	0.20

Table 3 Grinding condition

Grinding method	Up and down cut in surface grinding
Grinding wheel	C46KmV (305×30×127) (mm)
Wheel speed	1150m/min
Grinding depth	2-200 μm
Workpiece material	Aluminium 7075 (8×40×80) (mm)
Table speed	1-10m/min
Grinding fluid	1) Emulsion type (Permalso 60)
Dressing condition	
1) Dresser	Single point diamond
2) Dressing speed	1200 rpm.
3) Dressing in feed	50 $\mu\text{m}/\text{rev}$

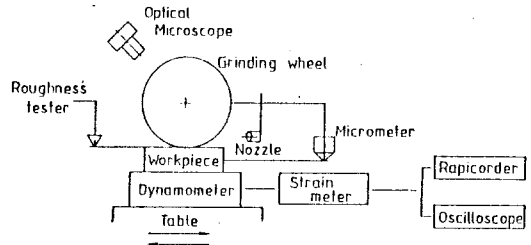


Fig. 3 Block diagram of experimental equipments

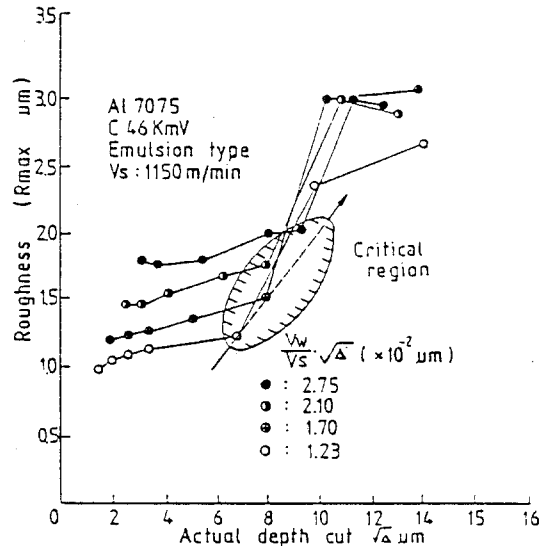


Fig. 4 Critical cutting depth

4. 實驗 結果 및 考察

4-1 臨界 切削깊이와 加工 精密度

Fig-4는 初期 研削 條件 $V_s=1150\text{m/min}$, $V_w=10\text{m/min}$, $\Delta=2, 4, 6, 10\mu\text{m}$ 에서 그 各各의 表面 精度를 基準으로 Table 1에 設定된 工作物의 速度 V_w 와 研削 깊이 Δ 에 따라 加工할 수 있는 限界 깊이(=臨界 切削깊이)와 加工精密度를 實驗을 通하여 求한 欲들을 나타낸 것이다.

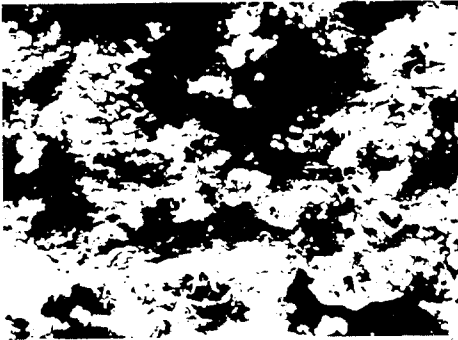
그 모두가 처음 얼마까지는 表面 精密度의 基準值 즉, $V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 1.23 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 에서는 $V_w=2\text{m/min}$ $\Delta=50\mu\text{m}$

$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 1.70 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 에서는 $V_w=3\text{m/min}$ $\Delta=60\mu\text{m}$

$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 2.10 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 에서는 $V_w=3\text{m/min}$ $\Delta=65\mu\text{m}$

$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 2.75 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 에서는 $V_w=4\text{m/min}$ $\Delta=62.5\mu\text{m}$

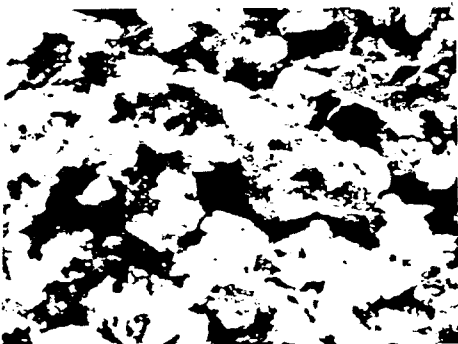
까지는 그림에서와 같이 一定한 表面 거칠기를 維持하다 갑작스럽게 變化하는 臨界 領域을 갖고 있으며 그 以上の 研削 깊이에서는 Photo-1에서와 같이 숫돌의 作業面上에 심한 loading 現象이 생겨 表面 거칠기는 급격히 低下되었다.



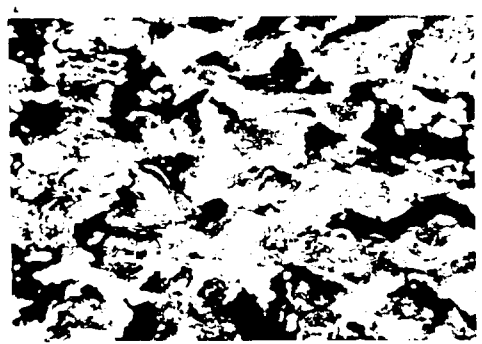
$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 1.23 \times 10^{-2} \mu\text{m}$
 $V_w=1.5\text{m/min}$
 $\Delta = 90\mu\text{m}$



$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 1.70 \times 10^{-2} \mu\text{m}$
 $V_w=2.0\text{m/min}$
 $\Delta = 100\mu\text{m}$



$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 2.10 \times 10^{-2} \mu\text{m}$
 $V_w=2.5\text{m/min}$
 $\Delta = 100\mu\text{m}$



$V_w/V_s \cdot \sqrt{\Delta} = 2.75 \times 10^{-2} \mu\text{m}$
 $V_w=3.0\text{m/min}$
 $\Delta = 110\mu\text{m}$

Workmaterial : Al 7075
 Grinding fluid : Emulsion type

Grinding wheel : C46KmV

Photo-1. Loading of grinding wheel

이는 理論的 加工條件을 수행할 수 있는 限界를 提示한 것으로 全過程을 살펴보면 加工 能率에 向上되는 臨界領域 內에서 實用化 할 수 있는 速度(4m/min)에서 理論的 設定 切削깊이를 취하는 것이 危險을 防止하면서 效果的인 加工 方法이라 하겠으나 精密度가 높을수록 低速(4m/min 以下) 高切入이 可能하며 加工能率을 向上시킬 수 있음을 보여주고 있다.

4-2 加工 方式에 따른 研削 特性

加工用 工具가 받는 저항의 성질은 加工 機構의 特徵에 의해 決定지어진다. Fig. 5와 6은 Al 7075를 公작물속도 V_w 10m/min과 1m/min의 조건에서 研削을 行하였을 때 研削깊이에 따라 抵抗과 加工面의 정밀도 變化를 表示한 것이다.

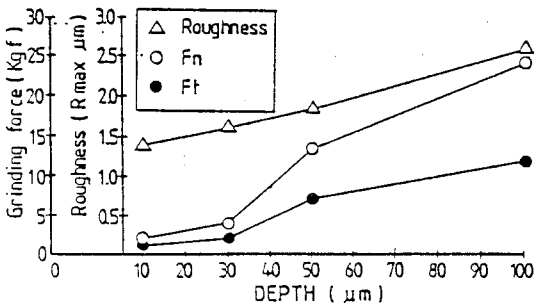


Fig. 5 Relationship between grinding force and surface roughness at 10 m/min (Al 7075)

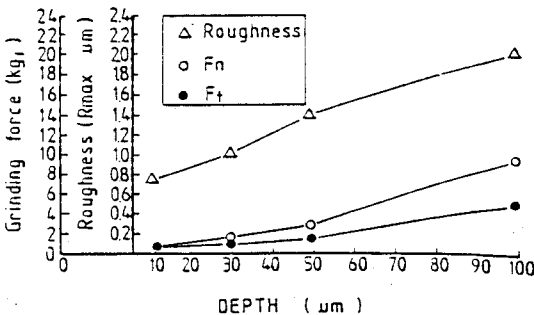


Fig. 6 Relationship between grinding force and surface roughness at 1 m/min (Al 7075)

그 어는 것도 研削깊이가 增加함에 따라 加工面의 거칠기와 抵抗은 거의 直線的으로 增加하고 있으며 全般的인 면에서 加工精密度는 工作物의 速度가 10 m/min에 비해 1m/min인 경우가 1.5~2倍 程度의 改善 效果를 나타내고 있다.

이는 같은 條件下에서 式(3)에 의한 Δ 와 V_w/V_s 와 의 相關關係로부터 Chip이 微細化된 結果이며 또한 研削 加工面의 生成 機構에 있어서 같은 研削 깊이에서 V_w 가 減少함에 따라 한 개의 研削粒子가 排出할 수 있는 Chip의 最大 두께와 工作物과 接觸할 수 있는 干涉曲線의 길이 가 縮小되어 加工面을 形成하는 部位가 짧아져 生成되는 表面의 거칠기가 向上됨을 알 수 있다.

反面 個個의 研削 粒子에 대한 抵抗은 Chip의 두께에 比例하여 增大하나(Fig-7), 多刃加工인 研削은 이들 값의 총화가 抵抗值로 나타나기 때문에 加工條件에 따른 抵抗比는 Fig-5와 Fig-6에서 除去率이 $10^2 \text{ mm}^3/\text{min}$ 일 때 $(F_{11}/F_{110})=4.8$, $2 \times 10^2 \text{ mm}^3/\text{min}$ 일 때 $(F_{11}/F_{110})=3.7$ 이 되므로, 除去能率이 增加하고 工作物의 速度가 낮아지면 숫돌에 作用하는 저항치가 相對的으로 적어져 숫돌의 마모량이 抑制되고 비연삭 Energy가 減少하게 된다. 따라서 加工面의 精密度와 Chip의 除去能率을 높이기 위해서는 研削깊이에 따라 工作物의 速度를 制御하는 편이 效果的임을 알 수 있다.

한편 Fig-7의 研削 加工方式에 있어서 Chip의 生成은 加工物에 대한 절입각이 큰 Down cut쪽이 工作物과 숫돌의 상대적 速度差로 인한 研削 抵抗의 低下와 과도적 절삭 領域의 減少로 인한 절삭날의 마멸 마모가 적어 유리한 것으로 여겨진다. 그러나 실제 研削과정에서 Fig-8에 의한 加工面의 性狀은 研削깊이 50μm인 경우 Up cut보다 Down cut인 쪽이 좋은 結果를 가져왔으나 100μm인 경우에는 이와는 相反된 結果를 보여 주고 있다.

이는 Fig-7에서 알 수 있듯이 Down cut시 연삭 개시점 近方에서 最大의 두께를 갖는 Chip이 生成되기 때문에 Loading이 發生, 실제 가공면을 이루는 部位에서는 研削 粒子에 의한 研削 作用이 일어날 수 없어 加工面은 몹시 거칠어지고 抵抗은 심한 變動을 가져오나 이와는 反對로 Up cut인 경우에는 研削

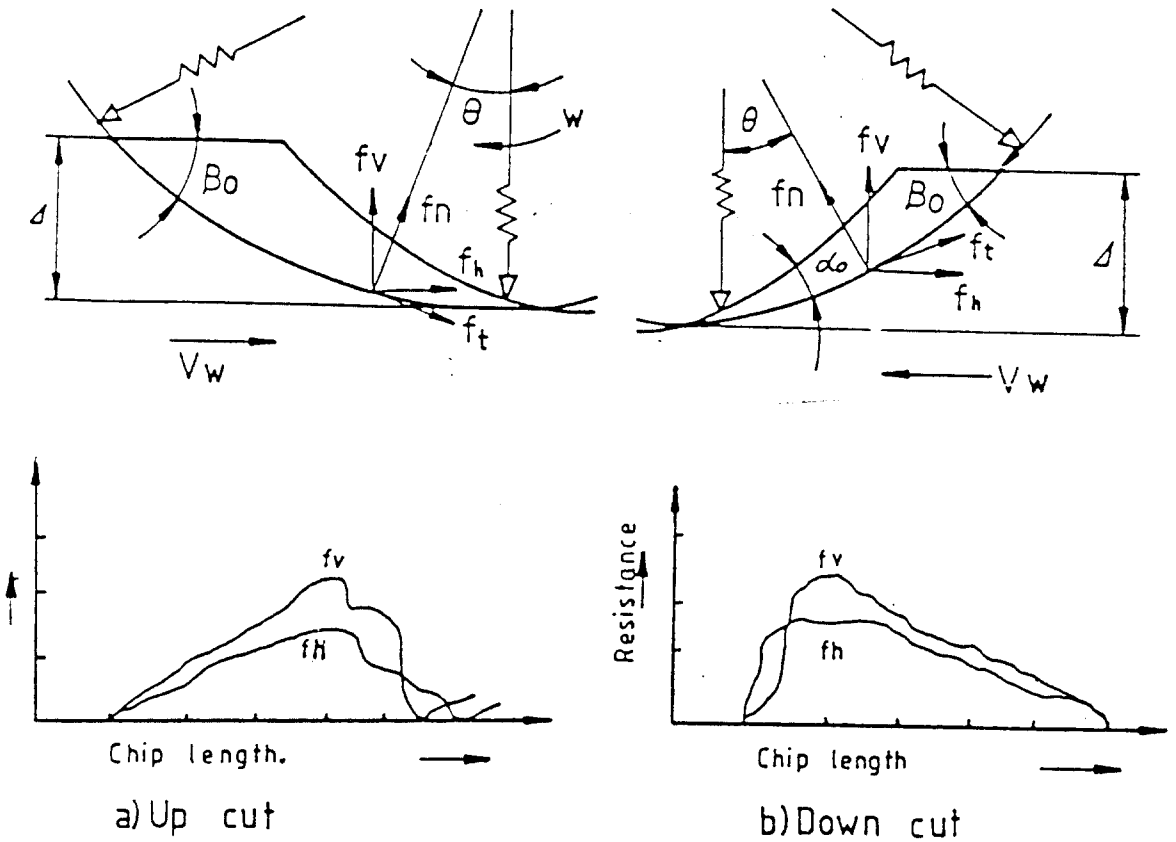


Fig. 7 Single grain force in up cut and down cut

시점에서부터 Chip의 두께가 점진적으로 커지기 때문에 언제나 새로운 연삭 粒子에 의해 良好한 加工面을 얻을 수 있기 때문이다. 이와같은 結果에 의해 研削깊이가 얇고 loading이 생기지 않는 범위에서는 Down cut쪽이, 깊고 loading이 發生하기 쉬운 範圍에서는 Up cut가 合理的인 研削 方式이라 하겠다.

5. 結 論

汎用 研削機를 利用 加工精密度를 해치지 않고 加工能率을 올리기 위해 研削 條件에 따라 變化되는

研削 特性을 考察한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 加工 精密度를 一定하게 하였을 때 加工能率은 工作物의 速度에 따라 變化하나 急上昇하는 理論的 임계속도는 $V_c \leq 4m/min$ 이었으며 이는 實驗 結果와 一致하였다.
2. 加工能率을 一定하게 하였을 때 工作物의 速度가 적을수록 研削抵抗은 減少하였으며 加工面은 良好하였다.
3. 加工能率 向上을 위한 研削 方式은 一般的인 관념과는 달리 임계 切削 깊이에서는 Down cut보다 Up cut가 加工面 거칠기에 좋은 結果를 가져왔다.

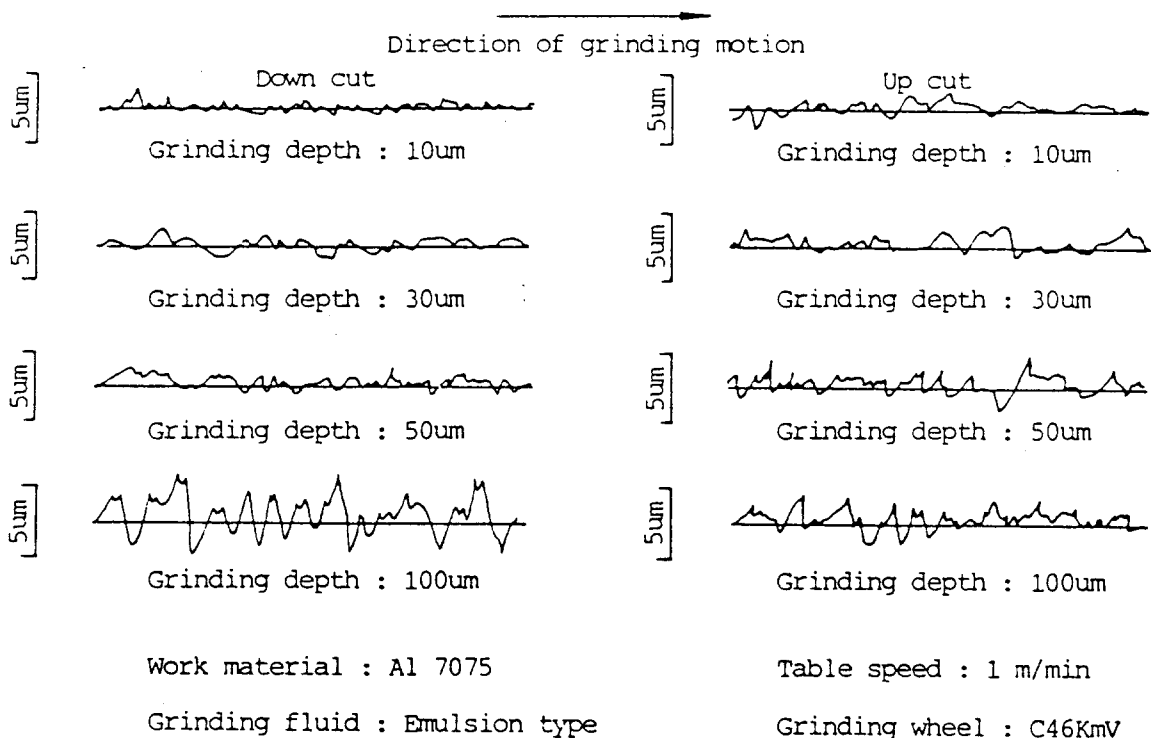


Fig. 8 Surface roughness according to the grinding depth

参考文献

- | | |
|---|---|
| <p>1) H. Opitz, W. Ernst and K. F. Meyer : Grinding at High Cutting Speeds, Proc. 6th MTDR Conf., (1965) 581.</p> <p>2) W. Ernst : Erhohte Schnittgeschwindigkeit beim Außenrund-Einsteichschleifen und ihr Einfluss auf das Schleifergebnis, Ind. Anz., 88, 24/25(1966) 491.</p> <p>3) K. Guhring : Leistungssteigerung der Schleifverfahren durch hohe Schnittgeschwindigkeiten, Ind. Anz., 89, 32(1967) 657.</p> | <p>4) Anon : Elb Machines for Single-Pass Grinding of Profile Shapes on Flat Parts Mach. Prod. Eng., 29 October(1969) 688.</p> <p>5) 松井正己 : クリープフィード 研削に関する考察, 精密機械. 47, 4(1981) 483.</p> <p>6) 岡村健二郎, 中島利勝, 渡邊潔 : 過渡的 切削現象の解析を基にした 研削理論(第3報), 精密機械 36, 4(1970) 241</p> <p>7) 佐藤健児 : 研削理論(第2報)-研削仕上面の粗さ 精密機械 16, 4-5, (1950) 117</p> <p>8) 進村武男 : 研削砥石の 有効切れ刃に関する解法, 機械の研究 24, 9, (1972) 1209</p> |
|---|---|