

研削加工에 있어서 過渡的 切削現象

송 지 복
(釜山大學校 工大)

1. 緒 言

研削加工은 스톨을 構成하는 하나 하나의 粒子가 工作物을 切削하는 過程이므로 研削現象을 理解하기 爲해서는 먼저 개개 切刃의 절삭현상을 알지 않으면 안된다. 研削粒子의 切削現象을 解明함에 있어서 基礎가 되는 것은 粒子와 工作物과의 干涉形狀이다. 從來의 研削理論은 이와같은 幾何學的 干涉形狀이 모두 chip이 되어 除去된다고는 생각할 수도 없다. (研削粒子와 工作物과의 干涉과정에서는 切削現象만이 存在한다.)는 假定하에 研削機構를 解析하려 하였으나 最近에 이르러 相互干涉 條件을 境界條件으로 하여 많은 사람들에¹⁻⁴⁾에 의해 研削粒子의 切削現象을 研究한 結果 研削입자의 切削과정은 과도적 절삭임이 밝혀졌다. 이와같은 研削현상은 새로운 研削理論에 基礎가 될 뿐만 아니라 Chip과 表面生成機構의 觀點에서도 極히 重要한 것이 된다.

2. 過渡的 切削過程

그림 1의 a)는 2次元 切削 Model이며 b)는 研削加工에 있어서 切刃과 工作物과의 干涉形狀을 Model化 한 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 研削加工에 있어서 切刃과 工作物과의 相互干涉은 "彈性的으로 支持된 커다란 陰의 경사각과 Flank面을 갖는 研削粒子가 工作物 表面에 매우 작은 角度로 고속 切入할 때 干涉 깊이가 切削方向으로 어떤 점에서 最大值가 되게 연속적으로 變化하고 있다."

이와 같은 研削상황으로 判斷하면 切刃이 工作

物과의 接觸瞬間부터 Chip이 生成된다는 期待는 할 수 없으며 따라서 幾何學的 干涉形狀이 모두 chip이 되어 除去된다고는 생각할 수도 없다.

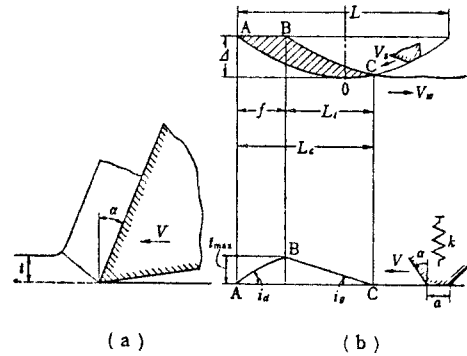


그림 1. 2次元切削Model과 過渡的 切削 Model

이러한 觀點에서 研削粒子의 切削現象에 관한 研究가 위에서 서술한 相互干涉 條件을 境界條件으로 하여 理論과 實驗의 兩面에서 進行되고 있으며 그 結果 研削가공에 있어서 切刃과 工作物과의 接觸始點 近傍에서 工作物이 彈性的 變形을 하는 領域과 塑性變形에 의한 溝를 生成하는 領域 (Chip이 存在하지 않는 過渡的 領域)이 있음을 알게 되었다. 이와같이 研削加工에 있어서 從來와는 다른 切削과정을 생각하게 되고 과도적 領域의 存在를 支配하는 要因도 밝혀지고 있다.

그림 2는 切入角과 切削速度의 變化에 따른 彈性(x_e) 및 塑性(x_p)영역의 變化를 表示한 것으로 i_g 의 값이 작을수록 過渡的 領域이 넓어지고 있음을 알 수 있다. 또한 이에 따른 切削

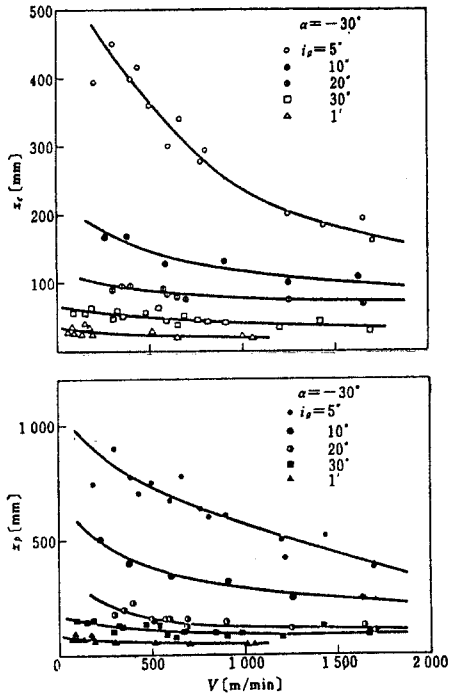


그림 2.切入角의 변화에 따른 彈性 및 塑性 Sliding의 거리

力的變化는 그림 3과 같다. 반면 그림 4에 의하면 彈性 및 塑性限界點에 있어서 切刃의 간섭깊이 (y_e, y_p)는 切入角 i_g 와는 無關하며 切削速度 V 가 增加함에 따라 감소하고 있다.

이것은 切削速度가 一定하면 切入角 i_g 가 어떠한 값이 되어도 干涉깊이가 어떤 값이 될 때까지

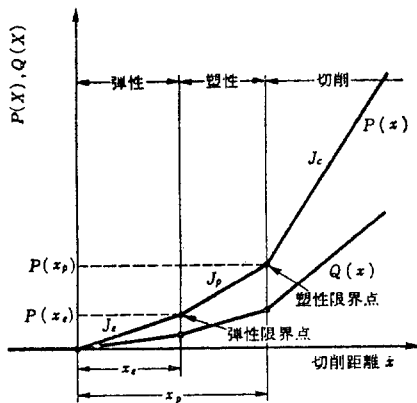


그림 3. 절삭거리와 切削力의 변화

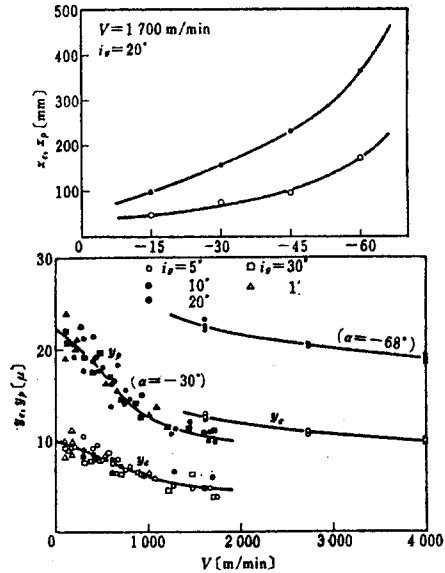


그림 4. 彈性 영역에 있어서 限界切入깊이

지 塑性變形 또는 切削은 일어나지 않으나 切削速度의 增加는 限界干涉깊이 自體가 감소함을 뜻한다.

따라서 彈性 및 塑性領域을 감소하기 위해서는 切削速度를 增加하는 것과 切入角을 增加(研削加工에 있어서 工作物 속도와 숫돌속도의 比를 增加) 하는 것이 必要로 하지만 그것이 過渡의 領域의 감소에 미치는 效果는 다르다. 이들 以外 과도적 영역에 影響을 주는 因子로 Flank 面の 넓이, Rake 角, 切刃의 支持剛性, 被削材의 特性值 등이 있다.

以上の 것은 研削加工에 있어서 切刃과 工作物과의 相互干涉條件中 "彈性的으로 支持된 커다란 陰의 경사각과 Flank 面の 넓이를 가진 粒子가 工作物 表面에 대해 매우 작은 角으로 高速切入" 하는 部分에 着眼하여 研削粒子의 切削現象을 考察한 것이지만 다음에 "切刃의 干涉깊이가 霧에서 점차적으로 增加하여 어떤點에서 最大值를 가진 후 다시 霧 되므로 切削方向에 대해 연속적으로 變化" 하는 幾何學的 干涉條件에 따른 粒子의 切削現象을 檢討해 보면 이미 설명한 바와 같이 切刃干涉깊이가 어떤 값 y_e 가 될 때까지 彈性領域에서 塑性領域에의 遷移는 일어나지 않는다. 또한 어떤 값 y_p 가 될 때까지 切削現

象은 일어나지 않으며 Chip이 생성되지 않는다. 이것으로 判斷하면 幾何學的 干涉形狀의 最大值 (chip의 最大 두께) t_{max} 가 ye 보다 작으면 切刃은 工作物과 彈性的으로 接觸하나 $t_{max} > ye$ 일때 彈性 및 塑性領域을 거쳐 切削領域의 3個

接觸形態가 存在한다.

그림 5는 지금 문제로 하고 있는 幾何學的 干涉條件을 만족하는 3個의 接觸形態를 切削實驗에 의해 解析한 結果를 表示한 것이다.

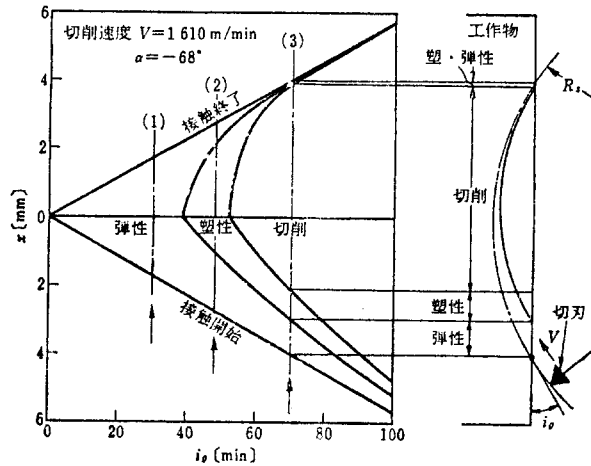


그림 5. 過渡的 切削에 있어서 接觸形態

그림에 따라서 彈性과 塑性 그리고 切削의 3領域의 境界線은 切入角(最大 간섭 깊이)以外에 被削材의 特性 相對切削速度 接觸剛性 切刃과 被削材와의 마찰 特性等에 依해 變化한다.

이 그림에서 알 수 있듯이 연삭과정에 있어서 切刃과 工作物과의 接觸形態는 最大干涉 깊이에 따라 다음의 3종류로 分類된다.

(1)은 接觸 全域이 彈性領域이고, (2)는 彈性領域에서 塑性領域으로 그리고 다시 彈性領域으로, (3)은 彈性 및 塑性 그리고 切削領域을 거쳐, 塑性 彈性領域으로 환원하는 과정이다. 이와같이 研削 粒子的 切削과정은 切削現象에 앞서 반드시 과도적 領域이 研削現象을 本質的으로 支配하여 研削 能率 精度 表面의 거칠기 加工面의 特性等에 影響을 미치고 있다. 왜냐하면 연삭과공면의 創成에 關係하는 것은 切刃과 工作物과의 接觸始點 近傍으로 接觸 後半에 良好한 切削이 行해져도 이 部分은 後續切刃에 의해 除去되기 때문이다.

3. 加工面의 生成曲線

이미 설명한 바와 같이 研削에 있어서 切削과

정은 과도적 과정이므로 幾何學的 干涉形狀이 모두 Chip이 되어 除去되지 않으며 따라서 切刃과 工作物과의 實際의 간섭곡선도 加工面을 形成하는 曲線도 一般으로 幾何學的으로 계산되는 干涉곡선과는 다르다. 切刃과 工作物과의 實干涉 곡선과 加工面 創成曲線은 幾何學的 干涉條件과 과도적 切削과정의 解析에서 얻어진 情報⁵⁾를 基礎로 하여 決定할 수 있으며 이들 曲線에서 接觸剛性에 起因하는 Residual stock의 解析이 可能해진다.^{6), 7), 8)} 여기 이와같은 加工面의 創成곡선에 대해서 考察해 본다.

지금 연삭粒자가 剛體的으로 支持되어 있다는 假定下에 숫돌 表面上的 1個의 切刃이 工作物上에 그리는 曲線(幾何學的 干涉曲線)은 研削加工에 있어서 Chip形狀을 幾何學的으로 解析하는 경우 基本曲線이 되나 實際에는 研削粒자는 彈性的으로 支持되어 있기 때문에 變位를 하여 實干涉曲線은 幾何學的 干涉曲線과는 一致하지 않는다. 또한 工作物은 切刃의 통과 後 彈性 回復을 하기 때문에 加工面을 形成하는 曲線은 위 어느 것과도 相異한 現象을 갖는다.

그림 6은 이들 3曲線의 關係를 表示한 것이다.

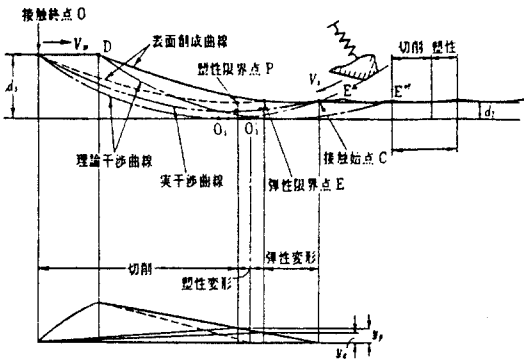


그림 6. 加工面の生成曲線

그림에 있어서 곡선 $OO, O'C$ 는 幾何學的의 곡線이고 곡선 $OP'E'C$ 는 實干涉曲線, 곡선 OPE 는 加工面の 創成曲線이다.

여기 點 C, E 및 P 는 切刃과 工作物과의 接觸點, 彈性限界, 그리고 塑性限界點을 各各 表示한다. 지금 切刃은 點 C 에서 工作物과 接觸을 始作하여 幾何學的의 干涉曲線에 따라 干涉하려고 하지만 切削抵抗 때문에 切刃은 變位하여 실제로는 $CE'P'O$ 에 따라 干涉이 일어난다. 이 경우 點 E 까지는 工作物의 變位는 彈性成分만으로 切刃이 通過한 後에는 彈性回復을 하고 切削흔은 생기지 않는다.

點 E 에서 點 P 까지에 있어서 切刃干涉 깊이가 增加하기 때문에 工作物의 變位는 彈性 및 塑性成分으로 이루어지고 切刃이 통과한 後 變位의 彈性成分은 回復하지만 工作物 表面에는 塑性變形에 따른 흔 PE 가 生成된다. 點 P 는 切削開始點으로 그 以後에 있어서는 $Chip$ 이 生成되지만 이 경우에도 工作物 變位의 彈性成分은 回復하므로 工作物 表面에는 切削作用에 의한 흔 PO 만이 남게 된다.

加工面 創成曲線을 決定함에 있어서 알고 있는 것은 工作物表面 OD 와 幾何學的의 干涉曲線 $OO, O'C$ 뿐이고 切刃 한개당의 工作物의 移動量 f (工作物과 숫돌과의 속도비와 연속 切刃 간격과의 곱으로 주어지는 量) 만큼 移動함에 따라 얻어지는 曲線과 생각하고 있는 切刃의 先行하는 切刃에 依한 加工面 創成曲線은 알지 못하고 있다. 따라서 加工面 創成曲線을 決定할 경우에는 切刃과 工作物과의 接觸終點 O 에서 解析을 하지 않으면 안된다. 먼저 OD 사이 ($OD = f$) 에

있어서 工作物 表面 OD 와 幾何學的의 干涉曲線 $OO, O'C$ 에서 幾何的의 干涉 깊이가 判斷되므로 過渡的의 切削과정의 解析에 의해 얻어진 情報을 바탕으로 하여 $0 \leq x \leq f$ 인 區間에서 加工面 創成曲線을 決定할 수가 있다. 그것은 f 만큼 移動한 曲線과 幾何學的의 干涉曲線에서 $f \leq x \leq 2f$ 에 대한 加工面의 創成曲線이 決定된다.

이와 같은 과정을 反復함에 따라 加工面의 創成曲線 OPE 를 決定할 수 있지만 이 경우 생각하고 있는 위치가 彈性, 塑性 그리고 切削의 어느 領域인가에 留意하지 않으면 안된다. 以上の 과정을 거쳐 切刃과 工作物과의 實干涉曲線과 加工面 創成曲線이 決定되면 그것을 基準으로 하여 研削저항, 연삭량 加工面의 거칠기 加工硬仕層 등을 理論的으로 解析할 수 있다.

그림 6에 있어서 幾何學的의 간섭곡선에 의해 生成되는 假想表面과 實際에 加工面의 創成曲線에 의해 生成되는 表面의 差 d_2 는 切刃의 支持剛性 工作物의 彈性 및 幾何學的의 干涉條件에 따라 定해지는 $Residual\ stock$ 으로 研削과정은 過渡的의 切削과정이라는 認識下에서 切刃과 工作物과의 實際의 干涉形狀을 밝히므로써 처음으로 定해지는 값이 된다.

4. 숫돌의 干涉量

切刃과 工作物과의 相互 干涉條件을 考慮하여 行하여진 研削粒子的의 切削現象에서 考察한 結果 研削過程이 과도적 과정인 것과 그리고 最大干涉 깊이에 의해 3개의 接觸形態가 存在하는 것 등이 밝혀졌다.

그 위에 과도적 절삭과정의 解析에서 얻어진 情報을 바탕으로 하여 加工面의 創成曲線이 얻어지고 연삭가공에 있어서 어떤 設定量만큼 숫돌의 切入해도 工作物 半徑의 감소량은 그 設定숫돌 切入량과 一般的으로 다르며 $Residual\ stock$ 가 存在한다. 이러한 것 등은 研削加工을 本質的으로 理解하는데 極히 重要한 것이 된다.

여기 원통 $plunge$ 研削을 例로 하여 設定切入량과 實切入량과의 相關性에 관해 檢討해 본다. 工作物 1회轉에 대한 設定 숫돌의 切入量 Δ 가 數 μm 의 $order$ 로 주어지는 것 처럼 $plunge$ 速度, V_p 를 選定, 원통 研削을 行하였을 때 숫

돌이 工作物과 接觸한 순간을 연삭시간의 原點으로 하여 숫돌과 工作物과의 干涉狀態의 時間적 變化를 表示하면 그림 7과 같이 된다. 그림에 있어서 直線 OG는 숫돌의 移動量을, 曲線 CB는 工作物의 半徑減少를, 또 一點鎖線은 曲線 CB를 工作物이 1回轉하는데 要하는 時間 t_u 만큼 平行移動한 것으로 1回轉前의 工作物 半徑 감소를 나타낸다.

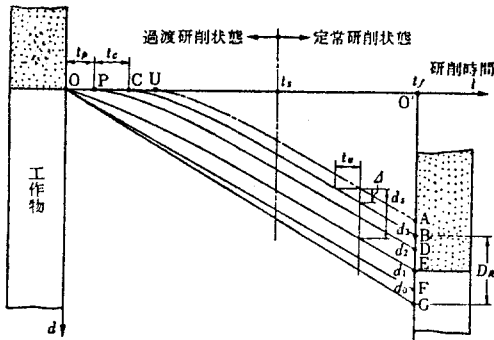


그림 7. Plunge研削에 있어서 숫돌의 간섭양

따라서 實숫돌의 切入깊이 d_s 는 曲線 OE와 曲線 UA와의 차이이며 總 Residual stock 量 DR은 直線 OG와 曲線 CB와의 차로 주어진다.

지금 實際의 숫돌 切入깊이 d_s 와 Residual stock의 變化過程을 考察해 보면 숫돌의 切入깊이가 매우 작은 경우 $0 \leq t \leq t_p$ 에 있어서 숫돌 위의 研削粒子는 工作物과 彈性的 接觸만 하게 되므로 設定숫돌의 切入量이 모두 Residual stock이 되어 다음의 設定切入量에 加算하게 된다. 시간과 더불어 實숫돌의 切入量이 어떤 값에 이르르면 ($t = t_p$) 工作物과 切刃과의 接觸形態는 彈性에서 塑性으로 遷移하고, $t_p < t < t_p + t_c$ 에 있어서는 1次 및 2次的 Residual stock 外에 加工面의 거칠기에 관계되는 3次的 Residual stock이 나타나게 된다. 그렇지만 이 경우에도 切削作用은 일어나지 않는다. $t > t_p +$

t_c 에 있어서 비로서 工作物은 Chip으로 排除되어 工作物 半徑이 감소하게 된다. 그 初期에는 工作物 半徑의 감소속도가 設定숫돌의 切入量의 增加速度에 비해 작아 숫돌의 간섭량은 時間이 경과함에 따라 增加한다. 工作物 半徑 감소속도가 設定 切入量의 增加속도와 같게 되면 實숫돌의 切入 깊이와 Residual stock의 값이 一定하게 되고 研削加工은 定常狀態로 된다. 定常研削狀態에 있어서는 그림에서 알 수 있듯이 實 숫돌 切入깊이 d_s 와 設定 切入깊이 Δ 와의 사이에는 다음과 같은 관계가 成立한다.

$$d_s = \Delta + d_2 + d_3$$

이는 Δ 만큼 研削하기 위해서 숫돌은 Δ ($d_2 + d_3$)만큼의 餘分の 切削깊이를 가져야 한다.

參 考 文 獻

- 1) 田中, 津和, 河村: 研削加工의 諸條件かい研削砥石의 性能に及ぼす影響について 精機 30.12 (1964)
- 2) 岡村, 中島: 砥粒切刃による切削現象의 研究 (第1報~8報) 精機 32-4, 8, 9 (1966~1970)
- 3) 山本, 中村: 微小切削における切削開始의 條件について. 精機 34.5 (1968)
- 4) 勇田: 切削初期現象に關する基礎的研究. 精機 35.5 (1969)
- 5) 岡村, 中島: 過渡的切削現象의 解析を基にした研削理論. 精機 36.2 (1970)
- 6) 岡村, 中島: 過渡的切削現象의 解析を基にした研削理論(第2報) 精機 36.3 (1970)
- 7) 岡村, 中島渡迎: 過渡的切削現象의 解析を基にした研削理論(第3報) 精機 36.4 (1970)
- 8) 岡村, 中島: 研削의 過渡特性(第1報) 精機 38.7 (1972)(第2報) 精機 39.1 (1973)