

<論 文>

超音波振動切削을 이용한 새로운 高精密加工法の 開發

辛 奉 碩*

(1977. 3. 21 接受)

The Development of a new High Working Accuracy
by Ultrasonic Vibration Cutting

Bong-Seok Shin

Abstract

So far, high accuracy in-process sensors have been used for controlling the cutting tool, but the method followed in this new system is quite different from previous processes.

In this system, after the rough cut the mark indicating the position of the finished size is put on the cutting surface of the workpiece by ultrasonic or vibration cutting. The cutting is then continued until the mark just disappears, this position being observed by the used of a simple in-process sensor, The in-process sensor is used only to detect the existence or disappearance of the mark.

1. 序 論

機械加工의 精密度를 向上시키는 方案으로 精度높은 工作機械를 사용하는 경우에 있어서도 加工中 工具의 磨耗, 또는 機械의 熱變形, 加工物의 熱膨脹이나 彈性變形 등으로 생기는 誤差에 對해서는 그 補正策을 講究하지 않으면 안된다. 이와 같은 現象은 單一製品을 大量으로 生産할 때 더욱 그 補正策이 要求된다. 이와 같은 補正量을 求하기 위하여 특수한 In-process sensor를 使用하게 된다. 그러나 실제로는 加工物의 熱膨脹이나 彈性變形이 時間에 따라서 다르고 또는 工具台가 補正量만큼 제대로 移送되지 않는 경우도 생겨 μ 單位의 精密加工은 매우 어렵게 된다.

本 研究는 從來에 使用하고 있던 In-process Sensor로 測定하는 方法, 즉 加工하면서 測定하고 그 測定值에 의하여 補正하는 方法과는 달리 加工物自體에 미리

最終치수로 標識하여 두고 그것을 目標로 삼아 이것과 일치될 때까지 加工해 나가는 새로운 制御方式이다. 따라서 加工中에 發生되는 여러 가지 誤差에 對해서는 전혀 補正할 必要가 없고 다만 미리 marking해 둔 치수와 一致하도록 比較 檢出하는 方式이다. 여기서 미리 finishing size로 marking하는 切削方法은 超音波振動切削法을 利用한다.

2. 實驗方法

(1) Fig. 1의 (a)에서 먼저 거친 加工으로 旋削한 다음 被削材料를 靜止시키고 外徑을 測定하여 最終 치수와 의 差를 算出한다.

(2) Fig. 1의 (b)와 같이 算出된 치수만큼의 깊이로 홈을 超音波振動切削法으로 正確히 加工한다. 이 때에 切削된 홈 밀 面이 最終 치수와 같게 된다.

(3) 이 홈을 目標로 삼아 Fig. 1의 (c)와 같이 切削하고 홈의 有無를 檢出하여 그 存在가 없어질 때까지 切削한다.

以上과 같은 實驗方法을 표로 나타낸 것이 Fig. 2이다.

* 正會員, 全北大學校 工科大學

本 論文에 對한 討論은 1977年 11月 15日까지 本學會 事務室로 送付하여 주십시오.

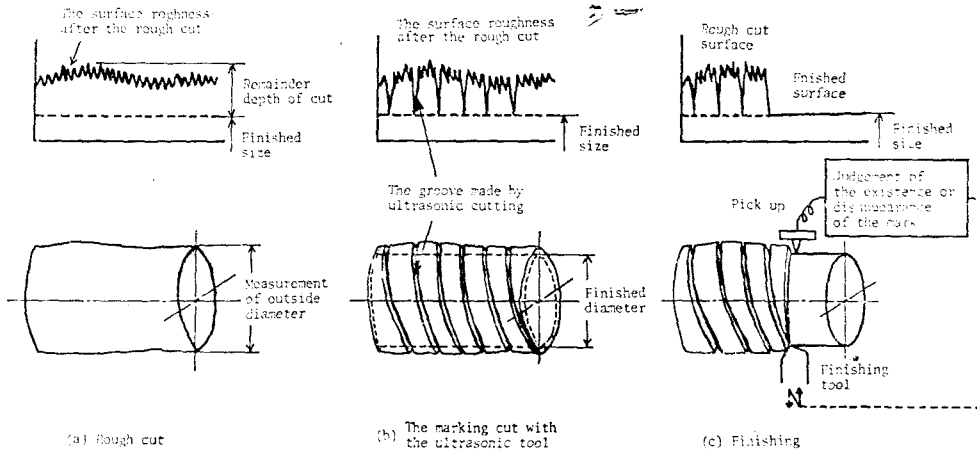


Fig. 1. The principle of the new system

3. 實驗裝置

超音波振動切削裝置에 使用한 發振子(28KHz, Ferrite 歸還振動, 出力 300 W) 끝에 切削工具를 나사로 締結하여 flange 를 붙여서 Fig. 3과 같이 組立한다. 이것을 Fig. 4와 같은 holder 에 끼우고 全自動旋盤(A 20 type IKEGAI Co.) 工具台에 固定시킨다. 이 때에 使用한 工具의 Shank 는 Invar 이고 그 工具의 形狀은 다음 2 종류이다.

① 0, 0, 6, 6, 20, 0, 15 μ

② 6, 6, 6, 6, 60, 30, 10 μ

超音波發振器는 GT-300, Solid type 이며 AC 100V, 20 KHz \pm 500 Hz, 公稱最大出力 300 W 이다.

被削材料는 S45C(JIS), $\phi 50 \times 250$ 이고 其他 主要實驗器具는 다음과 같다.

① 表面粗度計(KOSAKA SE-3) needle 壓力은 0.5 gr, 그 半徑은 5 μ

② 光學式檢出器(SKANAMATIC) 最遠距離는 250 μ , 照射範圍는 1.3 mm²

③ pick up(SANYO 75-5ST) needle 壓力은 3 gr, 그 半徑은 12.5 μ

④ 超音波振動切削裝置(CINCOM D-16)

4. 實驗結果 및 考察

切削速度 100 m/min, feed 0.05/rev 인 條件으로 普通切削法에 依해 旋削했을 때의 表面粗도가 Fig. 5이다. 이것은 切削加工中 構成刃先이 工具 끝에 附着되거나 脫落됨으로 因하여 不規則한 波形을 形成케 하는 것

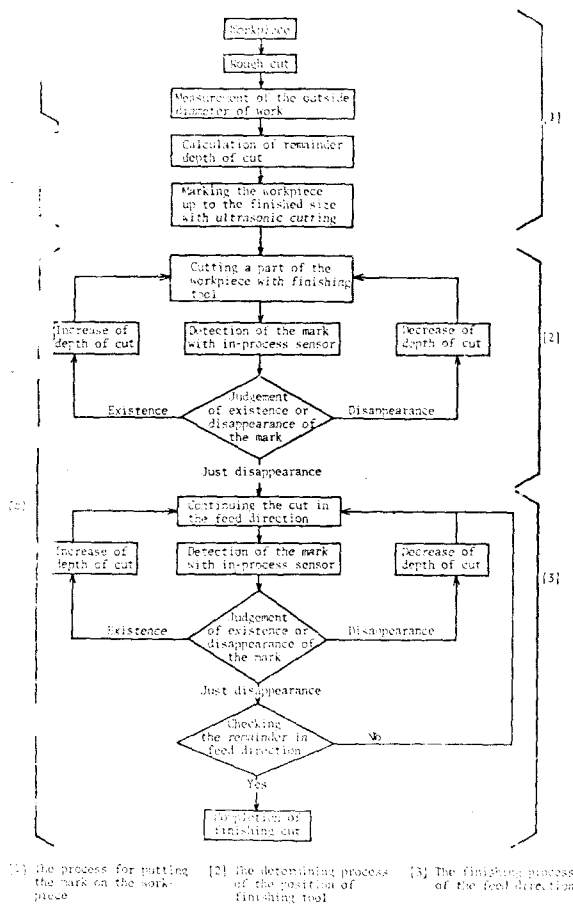


Fig. 2. The block diagram of this system

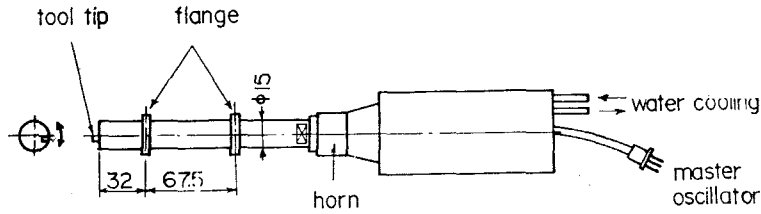


Fig. 3. Ultrasonic vibration tool

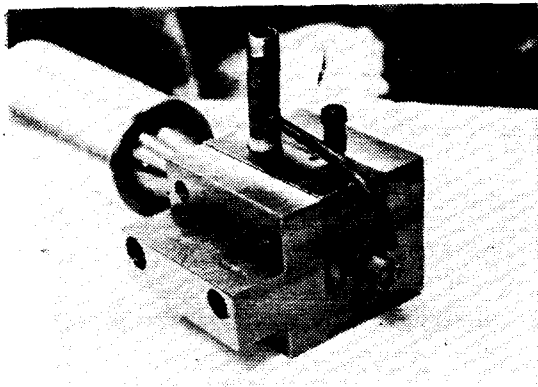


Fig. 4. Tool holder

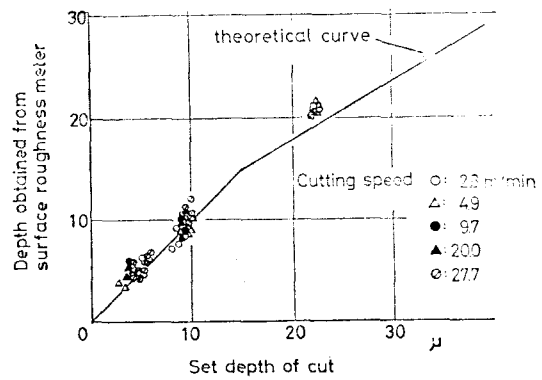


Fig. 7. The error of cutting depth with ultrasonic cutting (V-shaped cutting edge)

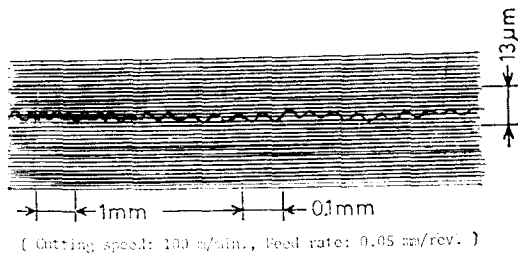


Fig. 5. The surface roughness cut with carbide tool

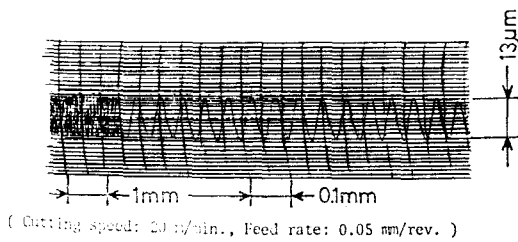


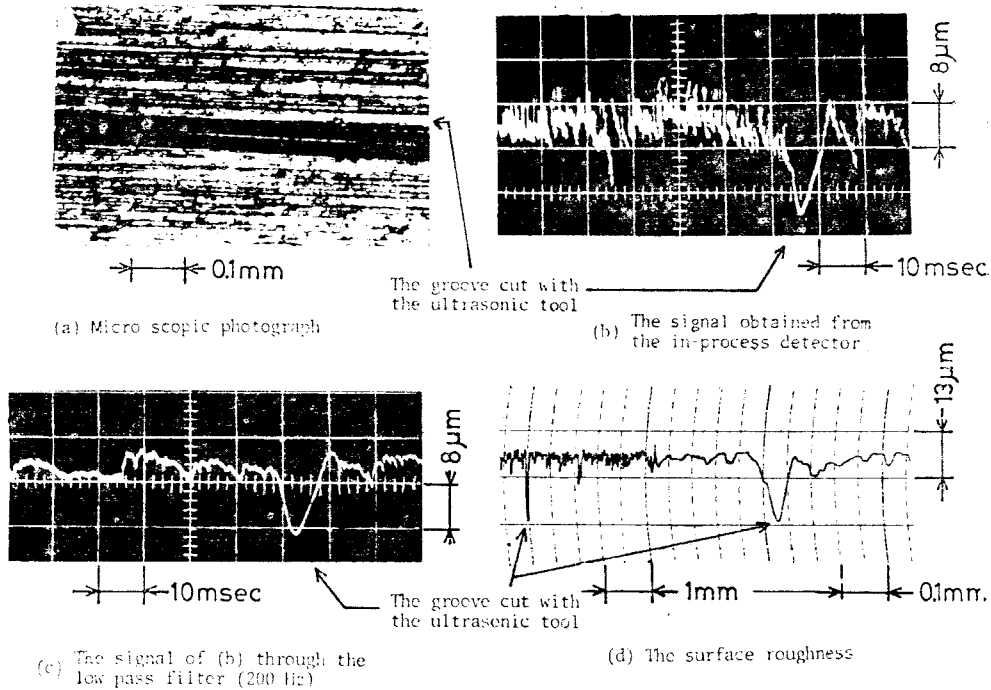
Fig. 6. The surface roughness cut with ultrasonic tool

으로 推測한다. 한편 超音波振動切削法으로 切削하면 Fig. 6과 같이 規則的으로 波形이 나타난다. 이것은 構成刃先이 全혀 發生되지 않기 때문이다. 또 設定한 切

削깊이와 實際로 나타내는 切削깊이와의 關係를 實驗한 것이 Fig. 7이다. 이것으로 알 수 있는 바와 같이 超音波振動切削法에 있어서는 切削速度나 切削깊이에 關係없이 設定한 切削깊이의 量만큼 그대로 切削깊이가 나타난다는 事實이 判明되었다. 따라서 被削材料에 미리 最終 尺寸로 標識할 때에는 이 方法이 가장 正確한 方法이라고 생각된다. 그리고 切削이 進行됨에 따라서 工具의 磨耗量을 調査해 본 結果, 切削距離가 約 2200 m (切削時間은 80分)일 때 工具의 磨耗量은 不過 4 μ 이므로 普通 切削所要時間이 2分間되는 試片에서는 0.1 μ 의 磨耗量밖에 안된다. 따라서 이와 같은 量은 充分이 無視해도 無妨하나.

그밖에 超音波振動切削用工具의 熱變形量은 約 0.04 μ /min이다. 따라서 이것도 無視할 수 있는 量이므로 超音波振動切削法에 依해서 미리 홈을 切削했을 때의 誤差는 모두 합쳐서 0.10 μ 以下에 不過하다.

그러나 이와 같은 홈을 目標로 삼아 最終 尺寸까지 切削할 때 홈의 有無를 檢出하는 方法이 매우 重要하다. 本實驗에서는 音盤用 pick-up를 檢出器로서 使用했다. 그 理由는 接觸式方法이 非接觸式方法보다 確實하게 홈의 存在를 檢出할 수 있고, 또 音盤用 pick-up의 檢出速度가 一般 高速度鋼工具의 切削速度와 거의 같아 偏差



Detecting speed: 28 m/min.
 Feed rate: 0.05 mm/rev.
 The pitch of the spiral groove: 3 mm

The surface roughness cut with high speed steel tool: $R_{max} = 5 \mu m$
 The depth of the groove cut with the ultrasonic tool: 18 μm

Fig. 8. The surface finished by a high speed steel tool and the output of the pick-up in the case of tracing on its surface

가 없으며, 가볍고 銳敏하게 接觸시킬 수 있기 때문이다. 그러나 市販되는 商品으로서 pick-up이 絕對變位를 檢出하기는 매우 困難하므로 本 實驗에서는 pick-up의 바늘의 움직임을 直接 光學的으로 檢出케 하였다. 이때 홈의 檢出精度는 加工面의 거칠기에 따라서 變化하는 oscillo prapy의 noise에 의하여 判定된다.

지금 高速度鋼工具로 다듬질한 面의 顯微鏡寫眞이 Fig. 8의 (a)이고 그 feed 方向의 거칠기가 (d)일 때, 이 경우의 pick-up 出力이 (b)로 나타난다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 高周波의 noise는 매우 커서 홈의 有無를 識別하기 어려운 檢出精度로 되어진다. 그러므로 이 出力을 200 Hz의 電氣的 low pass filter를 使用하여 微小波形을 除去하고 觀察하면 같은 그림의 (c)와 같이 되어 홈의 形態가 보다 鮮明하게 나타나 그 有無를 明確히 判別할 수 있게 된다. 또 (b)의 電氣的 信號를 周波數分析器에 걸어서 各 周波數에 따른 波形을 分析해 보면 Fig. 9와 같이 된다. 그런데 超音波振動切削法으

로 미리 切削한 홈에 따라 pick-up을 움직이게 하면 Fig. 10과 같은 信號를 얻어진다. 이 두 그림에서 Fig. 9에 나타난 21 KHz 附近의 peak 現象은 超音波振動切削特有의 切削形式에서만 얻어지는 振動數임을 알 수 있다. 그 振幅도 거의 두 그림이 一致하고 있으므로 pick-up에 의해서 다듬질한 面上에 홈을 追跡할 때 萬一, 그 홈이 나타나면 위와 같은 特有한 信號를 얻을 수 있으리라 생각된다. 따라서 그 逆으로 pick-up에서 얻어지는 電氣信號를 超音波振動切削의 振動數와 같게 한 band로 low pass filter에 걸어서 觀察하면 미리 標識해 둔 홈은 一層 더 明確하게 檢出할 수 있게 된다.

또 pick-up의 磨耗性에 對한 耐久性을 實驗한 結果, 周速 30 m/min로 S45C의 丸棒 위를 針壓 1.5 gr로 pick-up을 돌려 30 Km나 滑走한 경우에도 그 出力에는 아무런 變化가 없었다.

또 切削油를 加工表面에 塗布하여 그 위를 滑走하게 하여도 그렇지 않은 面과 아무런 差異가 없었음을 確認

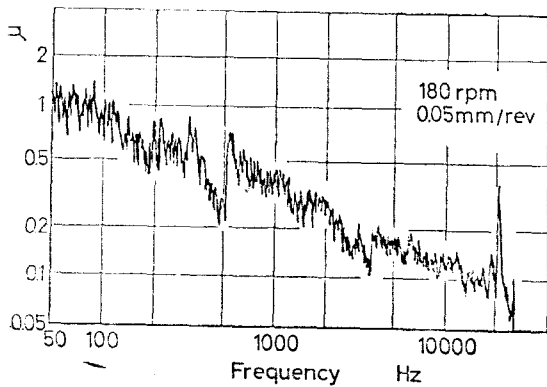


Fig. 9. The frequency analysis of the signal from the in-process detector.

하였다.

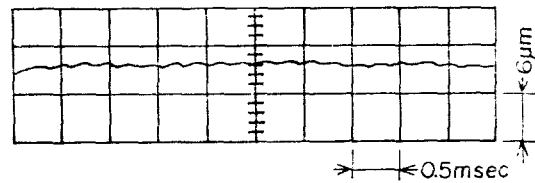
以上과 같은 實驗結果에 의하여 超音波振動切削法을 利用하고 pick-up 을 써서 標識用 흠을 探知한다면 高精密加工法으로 實用化 할 可能性이 充分하다고 展望된다. 그 實用化方法은 다음과 같다.

(1) 同一製品를 大量으로 生産하는 경우와 多種, 少量生産하는 경우와는 미리 標識하는 흠을 달리 區別하여 切削하는 것이 時間的이나 經濟적으로 有利한 方法이다. 즉 工具의 磨耗나 工作機械의 熱變形 등으로 생기는 誤差만을 補正하고 大量生産인 경우에는 몇 개의 加工 cycle 마다 標識用 흠을 切削한다. 少量生産인 경우에도 加工形狀이 다르게 될 때에는 역시 흠도 다르게 切削해야만 効果적인 制御가 可能하다.

(2) 加工物의 다듬질 形狀이 너무 複雜하거나 또는 切削力에 의하여 加工物이 彈性變形을 일으킬 念慮가 있을 때에는 標識用 흠의 數를 여러개로 增加시킬 必要가 있고 그 形狀도 Spiral 形으로 하여 加工物 全面에 切削하는 것이 有利하다. 따라서 剛성이 큰 加工物에 있어서는 加工物 一部에만 標識하여도 効果는 同一할 것으로 推測된다.

(3) 標識用 흠의 切削에 있어서 超音波振動切削裝置를 다듬질 加工機 自身이 裝備하고 있지 않을 때에는 다른 專用機械에 의하여 흠 切削만 따로하고 加工物을 移動시켜야만 되므로 그 때의 Center의 差異 등을 考慮하여 미리 여러개의 흠을 Spiral 形으로 切削해 둘 必要가 있다.

(4) 어느 다듬질 치수의 上限치수와 下限치수의 두 흠을 切削해 두면 더욱 效率적인 精密加工이 可能하게 된다.



cutting speed : 28 m/min.
detecting speed : 3 m/min.
the frequency of the ultrasonic tool 21 KHz

Fig. 10. The wave pattern at the bottom of the marking groove cut with ultrasonic tool.

5. 結 論

高精密加工法의 새로운 制御方法의 하나로 加工物自體에 最終 다듬질치수로 어느 標識을 하기 위하여 흠을 超音波振動切削法으로 미리 切削하고 이것을 目標로 하여 그 흠 밑바닥이 막 없어지는 瞬間까지 在來式인 方法에 의하여 切削하는 方式이다. 따라서 從來의 여러 가지 In-process Sensor의 測定方法, 즉 切削하며 加工物의 치수를 測定하여 最終 다듬질 치수에 一致될 때까지 切削해 나가는 方法과는 全然 그 概念이 다른 方式이다. 미리 標識해 둔 흠의 檢出方法으로 使用되고 있는 音盤用 pick-up는 다듬질 할 치수와 一致시키기 위해서가 아니라 흠의 檢出에만 使用되고 있을 뿐이다. 따라서 이와 같은 方式은 NC 工作機械에서도 從來에는 實行할 수 없었던 完全한 closed-loop의 加工치수制御를 可能하게 할 수 있는 點에서 매우 意義가 있다. 그 主要特徵은 다음과 같다.

(1) 加工物自體가 一種의 模型으로서 마치 模倣切削의 加工法과 비슷하다.

(2) pick-up는 加工物의 絕對치수를 測定하는 것이 아니고 흠의 有無만을 識別하는 檢出器이다.

(3) 加工中에는 흠의 有無를 檢出하기 위하여 언제나 加工面를 觀察하고 있음으로 다듬질面의 狀態나 工具의 缺損, 또는 材料의 不均一한 不良部分을 迅速히 發見할 수 있다.

(4) 加工物에 미리 標識用 흠을 切削해 두고 있음으로 다듬질 加工時에 chip의 處理가 圓滑히 잘 된다.

(5) 本方式은 加工中 被削材料의 熱膨脹이나 彈性變形, 또는 工具의 磨耗, 工作機械의 熱變形 등으로 생기는 誤差가 모두 합쳐서 不過 1µ 程度의 높은 精密度를

維持할 수 있다.

附 記

本開發研究의 主要實驗은 1973年 5月부터 1975年 4月까지 東京工業大學 生産機械工學科 機械加工學 研究室에서 實施한 것임.

1976. 5. 22 大韓機械學會 春季學術大會 報告 概要를 發表하였음.

參 考 文 獻

1. M. Bath, R. Sharp, In-Process control of lathe, MTDR Part 2, pp. 1209 vol. 9, 1968.
2. M. G. Jona, Contribution to the development of geometrical adaptive control in turning, 11th Inter MTDR Conf. 1970.
3. H. Tipton, In-process measurement and control of workpiece size, MTIR, pp. 93-104, reprinted from Machine tool research, (october) 1966.
4. 隈部, 振動パルスが切り開いた精密切削, 材料加工, 3月號 pp. 16-22, 1974.
5. 隈部, 安田, 谷口, 振動切削の動的解析(第一報), 精密機械 Vol. 39, 8月號 pp. 44, 1973.
6. 高橋, 桑村, 超音波振動切削加工裝置, 岩崎技報 6卷 pp. 60-66, 1967.
7. 高田, 小尾, 佐田, 旋削加工における加工誤差の解析, 精密機械 Vol. 40, 8月號 pp. 80, 1974.
8. 隈部, 振動加工と摩擦, 精密機械, Vol. 39, 12月號, p. 66-73, 1973.
9. 西村, 久岡, 超音波機械加工論, 精密機械, Vol. 35, 10月號, pp. 41-47, 1969.
10. 田中, 吳野, 新家, 超音波振動研削の研究(振動方向と仕上面あらさの關係について), 精密機械, Vol. 35, 11月號 pp. 60-65, 1969.