

Machining Center에서의 Drill加工時 切削抵抗과
그 動的成分에 關한 研究 (第 1 報)
— SM45C를 中心으로 —

全 彦燦*, 堤 正臣**, 伊 東諠***, 南 宮珪****

A Study on Static and Dynamic Cutting Force in Drilling Process
for Machining Center (1st report)
- SM45C -

Eon Chan Jeon* Masaomi Tsutsumi** Yoshimi Ito*** Suk Namgung

ABSTRACT

This paper deals with the effect of static and dynamic cutting force and the behaviour of drill life in drilling process. The experiments are performed with cemented carbide drills and high speed steel drills of 10mm in diameter and in an annealed SM45C.

The conclusions are as follows

- (1) Dynamic cutting force is varied with the dept of hole.
- (2) Dynamic cutting forces of torque and thrust are increased with the increase in feed and cutting speed.
- (3) Chipping influence the dynamic cutting force of thrust than torque, and in the case of thrust, the amplitude is 3-7 times large than ordinary cutting state.
- (4) Prediction of drill life can be obtained from more easily the amplitude of static cutting force than that of dynamic cutting force.

* 東亞大學校 工科大學
 ** 東京農工大學 工學部
 *** 東京工業大學 工學部
 **** 忠南大學校 工科大學

1. 序 論

機械加工이 高速, 高能率, 高精度化됨에 따라서 切削工具의 形狀이나 材質의 改善 및 性能의 進歩는 淸목할 만하며, 그 가운데서도 Drill 加工의 分野에서는 Drill의 Stub化가 進展되고 또한 油孔 Drill, Nick을 붙인 Drill 등 特殊形狀의 Drill이 開發되어 있다.^{1)~3)} Drill作業은 Boring, Reaming, Tapping作業과 같은 第2次的 工程을 수반하는 경우가 많기 때문에 구멍의 位置決定, 工具의 交換, 工具길이의 調整, 切削條件의 變更 등 純切削時間 以外에 수반되는 時間이 큰 比重을 차지하고 있다. 따라서 구멍加工의 能率化는 단지 구멍加工時間의 短縮뿐만 아니라 上記의 全般에 걸쳐서 이루어져야 한다.

大量生産用으로서 Transfer machine이 많이 사용되고 있지만, 구멍加工을 中心으로 하는 것으로서, 더우기 多品種 中小量生産用으로서 自動工具交換裝置(ATC)가 붙은 Machining center가 最近 매우 눈부신 發展을 거듭해 온 것은 上記의 特徵을 가지고 있기 때문이라고 생각된다. 이와 같은 Drill加工에 있어서 切削抵抗의 靜的成分을 分析한 例는 많이 있지만^{4)~6)} 靜的成分보다도 더 많은 情報를 內包하고 있을 것으로 생각되는 動的成分에 關한 研究는 그 數가 적으며,^{7)~9)} 特히 超硬 Drill의 경우, 切削抵抗의 靜的成分에 關해서 研究한 結果는 HSS Drill보다 적다.^{10)~11)} 또한 加工의 NC化, 自動화가 이루어짐에 따라서 工具壽命의 測定은 In Process化하지 않으면 안되지만 지금까지 行한 Drill 壽命試驗은 刃先形狀을 變化시켜서 그 變化量이 壽命에 미치는 關係를 檢討했으며 또한 Flank 摩耗 및 外周 Corner 摩耗 등 소위 刃先形狀의 改善에 重點을 둔 것이 大部分이다.^{12)~17)}

이와 같은 方法은 切削作業이 停止된 狀態에서 測定하였기 때문에 加工途中 自動적으로 測定하는 것이 곤란하다.

그래서 本 研究에서는 구멍加工을 中心으로 하는 Machining center를 利用하여 5種類(超硬 1 Hs 4)의 Drill로서 SM 45C를 Drill 加工하였을 때 생기는 Torque와 Thrust의 切削抵抗

과 動的成分을 分析하고 또한 動的成分과 周波數와의 關係, 切削抵抗의 靜·動的成分과 工具壽命과의 關係에 대하여 檢討하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 實驗裝置

本 實驗에 使用한 實驗裝置 및 測定 System의 概略圖를 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다. 使用한 工作機械는 模型 Machining center (東芝機械, BMC-5B type)이며, Drill holder는 (株) 溝口鐵工所의 BT 50 Collet holder (主軸 taper No. 50)를 使用하였으며 內藏된 Collet는 強力形 Spring Collet로서 그 形狀은 Fig. 3에 表示한 바와 같다. 切削抵抗의 Torque와 Thrust는 剛性이 높고 応答性이 우수한 2成分 圧電型 切削動力計(Swiss Kistler社 9065 D型)로 檢出해서 Charge amplifier를 通過시킨 後 Pen recorder에 의해서 記錄하였다 또한 그 信號를 Data recorder에 收録한 後 FFT analyzer와 Digital memoriscope를 使用하여 切削抵抗의 周波數와 動的成分을 分析하였다.

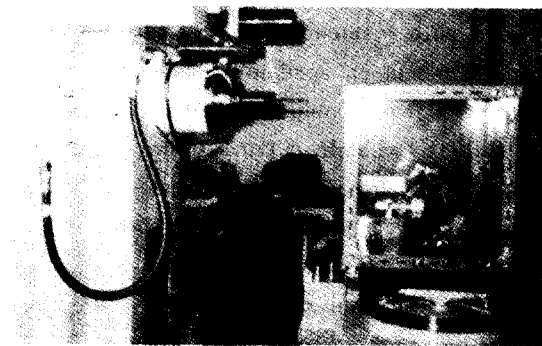


Fig. 1 Experimental apparatus

Drill은 全部 直徑 10mm의 Straight shank drill로서 諸치수는 Table 1에 表示한 바와 같이 길이, 先端角, 비틀림 각 및 Thinning 形狀이 조금씩 다른 것을 適當하게 選定하여 使用하였으며, 特히 Drill B는 Chip breaker가 붙어 있다.

被削材는 機械構造用 炭素鋼 SM 45C 丸棒을 使用하였으며 試驗片을 Chuck에 固定시켰을 때

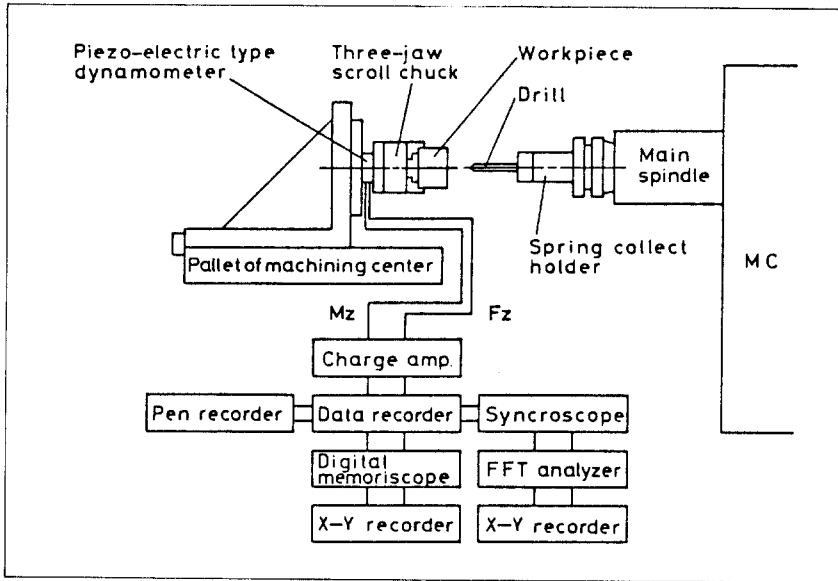


Fig. 2. Schematic diagram of experiment

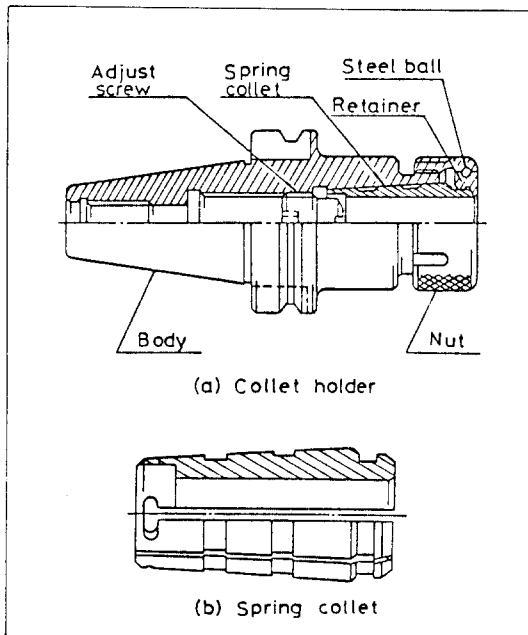


Fig. 3 Collet holder

Table 1 Dimension of drill used

Drill Type	Material	Overall Length/ Flute Length	Point Angle	Twist Angle	Web Thinning
A	SKH 9	130 / 95	118°	32°	
B	SKH 9	130 / 95	135°	38°	XS
C	SKH 9	118 / 58	118°	32°	Spiral Point
D	SKH 9	89 / 43	181°	30°	S
E	K 20	90 / 55	118°	32°	

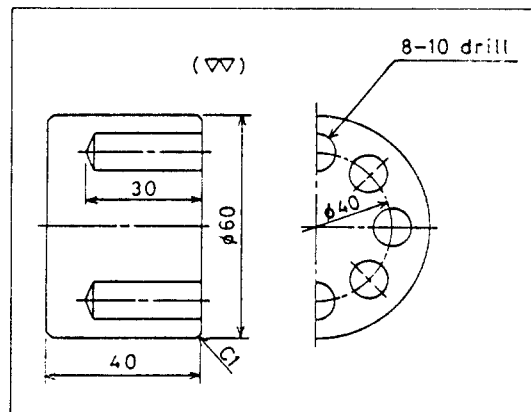


Fig. 4 Test specimen

의 偏心을 除去하기 위하여 外皮加工한 後 兩端面을 加工하였으며 試驗片의 形狀 및 치수는 Fig 4 와 같다.

2.2 實驗方法

實驗에서는 Fig. 4와 같은 試驗片에 8個의 구멍을 뚫었으며 구멍과 구멍의 最小距離는 5mm 以上이 되도록 하였다.¹⁸⁾ 그래서 試驗片의 中心에서 $\phi 40$ 의 PCD의 圓周를 8區間으로 均等分割해서 한 區間에 하나의 구멍位置를 정했다. 구멍의 깊이는 Drill 直徑의 3倍인 30mm로 一定하게 하였으며 非貫通加工하였다.

Drill을 Collet holder에 締結시킬 때의 締結力은 本 實驗을 行하는 範圍內에서는 Drill이 모두 正確하게 移送이 되도록 充分한 힘으로 締結시켰다. 또한 切削速度는 HSS Drill에서는 10 ~ 45 m/min, 超硬 Drill은 40 ~ 75 m/min 사이를 5 m/min씩 變化시키고, 移送은 양쪽 모두 0.1 ~ 0.45 mm/rev 사이를 0.05 mm/rev씩 變化시켰다. 切削液을 水溶性 Emulsion type를 50倍로 희석시켜서 使用하였으며 切削液의 供給率은 40/min으로 하였다.

2.3 切削抵抗의 測定

以上과 같은 實驗裝備를 使用하여 Drill 加工하였을 때의 切削抵抗은 Fig. 5와 같은 方法으로 測定하였다.

로 測定하였다. Fig. 5에서와 같이 Drill加工時 Pen recorder에 나타난 切削抵抗의 初期값(Start)과 後期값(End)을 靜的成分 M_z 로 하였다. 또한 動的成分 ΔM_z 는 Data recorder에 收錄된 信號를 Digital memoriscope로 再生시켜서 그 크기를 求하였다. 動的成分의 크기는 表面粗度の 測定時 最大値를 求하는 것과 같은 方法으로 그 成分을 測定하였다. 한편 Power spectrum은 Data recorder에 收錄된 信號를 Syncroscope로 통과시켜서 FFT analyzer를 使用하여 100Hz, 200 Hz, 400Hz, 4kHz 및 10kHz 까지 分析하였다. 以上은 Torque에 관한 것이며 Thrust에 관한 靜·動的成分 F_z 및 ΔF_z 도 위와 같은 方法으로 測定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 切削抵抗의 靜的成分의 一般의 挙動

Drill加工의 特徵은 加工구멍의 깊이가 깊어질 수록 Chip의 排出이 不良하게 되며, 더우기 切削液이 구멍의 안쪽까지 充分히 침입하지 못하

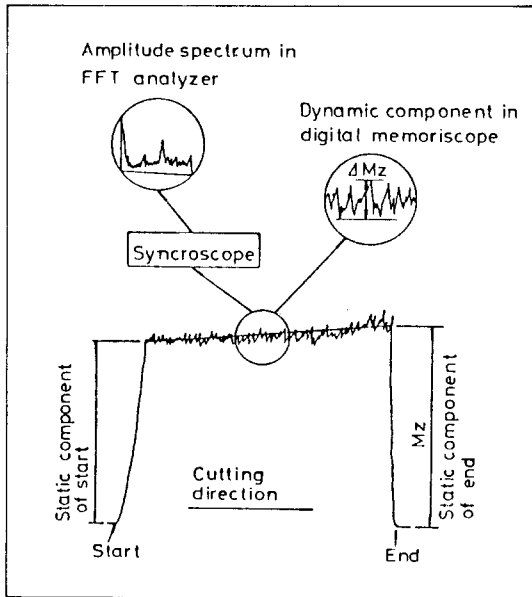


Fig. 5 Static and dynamic components of cutting force

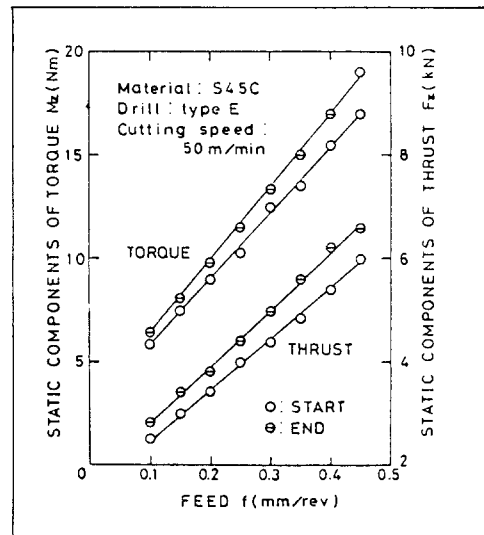


Fig. 6 Relation between feed and static components of torque

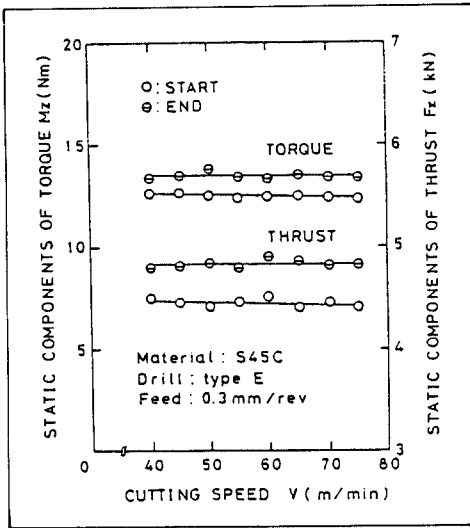


Fig. 7 Relation between cutting speed and static components of thrust

게 된다. 그 때문에 本 實驗에서 加工하는 程度의 구멍깊이(Drill徑의 3倍)를 加工할 때에 油孔 Drill을 使用하는 경우도 있다. 그러나 大部分은 Table 1에 나타낸 바와 같은 Drill을 使用하여 Drill徑의 3倍까지 加工하고 있다.

Fig. 6 및 Fig. 7은 超硬 Drill로서 구멍加工時 移送 및 切削速度를 变化시켰을 때 Torque와 Thrust의 靜的成分과의 關係를 나타낸 것이다. 移送가 增加함에 따라서 兩靜的成分은 直線的으로 增加하고 있지만 切削速度의 大小에는 關係없이 거의 一定한 값을 나타내고 있다. 또한 切削初期(Start)와 後期(End)의 값을 比較해보면 Fig. 5에서와 같이 구멍의 깊이가 깊어질수록 切削抵抗이 增加하고 있으며 그 差는 移送를수록 크게 나타났다.

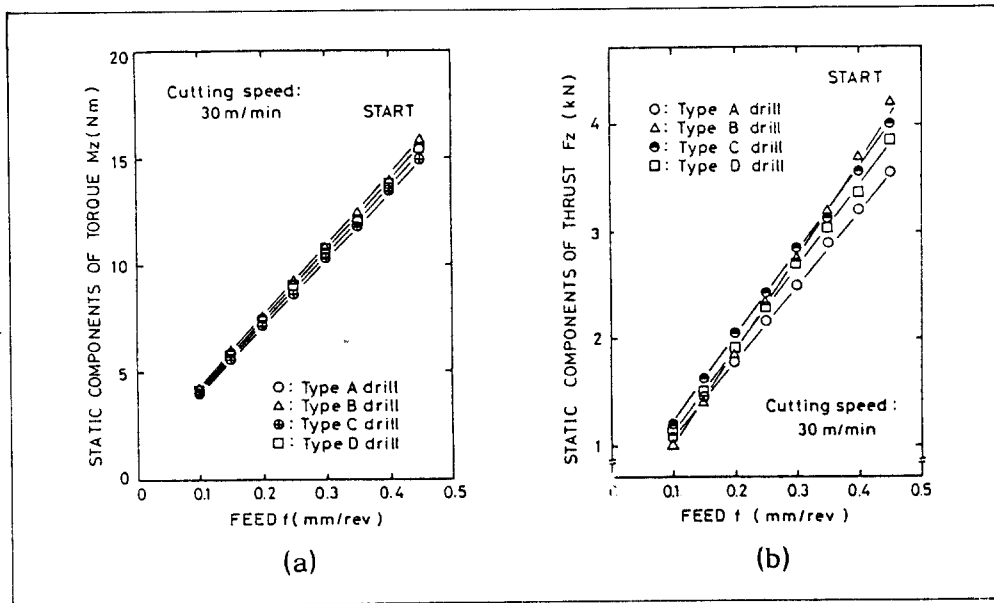


Fig. 8 Relation between feed and static cutting force

Fig. 8 (a), (b)은 直徑이 同一한 4種類의 HSS Drill로서 Drill加工하였을 때 나타난 移送와 切削抵抗의 靜的成分과의 關係이다. 移送가 增加할수록 Torque와 Thrust의 靜的成分은 直線的으로 增加하고 있는데, 이와 같은 現象은 移送가

增加함에 따라서 切削面積이 증가하기 때문이라고 생각된다.

Fig. 9는 切削速度와 切削抵抗의 靜的成分과의 關係를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Torque, Thrust 모두 超硬 Drill로서 加工하였을 때

와 마찬가지로 큰 변화는 보이지 않고 있지만, 특히 Thrust의 경우, 切削速度가 증가함에 따라

서 조금씩 增加하는 傾向을 나타내고 있다.

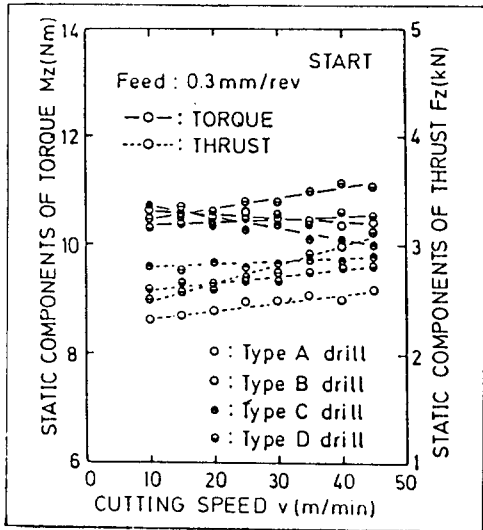


Fig. 9 Relation between cutting speed and static cutting force

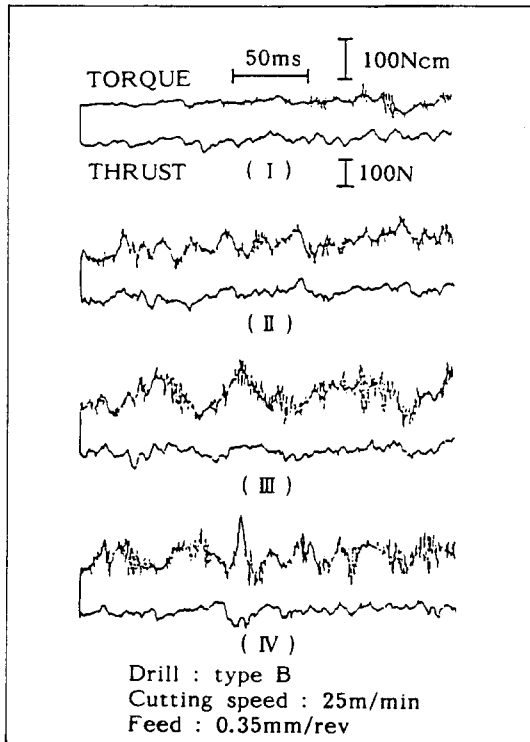


Fig. 10 Dynamic components of torque and thrust

3.2 動的成分

3-2-1 動的成分의 一般의 挙動

切削抵抗의 動的成分을 Digital memoriscope를 사용하여 拡大 記錄한 例를 Fig. 10에 나타내었다. 이 그림에서와 같이 Torque는 回轉數와 거의 같은 週期의 正弦波狀의 變動과 그 外에 比較的 振幅이 크고 周波數가 높은 成分이 포함되어 있다. 또한 Thrust는 이 그림에서는 判斷하기 어렵지만 몇 개의 周期的인 成分이 포함되어 있을 것으로 생각되며 이 部分에 關한 研究結果는 다음 기회에 報告하고자 한다.

Fig. 5에서 定義한 動的成分의 全振幅 ΔM_z 및 ΔF_z 를 使用하여 구멍의 깊이와 함께 ΔM_z 및 ΔF_z 가 어떻게 變化할 것인가에 대해서 切削初期(5mm), 後期(30mm) 및 그 中間의 두군데(15mm, 25mm)를 選擇하여 測定하였다. 이와 같이 測定한 것을 第 I, II, III, IV 段階로 나타내었으며 그 測定值의 一例를 Fig. 11에 나타내었다.

第1段階(5mm附近)는 切削初期로서 切削날 全体가 被削材와 接觸하고 나서 時間이 많이 경

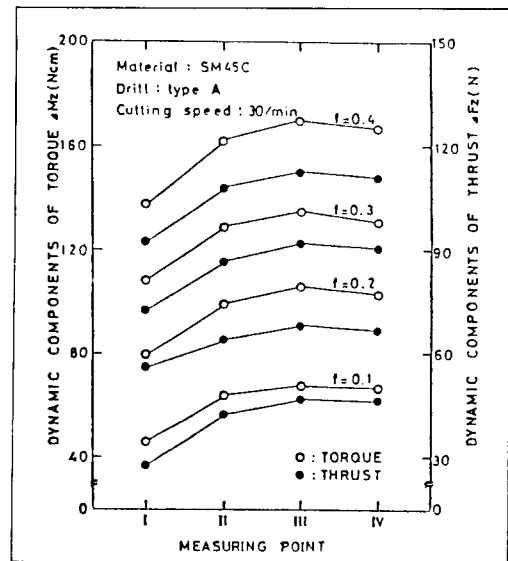


Fig. 11 Measuring point

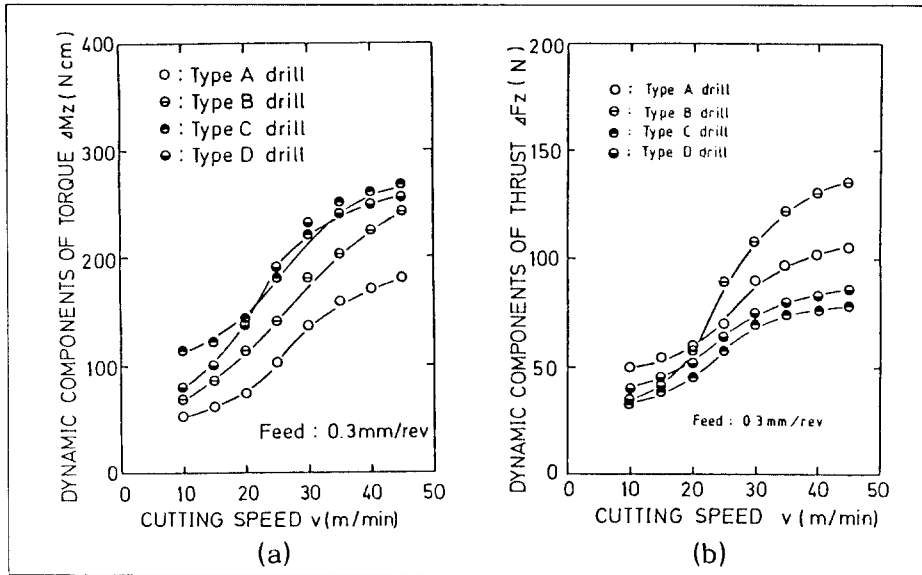


Fig. 12 Dynamic components of torque and thrust vs. feed and cutting speed

과되지 않았기 때문에 Chip의 排出이 良好하므로 兩動的成分의 값이 작다.

第Ⅱ段階 (15mm附近)는 구멍이 깊이가 점점 깊어지기 때문에 Chip이 自由롭게 流出할 수 없으며 구멍 內壁과의 摩擦面積이 점점 增加해서 兩動的成分이 漸増하는 段階이다.

第Ⅲ段階 (25mm附近)는 구멍 內壁의 심한 拘束에 의해서 Chip의 排出性이 아주 나쁘기 때문에 不連續 Chip이 生成되는 段階이며 구멍의 깊이가 깊어짐에 따라서 切削液의 供給이 어려워져서 內部에서 發生된 熱의 影響을 받아서 兩動的成分이 크게 變動하며 이 段階에서 動的成分의 最大値에 이른다.

第Ⅳ段階 (30mm附近)는 切削終了直前 으로서 Torque와 Thrust의 動的成分은 점점 減少하는 段階이다.

以上에서와 같이 切削깊이에 의한 動的成分의 形態를 4段階로 나누었으며 그 때의 最大値는 第Ⅲ段階에서 나타났다. 그래서 以下에서 表示하는 動的成分의 크기는 第Ⅲ段階의 값을 나타내었다.

3-2-2 切削條件의 影響

Fig. 12 (a), (b)는 4種類의 HSS Drill로서 SM 45C를 Drill 加工하였을 때, 切削速度와 Torque

Thrust의 動的成分의 關係를 나타낸 것이다. 兩動的成分 모두 切削速度가 增加함에 따라서, 直線의인 增加傾向은 보이지 않지만 대체적으로 增加하고 있다. 이것은 Drill의 刃先이 單位時間當 구멍의 內壁과 摩擦하는 回數가 많아지기 때문이라고 생각된다. 特히 Thrust의 경우 Drill B의 값이 切削速度 15m/min 以上에서 急激히 增加하고 있는데 이것은 Web의 두께가 얇고 비틀림角이 크기 때문이라고 생각된다.

Fig. 13 (a), (b)는 移送과 Torque, Thrust의 動的成分과의 關係를 나타낸 것이다. 移送이 增加할수록 兩動的成分은 直線의으로 增加하고 있는데 이것은 靜的成分의 結果와 같은 現象을 나타내고 있다. 또한 Drill의 種類에 따라서 크기의 差異가 나타나고 있는데 이것은 刃先形狀의 差에 의한 結果라고 생각된다.

3.3 Chipping 現象

Fig. 14는 超硬 Drill로서 SM 45C를 回轉數 22 28rpm, 移送 0.3mm/rev로 구멍加工하였을 때 Digital memoriscope 上에 나타난 Torque와 Thrust의 動的成分이다. Torque는 正弦波를 나타내고 있지만 切削이 進行되면서 어느 순간부터 크기의 變化가 생기며 形狀도 完全한 正弦波가 아니

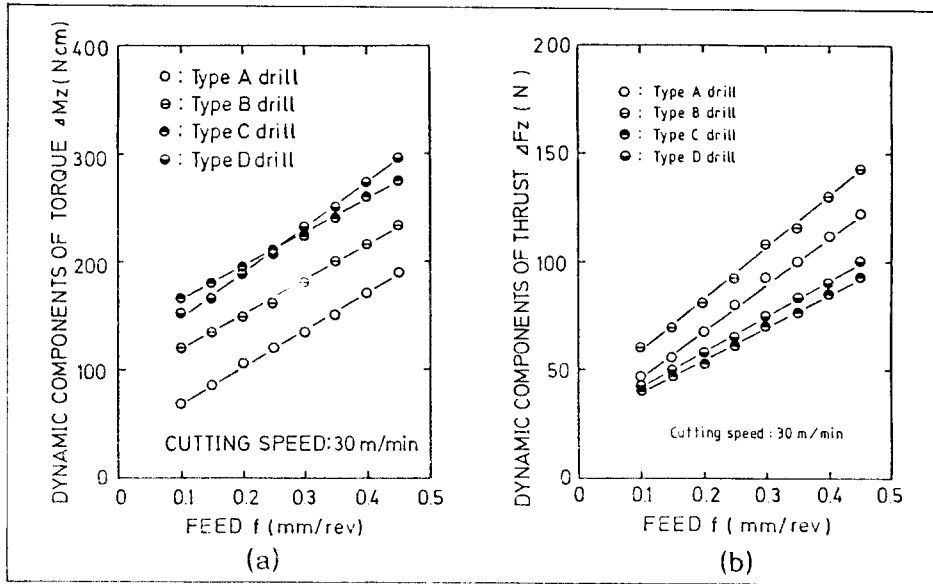


Fig. 13 Dynamic components of torque and thrust for feed

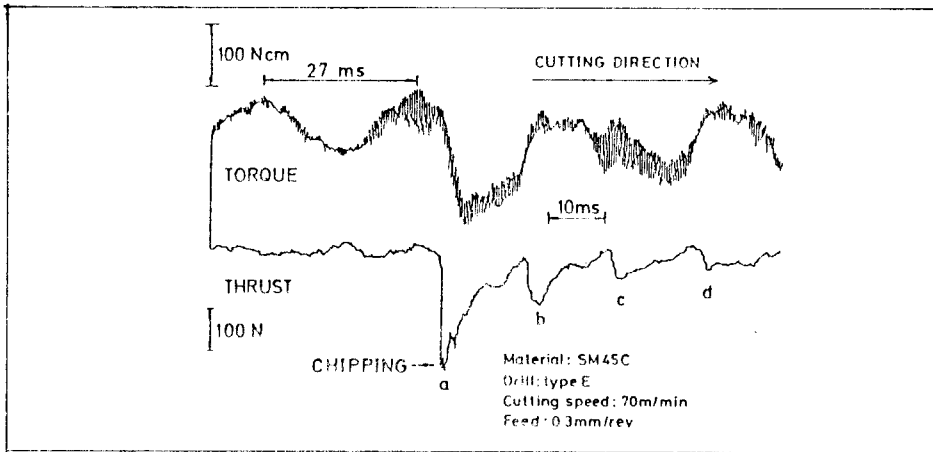


Fig. 14 Chipping

고 不規則한 形狀을 나타낸다. 또한 Thrust는 切削이 進行되면서 一定한 形狀을 나타내지 않고 變化한다. 그러다가 a部分에서 갑자기 急激한 形狀과 크기의 變化를 일으킨다. 이와 같은 것은 충격에 약한 超硬工具에서 자주 일어나는 Chipping 現象으로서 工具材料의 결함이나 Drill의 두 날끝이 完全히 대칭이 되지 않았을 때 한 쪽 刃先이 工作物의 内壁과 충격적인 接觸으로 인하여 생긴 결함이라고 생각된다. 그림에 나타

난 바와 같이 Chipping이 發生하면(a部分) Torque와 Thrust의 動的成分이 크게 變化하며, Chipping의 영향이 兩動的成分에 미치는 것을 比較해보면 Torque보다는 Thrust쪽이 더 크다는 것을 알 수 있다. 이 때 Thrust의 動的成分의 全 振幅은 Chipping이 일어나지 않는 곳의 3~7倍程度가 되었다. 또한 Chipping이 일어나면 그것에 의해서 생긴 예리한 刃先의 가장자리에 연속적으로 b, c, d와 같은 Minute chipping이 일

어나고 있음을 알 수 있다. 또한 그 크기는 a, b, c, d 順으로 작아지며 切削이 進行됨에 따라서 점차 正常的인 切削狀態로 회복되고 있음을 알 수 있다.

3.4 壽命試驗

3-4-1 靜的成分

Fig. 15는 Drill 壽命試驗을 하였을 때의 구멍 수와 切削抵抗의 靜的成分과의 關係를 나타낸

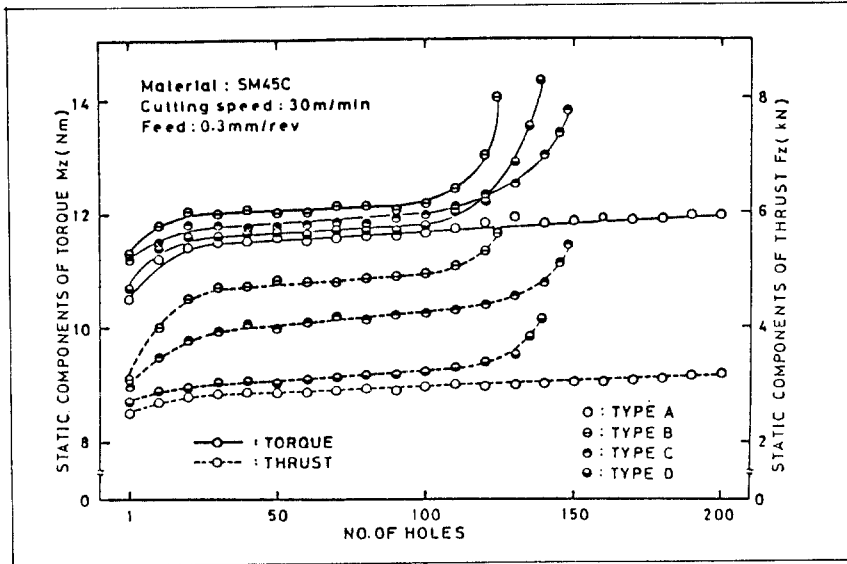


Fig. 15 Static components of torque and thrust for No. of holes

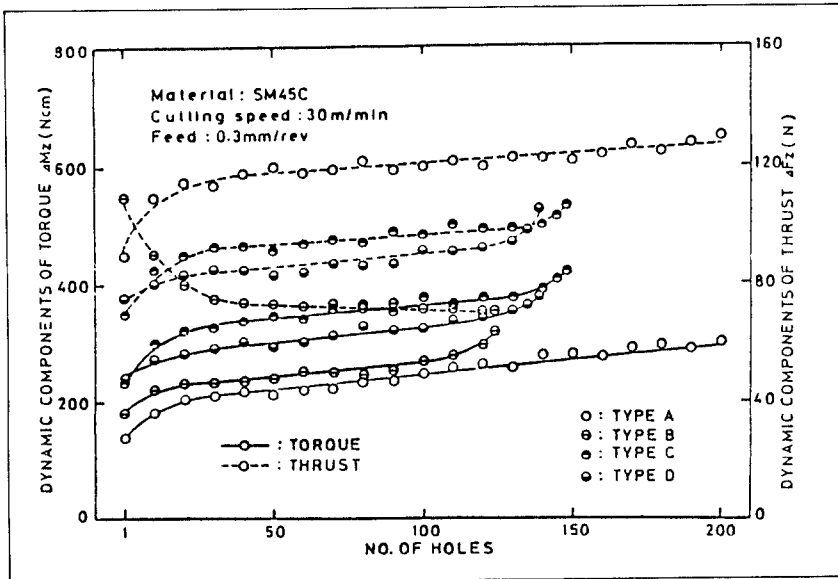


Fig. 16 Dynamic components of torque and thrust for No. of holes

것이다. 이 때의 靜的成分의 크기는 Drilling 初期와 後期の 平均値로서 나타내었다. 그림에서와 같이 Drilling이 시작되어 구멍수가 30個程度까지는 兩靜的成分 모두 구멍수가 增加함에 따라서 크게 增加하는 現象을 보이고 있으며 그以後에는 切削抵抗이 크게 變化하지 않는 安定된 加工狀態가 進行되고 있음을 알 수 있다. 그後, 구멍수가 100個를 넘으며 Drill B, C, D는 兩靜的成分이 점점 增加해서 구멍수가 135個 前後에서 急激하게 增加한다. 그래서 壽命에 이르며 切削不能이 된다. 그러나 Drill A는 200個의 구멍을 加工하여도 위와 같은 現象을 보이지 않고 安定된 切削狀態를 유지하고 있다. Table 1에 나타낸 Drill A, C, D의 길이를 比較해보면 Drill A가 가장 긴 것임에도 불구하고 위와 같은 現象을 나타내고 있는 것은 Drill의 길이가 길수록 반드시 壽命이 짧다고는 볼 수 없다.

3-4-2 動的成分

Fig. 16을 구멍수와 切削抵抗의 動的成分과의 關係를 나타낸 것이다. 靜的成分과 비슷한 傾向을 나타내고 있으나 壽命에 이를 때의 靜的成分과 같은 急激한 增加現象은 보이지 않는다. Drill B의 경우, Torque는 靜的成分과는 다르게 그 크기가 Drill C, D보다 작으며 Thrust에서는 구멍수가 增加할수록 점점 減小하고 있다. 이것은 Drill B의 刃先에 붙어 있는 Chip braker의 影響 때문이라고 생각된다.

4. 結 論

SM 45C를 超硬과 HSS Drill로서 Drill 加工하였을 때 發生한 Torque와 Thrust의 靜的 및 動的成分, Drill壽命과 切削抵抗과의 關係를 實驗한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 切削抵抗의 動的成分은 加工구멍의 길이에 의해서 크게 變化한다.
- (2) Torque와 Thrust의 動的成分은 移送이 增加할수록, 切削速度가 增加할수록 增加한다.
- (3) Chipping 現象은 Torque의 動的成分 보다

도 Thrust의 動的成分에 더 큰 影響을 미치며, Thrust의 경우, 그 크기는 Chipping이 일어나지 않는 곳의 3~7倍 程度이다.

(4) Drill의 壽命은 Torque와 Thrust의 動的成分보다도 靜的成分의 크기의 變化로서 予測이 可能하다.

끝으로, 本 研究를 수행함에 있어서 아낌없는 指導와 助言을 주신 東京工業大學 工學部 生産機械工學科 伊藤周三助手와 長岡技術科學大學 機械系 田辺郁男 助手에게 感謝의 말씀을 드린다. 또한 本 研究에 많이 協助해주신 東京工業大學 工學部 生産機械工學科 機械加工學 研究室의 大學院生 李宜珪氏와 모든 분들께 感謝의 말씀을 드린다.

참고문헌

- 1) 土井喜久: 切刃とマージンを分離したドリルの切削性能, 昭和55年精密機械學會秋季講論集(1980) 879
- 2) 鹿田 洋: 難削材用高剛性穴あけ工具エントリルの開發, 昭和56年度精密機械學會春季講論集(1981) 823
- 3) 小川 誠, 中山一雄: ニックによるドリル性能の向上, 精密機械, vol. 50, No. 10 (1984) 1659
- 4) M. C. Show, C. J. Oxford: On the Drilling of Metals 2 - The Torque and Thrust in Drilling Trans. of the ASME, vol. 79 (1957) 139
- 5) S. Bera, A. Bhattacharyya: On the Determination of Thrque and Thrust During Drilling of Ductile Materials, Proc. of the 8th Inter. MTDR (1967) 879
- 6) A. K. Pal, A. Bhattacharyya, G. C. hin: Investigation of the Torque in Drilling Ductile Materials, Inter. J. of MTDR, vol. 4 (1965) 205
- 7) 全彦燦, 南宮 垢: 切削抵抗의 動的成分에 미치는 切削條件의 影響에 關한 研究(II),

- 韓國精密機械學會誌, 第 2 号 (1984) 58
- 8) 南宮 埜: Random Excitng에 의한 드릴링머시인의 動的性能試驗에 관한 研究, 全北大學校 學位論文 (1983)
- 9) 南宮 埜: ドリル加工における切削抵抗の動的成分, 昭和 56 年度精密機械學會秋季講論集 (1981) 822
- 10) 甲木昭雄 外 3 名: 超硬スロアウエイドリルの切削特性に關する研究一切れ刃形狀と加工精密 - 昭和 58 年度精密機械學會秋季講論集 (1983) 33
- 11) T. Radhakrishnan, S. M. Wu: On-Line Hole Quality Evaluation for Drilling Composite Material Using Dynamic Data, Trans. of the ASME, J. of Eng for Ind., vol. 103 (1981) 119
- 12) 金井実徳: ドリル加工における基礎的研究 (第 2 報), 日本機械學會論文集, vol. 41, No. 36 (1975) 1926
- 13) E. Amini: Measurement of Wear of Twist Drills, Proc. of IME, vol. 195 (1981) 241
- 14) D.F. Galloway: Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance, Trans. of the ASME, vol. 79 (1957) 191
- 15) K. Subramanian, N. H. Cook: Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life, Trans. of the ASME, J. of Eng. for Ind., vol. 99 (1977) 295
- 16) S. Kaldor, E. Lenz: Investigation in Tool Life of Twist Drills, Annals of the CIRP, vol. 29 No. 1 (1980) 23
- 17) D. K. Aspinwall, G. Myatt: Tool Life and Performance Data for Various Polycrystalline Diamond Tools Including Twist Drills, Proc. of the 23th Inter. MTDR (1982) 183
- 18) 西八条 実: 18 - 8 ステンレス鋼のドリル加工, 日本機械學會論文集, vol. 29, No. 202 (1963) 1043
-