한국기계가공학회지, 제15권, 제4호, pp.109～117(2016.8) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers,Vol.15 No.4, pp.109~117(2016.8) ISSN 2288-0771(Online)

http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2016.15.4.109

새로운 디버링 공구를 이용한 드릴링 버의 효율적 제거를 위한 가공조건 선정

배준경*, 박하영**, 권병찬**, 고성림**,#
*경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과, **건국대학교 기계공설계학과

Determination of Cutting Conditions for an Efficient Deburring Process Using a New Deburring Tool

Jun-Kyung Bae*, Ha-Young Park**, Byeong-Chan Kwon**, Sung-Lim Ko**,#
* Department of Mechatronics Engineering, GNTECH UNIV.,
** Mechnical Design and Production Engneering, Konkuk UNIV..
(Received 20 June 2016; received in revised form 28 July 2016; accepted 29 July 2016)

ABSTRACT

For efficient deburring of burrs that form inside mechanical parts after drilling, new special deburring tool was developed specifically for the burr found at intersecting holes. In this paper, the process for finding ideal cutting conditions has been carried out to identify the efficient performance of deburring using a new tool. The burrs at the entrance and exit surface were analyzed for efficient removal. The surface roughness after deburring was also reviewed for better performance. In addition, the influence of the feed rate on deburring quality was analyzed for improved productivity. Through this process, a new deburring tool can be applied effectively to remove burrs formed at intersecting holes.

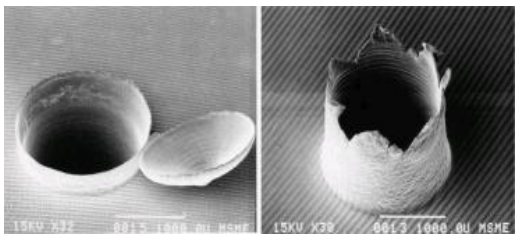
Key Words : Burr(버), Deburring(디버링), Intersection Hole(교차구멍)

1. 서 론

버란 절삭가공 시 소성변형에 의해 가공 부위의 모서리에 발생하여 정밀도에 영향을 주는 돌출된 부위를 말하며, 칩은 버가 탈락되어 떨어져 나간 이물질을 말한다. 만약 기계 부품에 발생한 버를 초기에 제거하지 않는다면, 가공과 세척과정을 모두 마친 완성제품 내부에서 버가 탈락되고 칩으로 변하여 부품 사이를 유동하게 된다. 그럼으로써 부품 내부에 스크래치와 칩끼임 현상과 같은 여러 가지 문제를 일으켜 결국, 부품의 파손을 가져올 것이다. 이것은 제품의 수명뿐만 아니라 성능에도 중대한 문제를 일으키기 때문에 기업에서도 이러한 버와 칩을 어떻게 처리하고 제거할지에 대해 많은 연구를 수행해 오고 있다. 특별히 절삭가공성능은 주로 가공후 표면조도 향상과 버형성 최소화로 이루어진다. 이 중에서 기공 후 표면조도 향상을 통한 정밀도 연구가 진행되었으며[1,2,3]또한 가공 후 버형성이나 출구부의 크랙발생에 의한 품질저하에 관한 연구들이 진행되었다.[4,5]

일반적으로 드릴링 시 버가 생성되는 형태는 드릴의 형상이나 피삭재의 물성치, 이송속도나 절삭속도와 같은 다양한 조건들에 의해 영향을 받는다. 버 형성 메카니즘을 파악하기 위해 Kim 등은 Fig.1과 같이 드릴버를 버의 높이가 작고 일정한 Uniform Burr와 버의 높이가 크고 불규칙한 Crown

Corresponding Author : slko@konkuk.ac.kr
Tel: +82-10-2265-9676, Fax: +82-02-447-5886



(a) Uniform Burr (b) Crown Burr

Fig. 1 Classification of burrs[7]

Burr로 분류하였다.[6]

또한 Min 등은 FEM을 이용하여 버 형성 메카니즘을 설명하였다. 여기서 Uniform Burr는 버가 발생하는 초기 위치에서의 층의 두께가 얇으면 생성이 되고 Crown Burr는 이와 반대로 두꺼우면 생성이 된다[7].

드릴 가공 시 많은 경우 부품의 내부에서 가공구멍들이 교차하게 되며 특별히 교차구멍에서의 버가 심각하게 된다. 이러한 교차구멍에 발생한 버를 위한 디버링 방법으로는 워터젯 가공, 전해 가공,샌드 블라스팅 가공, CNC머시닝 센터를 이용하는 방법 등이 있다.[8][9] CNC머시닝 센터를 이용한 디버링 방법을 제외하고 각 디버링 방법들은 깨끗한 표면을 얻을 수 있고 피삭재의 변형이 거의 없게 미소버를 제거하는데 효과적이지만, 고가의 전용장비를 사용하기 때문에 장비를 구입하기 위한고액의 자본이 필요하며 장비 유지비도 그만큼 많이 든다. 또한 후처리 가공이 반드시 필요하므로 이를 위한 추가 공정을 마련하여야 한다. 반면에CNC머시닝 센터를 이용한 디버링 방법은 기존에 사용하고 있는 장비를 활용하기 때문에 비용절감효과가 있고 디버링 작업의 위치 조절이 가능하여 어느 위치에서든지 버 제거가 가능한 능동적인 작업을 할 수 있다.

교차구멍에 발생한 버의 효율적인 제거를 위하여 사전 연구의 결과로 머시닝센터용 디버링 공구가 개발되었다.[10,11] 새로운 교차구멍 버제거용 공구는기존의 공구에 비하여 경사진 출구면에서의 디버링 성능이 월등하다.[12]

본 논문에서는 새롭게 개발된 교차구멍용 디버링공구를 효율적으로 사용하기 위한 최적 디버링 공정을 찾고자 한다. 또한 생산성 향상을 위하여 출구면과 입구면에서 동일한 디버링 성능을 나타내면서 구멍내면의 표면조도 향상을 고려한 최적의 이송속도와 공구회전속도 결정을 위한 방법이 제시되어 있다.

2. 디버링 실험 및 결과

2.1. 디버링툴의 형상 및 실험조건

기존의 Burr away tool, Burr off tool, Guhring tool은 툴팁의 절삭날이 한쪽 방향으로 제작되어 시계방향 회전만 가능하다. 평면 디버링은 툴 진입 방향과 피삭재의 모서리부가 직각으로 이루어져 있어한방향 디버링으로 인하여 편심된 챔퍼면이 생성되지 않지만, 경사면과 교차면의 경우는 툴 진입 방향과 피삭재의 모서리부가 직각이 아닌 경사로 이루어져 있어 편심된 챔퍼면이 생성된다. 이번 연구에서 새로 개발하여 실험에 적용한 Fig.2의 형상인 디버링툴은 툴팁의 각 모서리부에 절삭날이 모두 존재하여 양방향 회전이 가능하다는 특징이 있다.이는 평면, 경사면, 교차면 디버링 시 편심된 챔퍼면의 형성을 방지할 수 있다.

실험에 사용 된 디버링 툴의 구조와 세부 사이즈는 Fig.2와 Table 1에 나타나 있다. Table 1에 나타낸 세부 사이즈는 디버링 효율에 실질적으로 영향을 미치는 인자들로 L1, D1, Dmax, Stiffness는 절삭력과 관련되고 $\alpha 1$과 $\alpha 2$는 챔퍼의 각도와 크기에관련되어 있다. 각 설계요소들의 디버링 성능에 미치는 영향을 사전 연구에서 이루어졌다.[11]

대부분의 기계 부품에서 버 제거가 필요한 드릴버는 구멍이 부품 내부에서 서로 교차할 때에 발생한다. 이 때 두 구멍이 만나는 교차면의 위치에 따라 수많은 경사면으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 교차면을 요약하여 경사각이 15°, 30°, 45° 경사면을 대상으로 디버링 공정을 수행하였다. Fig. 3은 실험에 사용되는 시편의 형상이다.

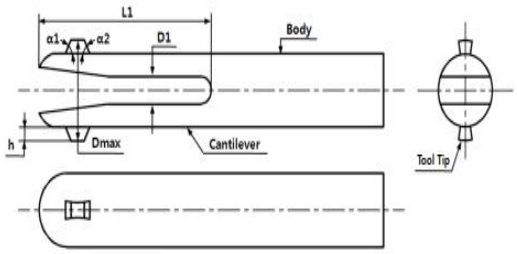


Fig. 2 Design of New Deburring Tool

Table 1 Design Specification of Deburring Tool

Tool number	L1 (mm)	D1 (mm)	Dmax (mm)	α 1 / α 2	Stiffness (N)
Tool1	85	2.5	10.43	70°/ 65°	16.5

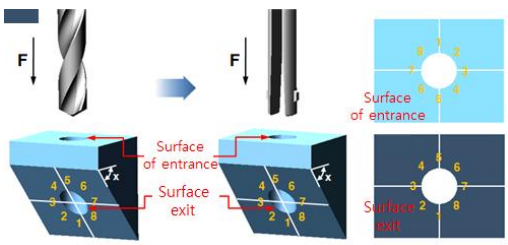


Fig. 3 Experimental set up for drilling and deburring process and the burr measurement location along the periphery

Table 2 Cutting conditions for deburring

Drill	SSD Drill
Workpiece Material	AL6061
Hole Size (mm)	∅9
Feed Rate of deburring tool (mm/min)	30
Spindle speed of deburring tool (RPM)	700
Inclination Angle (°)	15°, 30°, 45°
Coolant	Wet

툴의 출구경사각을 x로 나타내었으며 입구면과 출구면에서의 버 측정 위치를 숫자 1-8까지 나타내었으며 이에 사용된 실험조건은 Table 2에 나타나 있다.

2.2 버의 종류에 따른 특징

드릴 작업 시 발생하는 버는 발생되는 위치에 따라 입구버와 출구버로 나눌 수 있다. 입구버는 드릴이 피삭재에 진입할 때 발생하는 것으로 드릴 의모서리부에 의해 구멍 주위에 생기는 작은 쐐기형의 버를 말하며, 출구버는 드릴이 피삭재의 구멍을통과하기 직전에 피삭재의 남은 부분을 밀고 나감으로써 발생하는 버이다. 이 중에서 제품의 성능에큰 영향을 미치는 버는 출구버로써 출구버는 다시출구면의 형상에 따라 평면 출구버, 경사면 출구버, 교차면 출구버로 나눌 수 있다. 평면 출구버는 출구각이˚0인 것을 말하며 대부분 버의 크기가 작고, 구멍 주위에 균일한 버를 형성하기 때문에 버제거가 쉽다. 그 반면에 경사면 출구버는 출구각이 0°∽90° 로 3개의 출구버 중에서 가장 큰 버를 형성하며 버 제거를 위한 접근성이 좋지 않아 디버링에 큰 어려움이 있다. 마지막으로 교차면 출구버는 자동차에 흔히 쓰이는 유압부품이나 엔진 블록과 같은 부품의 내부 구멍을 만들 때 발생하는 것으로 출구각은 0°∽90° 이며 경사면 출구버와 마찬가지로 큰 버가 형성될 뿐만 아니라 형상이 불규칙적이고 접근성이 어려워 버 제거 작업에 어려움이 따른다. 이러한 입구버와 출구버가 제거되지 않고 자동차 부품들의 구멍 주위에 발생하여 허용공차를 벗어나면 조립하는 공정에서 조립이 불가능한 경우가 생기며, 허용공차 내에 있다고 하더라도 접촉면에 손상을 가져와 여러 가지 문제를 일으킬 여지를 남기게 된다.

2.3 디버링 공정 변화에 따른 실험

드릴 공정과 디버링 공정 후의 버높이를 비교하기 위해 15°, 30°, 45°의 경사면 시편에 드릴 공정을 하였을 때 출구면에 발생하는 버의 높이를 측정하였다. 이것은 비접촉식 레이저 측정 장비를[13]이용하였으며 드릴링 시 형성되는 버는 출구 경사각,

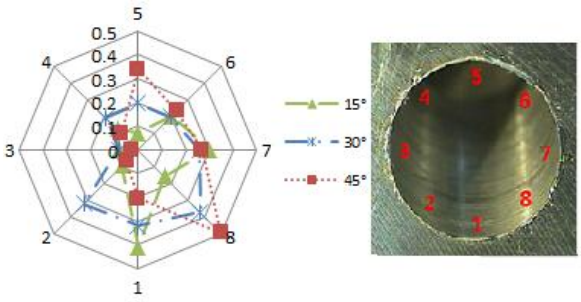


Fig. 4 The height of the burrs formed on the exit surface with different exit angles, 15°, 30°, 45°, and the burr measurement location along the periphery of the hole

접촉각, 회전속도, 이송속도 등의 여러 요인에 의해 Fig. 4와 같이 5, 6, 7, 8, 1 구간에 편중 발생하게 된다.[14]

디버공정방법에 따라 출구면의 챔퍼 형상이 어떻게 변하는지 알아보기 위해 경사각 15° 시편에서 Table 1에 제시된 디버링툴을 사용하여 공정을 변경해가며 실험을 하였다.

Fig. 5는 구멍가공 후, 디버링 공구가 1회 진입과 후퇴 시 회전방향을 나타내며 각 경우에 디버링 전의 출구부 구멍의 각 위치에서의 버의 높이와 디버링 후의 버의 높이를 측정하여 비교하였다. Fig. 5의 a와 b는 진입 시 회전이 없고 후퇴 시 시계/반시계방향으로 각각 회전하며 버제거가 이루어진 것이고 반면 c와 d는 후퇴 시 회전이 없고 진입 시 시계/반시계 방향으로 각각 회전하며 버 제거가 이루어진 결과를 나타낸다.

Fig. 5의(a), (c)와 (b), (d)를 비교해보면 (a), (c)는 진입과 후퇴 시 시계방향으로만 회전하여 Fig. 4에 나타난 출구부의 위치 8, 1, 2, 3, 4번 부위에서 디버링이 이루어지고, 반면에 (b), (d)는 반시계방향으로만 회전하여 6, 7, 8, 1, 2번 부위에서 디버링이 이루어졌다. 이는 절삭이 이루어지는 디버링공구의 인선이시편의 외부에서 내부로 진입할 때 디버링이 이루어짐을 의미하며, 또한 경사면 디버링에서 디버링툴의 회전 방향에 따라 디버링이 이루어지는 부위가 다르기 때문에 반드시 양방향 디버링을 하여야함을 나타낸다.

Fig. 5의 (a), (b)와 (c), (d)를 비교해보면 (a), (b)

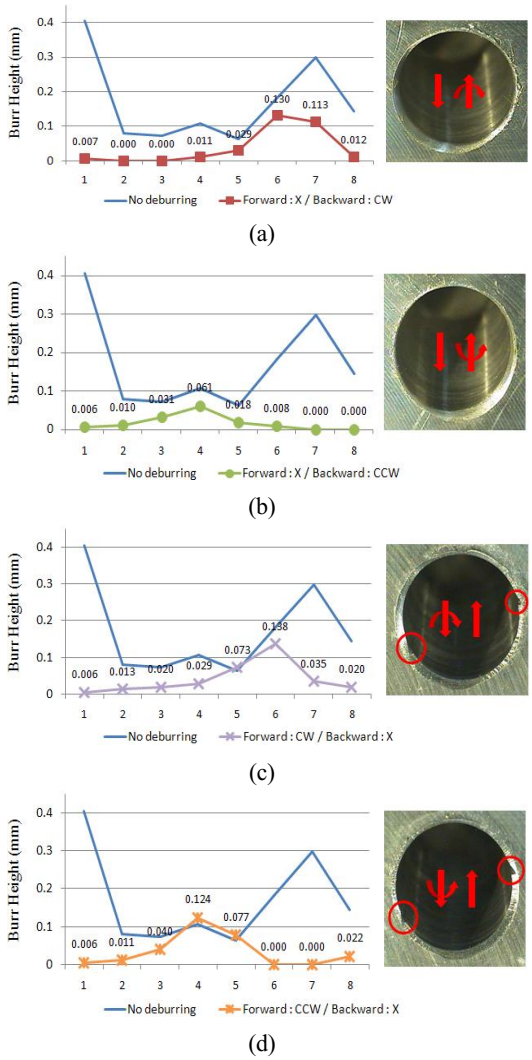


Fig. 5 Deburring result for the burr on exit surface with 15° exit angle when deburring tool rotates only one direction during entering or returning

는 디버링툴이 후퇴 시에만 디버링이 이루어지고 (c),(d)는 진입 시에만 디버링이 이루어진다. 그래프와사진을 보면 진입 시 디버링을 하는 것보다 후퇴 시 디버링을 하는 것이 버 제거에 비교적 더 좋은효과를 나타냄을 알 수 있다. 그 이유는 첫째로 디버링툴이 피삭재 외부에서 안쪽으로 수축하

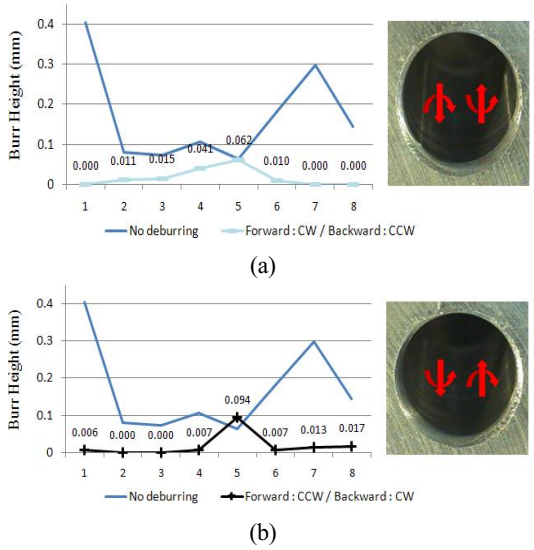


Fig. 6 Deburring result for the burr on the exit surface with 15° exit angle when deburring tool rotates only one direction during entering and returning

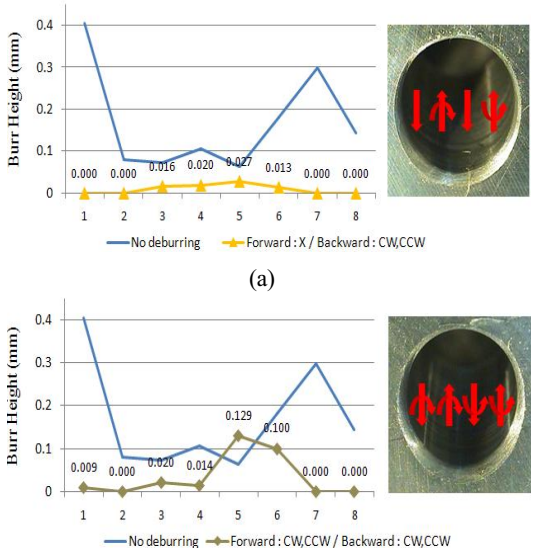


Fig.7 Deburring result for the burr on the exit surface with 15° exit angle when deburring tool rotates both directions during two times of entering and returning

며 디버링 하는 것이 공구가 드릴홀 모서리의 버에 미치는절삭력을 더 크게 하여 디버링 효율을 좋게 만들기때문이고, 두 번째로 디버링툴의 툴팁이 드릴홀 모서리의 버를 후퇴 시 압박하며 디버링함으로써 진입 시 디버링보다 밀림버의 생성을 방지하는데 도움을 주기 때문이다. 또한 진입 시에만 디버링을 하면 Fig. 5의 (c), (d)의 사진에 나와 있듯이 퇴출 시흠집이 발생한다. 이것은 후퇴 시 직선으로 이동하여 후퇴 시에 디버링 공구의 날이 피삭재와 부딪히는 흠집이 남아 있는 것이다. 따라서 출구면에 흠집의 발생을 방지하기 위해서도 반드시 후퇴 시 디버링이 이루어져야 한다.

Fig. 6는 Fig. 5의 결과를 참고하여 진입/후퇴 시 각각의 회전 방향을 달리한 디버링 공정을 수행한 결과이다. Fig. 6의 (a)는 진입 시 시계방향으로 후퇴시에는 반시계방향으로 회전할 때의 디버링 전과 후의 버의 높이를 나타내고 있으며, (b)는 진입 시 반시계방향으로 후퇴 시 시계방행으로 회전하는 경우이다.

Fig. 6(a), (b) 둘 다 전체적으로 좋은 디버링 결과를 보이나 위치 5에서는 디버링이 원활하지 않음을 알 수 있다. (a)는 6, 7, 8, 1번 부위에서, (b)는 1, 2, 3, 4번 부위에서 나머지 부위보다 버 높이가 낮고, 챔퍼면이 더 매끄럽게 생성된다. 이는 진입/후퇴 시 디버링이 피삭재 모서리부에 미치는 힘이 각각 다르기 때문이고 결과적으로 편심된 챔퍼면을 생성한다.

편심 된 챔퍼면의 생성을 방지하기 위해 Fig.7과 같이 총 2번의 진입/후퇴 과정을 반복하여 양방향 디버링 실험을 수행하였다. (a)의 경우에는 진입시에는 회전 없이 후퇴 시에 두 번에 걸쳐서 양방향으로 회전한 결과 가장 좋은 디버링 결과를 얻을 수 있었다. 이에 비하여 (b)의 경우는 진입과 후퇴 시 모든 경우에 양방향 회전함으로써 진입 시에도 후퇴 시에도 디버링을 시도한 결과 오히려 (a)의 경우와 같이 후퇴 시에만 회전하는 경우보다 디버링 결과가 좋지 않음을 알 수 있다. Fig.7의 (a), (b)를

디버링 효율면에서 비교해보면 버의 높이가 (b)보다 (a)가 더 낮을 뿐만 아니라 (a)는 드릴 구멍에 무회전으로 진입 시 이송속도를 실험 조건인 30mm/min보다 훨씬 더 높게 할 수 있기 때문에 (b)보다 더 빠른 가공이 가능하다. 따라서 생상성의 측면에서 (b)보다 (a)가 더 뛰어나다고 할 수 있다.

일련의 실험을 통하여 출구부의 버제거를 위하여Fig.2의 디버링 공구의 날부에 의해서 디버링이 이루어지는데, 이 때 Fig.5로부터 한 방향 회전에 의해서 출구 경사각이 있는 출구면에서의 균일한 버제거가 어려움을 알 수 있었고, Fig.6과 7로부터 후퇴 시에 양방향 회전에 의한 디버링이 가장 효율적임을 알 수 있었다.

3. 디버링 공정 속도 향상을 위한 방안

가공물의 가공품질은 공구의 1날당 이송량과 밀접한 관계를 가지고 있다. 대부분의 경우, 절삭실험을 통하여 최적의 날당 이송량을 구한다. 기존 실험에서 최고의 성능을 보여준 실험 조건으로 1날당이송량을 구한 후, 이 값을 유지한 채 이송속도(feed rate)와 주축 회전속도(spindle speed)를 증가시키면 더 빠른 공정속도를 얻을 수 있을 것이고, 이것은 결국 생산성의 향상을 일으킬 것이다. 지금까지의 최적 디버링 실험 조건인 이송속도, 30mm/min과, 주축 회전속도(spindle speed) 700rpm 그리고 날수(N) 2를 적용하면 1날당 이송량은 0.0214mm/tooth 가 나온다. 이러한 1날당 이송량을 유지한 채 Table 3과 같이 총 8가지 경우로 나누어 이송속도와 주축회전속도를 변화시켰고, 앞에서 사용한 동일한 형상의 디버링 공구를 사용하여 Fig. 7(a)와 같이 디버링 시 후퇴 시에만 2회에 걸쳐 양방향으로 회전하는 디버링 방법으로 실험을 수행하였다. 본 실험의 신뢰성을 확보하기 위하여 각 경우 3회 이상의 실험을 실시하였으며 각 경우의 일반적인 공통 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

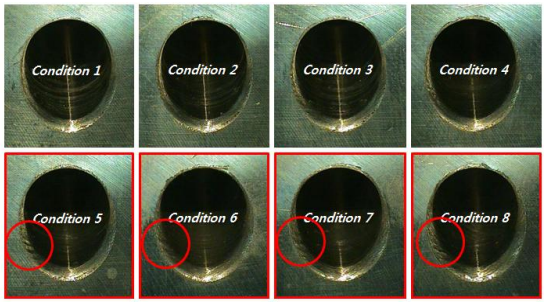


Fig. 8 Deburring result for the burr on exit surface with 15° exit angle with different feed rate and ame feed per tooth

Fig. 9 Deburring result for the burr on entrance surface with different feed rate and same feed per tooth

3.1. 출구면에서의 디버링 측정 결과

Fig. 8을 보면 Condition 1 ~ 4 까지는 챔퍼면과 디버링 효율에 문제가 없었으나 Condition 5 ~ 8은 챔퍼면에 굴곡이 형성되고 디버링 효율도 떨어지는 결과를 가져왔다. 이것은 주축회전속도가 빨라짐으로써 절삭날이 드릴구멍 모서리에 접촉 시 발생하는 충격량이 커지기 때문이다. 따라서 공정 조건을 변경하여 출구면 디버링의 공정속도 향상을 어느 정도 꾀할 수 있지만 너무 빠른 주축회전속도는 디버링 효율을 떨어뜨리는 문제를 야기 시킨다.

3.2. 입구면에서의 디버링 측정 결과

1날당 이송량(0.0214 mm/tooth)을 유지한 채, Table 3과 같은 가공조건으로 입구면 디버링을 실시하였다. Fig. 9를 보면 Condition 1 ~2 까지는

Table 3 Cutting conditions with increasing feed rate and same feed per tooth

	Feed rate	Spindle speed
Condition 1	30	700
Condition 2	50	1167
Condition 3	70	1633
Condition 4	90	2100
Condition 5	110	2569
Condition 6	130	3033
Condition 7	150	3500
Condition 8	170	3966

챔퍼면과 디버링 효율에 문제가 없었으나 Condition 3 ∽8은 챔퍼면의 형상이 매끄러운 것이 아니라 불규칙적으로 형성되어 상당히 거친 면들이 발생하였다. 또한 디버링 효율은 효과가 거의 없는 것과 마찬가지인 결과를 초래했다. 이것은 드릴구멍 모서리에 발생하는 충격량의 증가와 더불어 Fig. 7(a) 의 디버링 방법의 사용으로 이송속도가 빨라질수록 버를 제거하는 것이 아닌 밀림 버의 형성을 야기시키기 때문이다. 따라서 입구면의 디버링에서는 공정 조건을 거의 변경할 수 없는 결과를 보인다.

3.3. 표면거칠기 측정 결과

1날당 이송량(0.0214 mm/tooth)을 유지한 채 실시한 디버링실험에서 표면거칠기 실험은 Fig.10에서 디버링을하지 않았을 때와 비교하면 상당한 개선 효과를 보이지만 Condition 1∽8 까지 점진적으로 표면거칠기가 거칠어짐을 알 수 있다. 이론적으로 표면거칠기는 절삭속도가 증가할수록, 이송속도가 줄어들수록 좋아진다.

이러한 이론적 배경을 바탕으로 Fig.10을 분석하면 주축회전속도보다 이송속도가 표면거칠기에 더 많은 영향을 주는 인자인 것을 알 수 있다. 따라서 표면거칠기의 향상을 위해서 이송속도를 낮추는 것이 좋지만, 생산성의 향상을 위해 이송속도를 높여도 전체적인 표면거칠기는 드릴링 후의 조도보다 더 좋다고 할 수 있다.

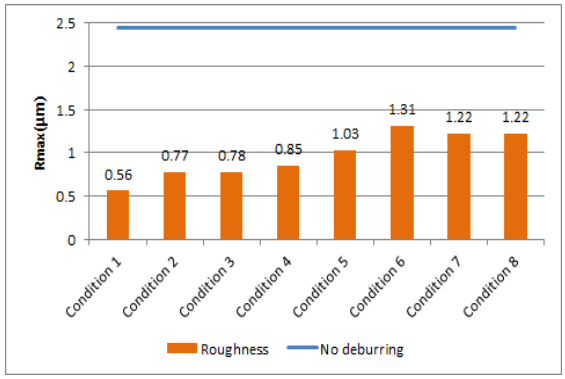


Fig. 10 Surface roughness as a deburring result with different feed rate and same feed per tooth

이상의 실험 결과로부터 디버링 공정은 출구면과 입구면 그리고 드릴구멍 내부의 표면거칠기를 보고 효율성을 판단할 수 있다. 앞의 실험에서 공정 속도 향상을 위해 1날당 이송량을 구하고 그에 따른 이송속도와 주축회전속도를 변화시켜 각 요소별 결 과를 나타내었다.

생산성을 고려할 때 출구면 버제거를 위한 조건으로는 Condition 4이고 입구면 버제거를 위해서는 Condition 2가 최적조건으로 추천된다. 그리고 구멍부의 표면조도를 고려하면 Condition 1이 가장 우수한 결과를 보였다. 이상의 결과로부터 Condition 2를 택하면 출구면과 입구면 버제거가 원활하고 구멍의 표면조도도 우수하게 유지할 수 있게 된다. 본 연구에서는 주어진 특수한 조건에 한하여 진행 되었지만 일반적인 조건에서 최적 디버링 조건을 찾기 위한 접근방법을 제시하였다.

4. 결론

위에서의 디버링 실험 결과를 토대로 경사면에서의 디버링 공정 시 가장 효과적인 디버링 공정과 가공 조건을 다음과 같이 제시할 수 있다.

새롭게 개발된 디버링 공구를 사용한 디버링 공정은 생산성의 향상과 효과적인 버 제거를 위해 본 논문에서 적용한 조건 내에서 디버링 공구가 피삭재에 진입 시에는 무회전, 후퇴 시에는 양방향 회전으로 2회 디버링을 추천한다.

초기에 효율적인 디버링 공정 조건을 구하기 위하여, 초기에는 이송속도가 30mm/min, 주축 회전속도는 700rpm을 실험적으로 효율적인 조건으로 사용하였다. 생산성을 향상시키기 위해 동일한 날당 이송량을 유지하면서 이송속도와 주축회전속도를 증가시키면서 입구면과 출구면의 안정적인 버제거와 구멍의 표면조도를 증가시킬 수 있는 가공조건을 정할 수 있다. 이러한 방법으로 일반적으로 최적의 디버링 조건을 찾을 수 있다.

후기

“이 논문은 2014년 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Shin, K. S., “Effect of Surface Roughness on Cutting Conditions in CNC lathe C-Axis Milling Arc Cutting,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 99~105, 2014.
2. Noh, Y. H., “A Study on Surface Roughness of Aluminum 7075 to Nose Radius and Cooling Method in CNC Lathe Machining,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 85~91, 2015.
3. Chun, S. H., “Effects of cutting condition on surface roughness in the spiral up milling of aluminum alloy,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 83~90, 2014.
4. Lee, Y. C., Shin, G. H., and Kwak, T. S., “Deburring Technology of Vacuum Plate for MLCC Lamination Using Magnetic Abrasive Polishing and ELID Process,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 149~154, 2015.
5. Li, H., Ko, T. J., and Baek, D. K., “A Study on Preventing Cracks at the Small Hole Exit in Ultrasonic Machining Using a Wax Coating,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 105~111, 2015.
6. Kim, J., Min, S., and Dornfeld, D. A., "Optimization and control of drilling burr formation of AISI 304L and AISI4118 based on drilling burr control charts," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 41, No. 7, pp. 923-936, 2001.
7. Min, S., and Dornfeld, D. A., Kim, J., and Shyu, B., "Finite element modeling of burr formation in metal cutting," Machining science and technology, Vol. 5, No. 3, pp. 307-322, 2001.
8. Jeong, Y. H., HanYoo, B., Lee, H. U., Min, B. K., Cho, D. W., and Lee, S. J., "Deburring microfeatures using micro-EDM," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, No. 14, pp. 5399∽5406, 2009.
9. Lee, S. H., and Dornfeld, D. A., "Precision laser Deburring," Jounal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 123, No. 4, pp. 601~608, 2001.
10. Lee, K. U., and Ko, S. L., ."Development of Deburring Tool for Burrs at Intersecting Holes," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 454-459, 2008.
11. Park, H. Y., “Development of Deburring tool for the improvement of the cleanability of mechanical part,” A Thesis of Master’s degree, Konkuk Univeristy, Republic of Korea, 2010.
12. Ton, T. P., Park, H. Y., and Ko, S. L., “Experiment alanalysis of deburring process on inclined exit surface by new deburring tool,” CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 60, No. 1, pp. 129-132, 2011.
13. Ko, S. L., "Measurement and Effective Deburring for the Micro Burrs in Piercing Operation," International Journal of Korean Society of Precision Engineering and

manufacturing, Vol. 1, No. 1, pp. 152∽159, 2000.

14. Min, S., and Dornfeld, D. A., and Nakao, Y."Influence of exit surface angle on drilling burr formation," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 125, No. 4, pp. 637~644, 2003.