고압 분사 홀더를 이용한 절삭가공에 대한 실험적 연구

정상완⁺, 정인국⁺, 이종섭⁺⁺, 송철기⁺⁺⁺, 서정세^{*}

(Manuscript received: Sep, 6, 2011 / Revised: Jun, 8, 2012 / Accepted: Aug, 6, 2012)

An Experimental Study on Cutting Process using High Pressure Injection Holder

Sang Wan Chung⁺, In Guk Jeong⁺, Chung Seob Yi⁺⁺, Chul Ki Song⁺⁺⁺, Jeong Se Suh^{*}

Abstract

Chip curling occurred during cutting process for difficult-to-cut material detracts product qualities and productivity. Among of method preventing the phenomenon, high pressure injecting cutting oil is an alternative. In this study, the optimal nozzle was designed by CFD method and it was conducted to analyse on the effect of high pressure injection on chip shape generated during cutting process and wear of insert by experimental method. As the result, it could be confirmed that high pressure injection is favorable for preventing chip curling and insert from wearing.

Key Words : HP holder(고압홀더), Chip hurling(칩 말림), Cutting process(절삭가공), Wear(마멸)

1. 서론

최근 세계적인 무역경쟁으로 생산성 향상과 원가절감이 산업계의 화두로 등장함에 따라 금속가공분야에서도 다각도로 노력하고 있는 실정이다. 가공속도는 생산성 향상에 크게 영향을 미치는 인자로 전체 생산 공정에서 절삭가공이 차지하는 비율이 높게 차지하고 하고 있다.

현재 절삭기계는 산업의 광범위한 분야에서 제품 가공공정에서 제품품질을 결정하는 중요한 공작기계이다. 특히, 자동차나 전기·전자제품의 각종 부품에서 정보화 시대에 요구되는 정보통신기기, 광통신부품, 우주항공 및 군사 분야 등에 쓰이는 정밀광학부품에 이르기까지 절삭가공이 적용되어 제품의 품질을 좌우하고 있다.

보통 항공기 엔진부품에 사용되는 일반적인 소재는 인코넬

강, STS410 등 니켈 합금강이 주로 사용되고 있어 이는 가공열 변형이 심한 재질이며, 내인성 소재로서 가공이 어려운 난가공재 중의 하나이다. 따라서 부품을 가공할 때 칩 블로킹 현상이 발생하기 때문에 가공시간을 길게 할 경우 가공의 정도를 악화시키는 요인으로 작용하기 때문에 생산성 저하로 연결된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 기술이 절실히 필요한 현실이다^(1,2).

특히, 항공기 부품 가공의 주요 생산라인인 수직선반을 이용한 항공기 엔진부품의 가공 시 가장 취약하며 생산성을 증대시킬 수 있는 공정 요소로서 선삭시 발생하는 칩에 대한 적절한 대처가 중요한 요소로 작용하고 있다. 인성이 강한 재질의 경우 칩 발생이 연속형이며, 높은 전단변형률로 인해 변형 경화되어 제품에 손상을 초래하게 된다.

절삭가공이 이루어질 때 마찰에 의해 칩 표면의 온도가 증가

⁺ 경상대학교 대학원

⁺⁺ 경상대학교 BK21(첨단기계항공)

⁺⁺⁺ 경상대학교 기계공학부

^{*} 교신저자, 경상대학교 기계공학부, 공학연구원(ERI) (jssuh@gnu.ac.kr)

주소: 경상남도 진주시 가좌동 진주대로 501

Fig. 1 Phenomenon of chip curling

하게 되는데 이때 제트노즐에 의한 집중적으로 냉각시킬 경우 급랭으로 인해 칩의 취성을 극대화시켜 분사압력에 의한 칩이 절단될 수 있는 조건이 중요하다.

항공기 부품 가공에서 사용되는 주로 인코넬 강과 STS410 등 니켈과 크롬이 다량 함유된 난삭재로서, 내인성 재질의 특성인 긴 칩의 배출과 이로 인한 작업 중의 불필요한 칩 제거작업이 동반된다.

NC 작업시 불필요한 일시정지 또는 칩에 의한 제품 표면조도 확보 실패, 공구의 급속마멸 등 상당부분의 공정불안 요인이 있으며, 이와 함께 열에 의한 변형이 제품의 가공 정밀도에 여러 등이 당면한 문제로 지적되고 있다. 특히, Fig. 1과 같이 인성이 큰 재질일 경우 칩 말림 현상이 발생하여 작업자가 도중에 지속적으로 칩을 제거해야 되는 번거로움이 발생하고 있다.

일반적으로 칩 브레이커(chip braker)를 사용하여 연속칩을 방지하는 것이 일반적이나 현재 작업현장에서 연속칩 제거에 대한 해결방안이 없기 때문에, 이로 인한 작업시간이 상대적으로 길어지게 되어 작업현장에서는 생산성 향상에 큰 걸림돌이 되고 있는 실정이다. 실제 작업현장에서는 연속칩을 제거하는 방법으로 막대 끝에 ‘ㄱ’가 갈고리를 제작하여 작업자가 수시로 걷어내는 방법을 사용하고 있었다. 이러한 경우 작업자가 가공이 끝날 때 까지 반복된 작업을 수행해야 되며, 연속칩을 걷어낼 때 제품에 손상을 초래할 수 있고, 작업자 또한 안전사고를 당할 수 있는 위험에 놓여 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 고압 분사 홀더를 적용하여 실제 현장에서 적용가능한지 검토하고자 한다.

2. 기술개발 문제설정

2.1 기술개발 대상

본 연구의 발단은 칩 블로킹을 해소할 수 있는 대표적인 방법

Fig. 2 Concept of chip cutting by using injection nozzle

인 고압분사홀더를 Fig. 2(b)와 같은 개념으로 칩과 인서트 사이에 고압절삭유를 분사하여 칩을 상면으로 밀어냄으로써 칩 말림현상을 해소하기 위해 고압분사홀더의 핵심부품인 노즐에 대한 연구를 통해 칩 제거에 가장 유리한 노즐을 설계하고, 이를 적용한 고압홀더로 다양한 조건의 칩을 제거할 수 있는지 유한요소해석을 이용하여 예측한 결과 충분히 칩을 제거할 수 있는 것으로 선행연구를 통해 확인하였다⁽⁶⁾.

2.2 기술개발 접근방법

본 연구에서 기술개발에 대한 범위와 접근방법은 생산현장에서 발생하는 불량원인을 파악한 결과 Inconel alloy계열에 대한 선삭공정시 칩의 배출이 원활하지 않아 공구와 제품 사이에 끼이는 경우가 발생하였다. 또한 공구가 밀리면서 파손되어 그루브 내에 원주방향으로 0.15mm 정도 오버커팅이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Fig. 2와 같은 칩 절단 개념을 도입하여 고압홀더 개발에 대한 접근방법을 채택하였다. 특히, 항공기 엔진에 사용되는 부품에 대한 가공소재의 경우 국내에서 생산되지 않고 전량 수입되어 원청업체에서 사급될 경우 불량으로 인한 비용 손실이 발생하게 된다. 또한 소재확보에 어려움이 많이 따르며, 납기일을 맞추지 못해 발생하는 막대한 손실을 초래하게 된다.

고압분사홀더를 사용하여 고속의 절삭유가 인서트 상면과 칩의 하면 사이에 ‘절삭유압 웨지’ 효과를 발생시켜 칩과 인서트의 접촉영역을 냉각시키는 작용을 하고, 칩을 인서트 상면에서 밀어내고 인서트 상면영역에서의 마모를 감소시켜 칩이 작은 조각으로 절단되는 작용을 도우며 칩을 절삭 영역에서 제거하는 장점이 있다. 특히, 난삭재의 황삭 가공시 기존의 일반 절삭유 공급 방식에 비해서 절삭 속도를 높일 수 있을 것으로 기대된다. 이외에 칩이 공구 주변에 감겨 공구교환을 방해하는 경우를 미연에 방지하는 효과가 있다.

물론, 고압분사에 의한 절삭유 의 비산으로 인해 작업장의 환경오염이 불가피한 상황이 초래되나 이는 오일미스트 집진기를 설치할 통해 해결할 수 있는 문제이다. 따라서 본 연구는 실제 실험을 통해 칩을 제거할 수 있는지에 대한 검증차원에서 연구를 수행하고자 한다.

3. 고압홀더 시스템

본 연구에 적용되는 고압홀더의 구조는 Fig. 3과 같은 형태를 가지고 있으며, 분사노즐은 조립식으로 설계하여 기존 홀더 형태의 변형을 최소화 하였다. 또한 가공상의 어려움으로 절삭유 통로가 유동특성에 의한 유로로 설계되지 못하고 드릴링을 통한 직선형태의 유로를 가지고 있다.

Fig. 4는 본 연구에 적용되는 고압홀더 시스템인 수직선반은 HNK사의 NT-12/16F를 사용하였고, 고압펌프는 최대 500 bar까지 압력을 생성할 수 있도록 제작하여 수직선반과 연결하

Fig. 3 Nozzle in HP holder and setting up the design parameters

Fig. 4 HP holder system

여 홀더에 고압의 절삭유를 공급할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

4. 칩 커팅 실험결과 및 분석

4.1 절삭유 공급압력에 따른 칩의 형태

절삭유의 공급압력에 따라 발생하는 칩의 형태를 비교하기 위하여 이송(feed)과 절입깊이(depth)의 조건을 동일하게 한 후 (feed: 0.15mm/rev, depth: 0.25mm) 절삭유 공급압력이 10bar 일 때와 300bar 일 때 각 피삭재 소재에 따라 가공시 발생하는 칩의 형태를 비교 분석하였다. Fig. 5의 (a)는 기존 절삭유 공급 방식인 저압(10bar)공급일 경우의 가공모습이며, (b)는 고압(300bar)으로 절삭유가 분사될 경우의 가공 모습을 나타내고 있다.

Table 1에서는 실험에 사용된 두 종류의 피삭재(SM45C, INCONEL718)의 기계적 성질을 나타내고 있으며, Table 2는 가공조건을 나타낸 것이다. 가공에 사용된 인서트는 피삭재의 재질이 SM45C인 경우는 미국 K사의 KC9110를 사용하였고, INCONEL718인 경우는 동사의 KC5010를 사용하였다.

Fig. 5 Picture of cutting process according to supplying types of cutting oil

Table 1 Comparison of two types of workpiece

	SM45C	INCONEL 718
Ultimate Tensile Strength	675 [MPa]	1,240 [MPa]
Yield Strength(0.2% offset)	450 [MPa]	1,036 [MPa]
Elongation in 50mm	24 [%]	12 [%]
Elastic Modulus(Tension)	205 [GPa]	211 [GPa]

Table 2 Conditions of machining process

Cutting Speed	80 [m/min]
Feed	0.15, 0.25 [mm/rev]
Depth	0.25, 0.5 [mm]
Workpiece	inner diameter: 550 [mm] outer diameter: 700 [mm]

Fig. 6 Chip cutting shape according to input pressure (feed: 0.15 mm, depth: 0.25mm)

Fig. 6은 절삭유 공급압력에 따라 발생하는 칩의 형태를 나타낸 것이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 절삭유의 공급압력이 높아 고압으로 절삭유가 분사될 경우 발생하는 칩의 길이가 저압으로 공급될 때 보다 훨씬 짧은 것을 확인 할 수 있었다. 특히 극한 인장강도가 상대적으로 낮은 SM45C의 경우 INCONEL718에 비하여 발생하는 칩의 길이가 더 짧은 것을 확인할 수 있었다. 또한 저압에서 INCONEL718에 비하여 SM45C 소재의 칩의 형태가 불규칙한 특징을 보였다. 이는 SM45C의 경우 항복강도가 낮아서 칩 발생시 주위에서 작용하는 여러 가지 힘에 의해 쉽게 변형이 일어나기 때문인 것으로 판단된다. 반면 항복강도가 높은 INCONEL718의 경우 변형이 쉽게 일어나지 않아 비교적 규칙적인 형태로 칩이 발생하는 것을 알 수 있다.

절삭유 공급압력에 따라 발생하는 칩의 형태 분석을 통해 고압 절삭유 분사를 통한 난삭재인 INCONEL718의 칩 감김현상을 방지 할 수 있음을 확인하였다.

4.2 이송에 따른 칩의 형태

이송에 따라 발생하는 칩의 형태를 비교하기 위하여 절입깊이를 0.25mm로 하고, 이송을 각각 0.15mm/rev, 0.25mm/rev로 하여 가공 시 발생하는 칩의 형태를 비교 분석하였다.

Fig. 7은 이송에 따라 발생하는 SM45C 소재의 칩 형태를 나타낸 것이다. 이송이 0.15mm/rev이며 저압에서는 앞서 언급한 것과 같이 불규칙하게 긴 형태의 칩이 발생하였다. 반면에 동일한 조건에서 이송만 0.25mm/rev로 증가 시켰을 때 발생하는 칩은 규칙적인 형태인 것을 확인 할 수 있었다. 이는 칩이 두꺼워져서 변형이 거의 발생하지 않았기 때문이다. 절삭유 공급 압력이 300bar인 경우에는 이송과 관계없이 짧고 규칙적인 형태의 칩이 발생하였다.

Fig. 7 Chip cutting shape according to feed at SM45C (depth: 0.25mm)

Fig. 8 Chip cutting shape according to feed at INCONEL718 (depth: 0.25mm)

Fig. 8은 이송에 따라 발생하는 INCONEL718 소재의 칩 형태를 나타낸 것이다. INCONEL718의 경우는 항복강도가 높기 때문에 이송에 관계없이 가공시 변형이 발생하지 않아 규칙적인 형태의 칩이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

300bar로 절삭유가 공급되었을 때 이송에 따라 발생하는 칩을 보면 이송이 0.25mm/rev일 때 칩의 길이가 0.15mm/rev일 때 보다 약간 긴 것을 확인 할 수 있다. 이는 칩의 두께가 두꺼워져 칩이 피삭재로부터 떨어져 나갈 가능성이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 절입깊이(Depth)에 따른 칩의 형태

절입깊이에 따라 발생하는 칩의 형태를 비교하기 위하여 이송을 0.25mm/rev로 하여 절입깊이를 각각 0.25mm, 0.5mm로

하여 가공시 발생하는 칩의 형태를 비교 분석하였다.

Fig. 9는 절입깊이에 따라 발생하는 SM45C 소재의 칩 형태를 나타낸 것이다. 저압의 경우 절입깊이가 0.25mm일 때 칩이 규칙적인 형태로 발생하였지만 절단 되지 않아 칩의 길이가 긴 특징을 보이고 절입깊이가 0.5mm 조건에서는 규칙적인 형태를 유지하면서 짧게 절단되었다. 반면에 고압에서는 절입깊이가 0.25mm와 0.5mm인 경우 모두 칩이 짧게 절단되고, 절입깊이가 0.25mm인 경우 칩의 두께가 얇아 고압 절삭유에 의하여 변형이 상대적으로 크게 발생하였다.

Fig. 10은 절입깊이에 따라 발생하는 INCONEL718 소재의 칩 형태를 나타낸 것이다. SM45C와 마찬가지로 저압이며 절입깊이가 0.25mm일 때 칩의 길이가 긴 것을 확인하였고, 절입깊이가 0.5mm일 때는 칩이 짧게 절단되는 것을 확인할 수 있

Fig. 9 Chip cutting shape according to depth at SM45C (feed: 0.25mm)

Fig. 10 Chip cutting shape according to depth at INCONEL718 (feed: 0.25mm)

었다. 고압에서도 SM45C의 경우와 마찬가지로 절입깊이가 0.25mm일 때 칩의 두께가 얇아 상대적으로 큰 변형이 일어났고 절입깊이가 0.5mm인 경우는 칩이 규칙적이면서 짧게 절단되는 것을 확인할 수 있었다.

두 가지 소재에 대한 실험에서 공통적으로 절입깊이가 큰 경우 칩이 더 짧게 절단되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 절삭유의 압력에 의해 칩이 제거된 것이 아니라 절입깊이가 크면 인서트에 있는 칩 브레이커 기능이 작동되어 칩이 짧아진 것이라 판단된다.

5. 인서트 마멸상태 분석

5.1 절삭유 공급압력에 따른 인서트 마멸 상태

절삭유의 공급압력에 따라 인서트 표면의 마멸 상태를 확인하기 위하여 이송이 0.25mm/rev, 절입깊이가 0.25mm인 상태에서 절삭유 공급압력이 10bar일 때와 300bar 일 때 각 피삭재 소재에 따른 인서트 끝부분의 표면 SEM촬영 결과는 Fig. 11과 같다.

SEM 촬영결과, 피삭재가 SM45C인 경우 절삭유 공급압력에 따른 인서트 마멸상태에 별다른 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 또한 두 압력조건하에서 인서트의 마멸도 거의 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 SM45C 소재의 강도가 낮아 절삭 가공 시 인서트에 힘이 적게 작용하기 때문이다. 반면, 난삭재인 INCONEL718의 경우 강도가 높아 인서트가 심하게 마멸된 것을 확인할 수 있다.

INCONEL718의 경우에도 절삭유 압력에 따른 마멸 상태에 차이는 크지 않지만 고압으로 절삭유를 분사했을 때가 다소 마멸이 덜한 것을 확인할 수 있었다. 고압으로 분사되는 절삭유에 의한 힘이 인서트가 칩을 밀어내는데 도움을 주어 인서트의 마

Fig. 11 SEM image of insert according to input pressure at INCONEL718

Fig. 12 SEM image of insert according to feed at INCONEL718

멸이 다소 덜하긴 하지만 인서트가 밀어내는 힘에 비하면 절삭유가 가지는 힘이 상대적으로 미소하기 때문에 인서트 마멸상태에는 큰 차이가 없는 것이라 판단된다. 따라서 본 실험을 통하여 난삭재 가공에 있어서는 고압 절삭유 분사가 공구수명을 늘리는데 어느 정도 도움이 됨을 확인할 수 있었다.

5.2 이송 따른 인서트 마멸상태

이송에 따른 인서트 마멸상태를 비교하기 위하여 절입깊이를 0.5mm로 하고 이송을 각각 0.15mm/rev, 0.25mm/rev로 하여 INCONEL718용 인서트 마멸 상태를 비교 분석하였다.

Fig. 12는 이송에 따른 INCONEL718용 인서트 마멸상태를 나타낸 SEM촬영 결과이다. SM45C의 경우 인서트의 마모가 거의 발생하지 않아 생략하였고, INCONEL718에 대한 결과만 분석하였다. 절삭유가 저압으로 분사될 경우 인서트 끝부분에 불필요한 찌꺼기가 충분히 제거되지 않아 분석하기에 어려움이 있었다. 반면 절삭유가 고압으로 분사될 경우 고압 절삭유에 의하여 찌꺼기가 충분히 제거되어 인서트 표면의 상태를 분석하기 용이하였다. 절삭유가 300bar로 공급된 경우를 보면 이송이 커질수록 표면에 마찰이 심해지는 것을 확인할 수 있었다. 이송이 회전 당 인서트가 들어가는 반경 방향거리임을 감안하면 인서트가 깊이 들어갈수록 큰 힘이 작용하여 마멸이 심해지는 것을 알 수 있다.

5.3 절입깊이에 따른 인서트 마멸 상태

절입깊이에 따른 인서트 마멸상태를 비교하기 위하여 이송을 0.25mm/rev로 하고 절입깊이를 각각 0.25mm/rev, 0.5mm/rev로 하여 INCONEL718용 Insert 마멸상태를 비교 분석하였다.

Fig. 13은 절입깊이에 따른 INCONEL718용 인서트 마멸상

Fig. 13 SEM image of insert according to depth at INCONEL718

태를 나타낸 SEM촬영 결과이다. 절입깊이의 경우 Insert가 피삭재의 수직방향으로 들어가는 깊이를 의미하며, 따라서 이송과 마찬가지로 깊이가 커질수록 Insert가 큰 힘을 받아 마멸이 심하게 일어나는 것을 SEM촬영 결과로 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 칩 감김 현상 방지를 위한 절삭유 고압 분사 holder를 적용하여 절삭가공을 수행하였고, 저압으로 분사될 때와의 칩 발생형태와 인서트 마멸상태를 비교분석하였다. 칩 브레이커의 형태와 절삭속도를 적절히 선정하면 연속 칩을 피할 수 있는데 본 연구에서는 연속 칩의 생성을 피할 수 없어 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 가공실험을 통하여 여러 가지 가공조건 하에서 발생하는 칩의 형태를 분석한 결과, 고압(300bar)으로 절삭유를 분사하고, 이송이 작을수록 칩이 짧아 졌으며 절입깊이가 5mm 이상 일 때 칩 brake가 작용하여 칩이 짧아지는 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 주사현미경(SEM) 촬영을 통하여 가공 후의 인서트 마멸상태를 확인하였고, SM45C에 비하여 난삭재인 INCONEL718 가공에 사용된 인서트의 마멸이 심한 것을 확인할 수 있었다. 또한 고압으로 절삭유가 분사될 경우 인서트 마멸 정도가 다소 덜한 것을 확인할 수 있었고, 이송과 절입깊이가 커질수록 인서트에 큰 힘이 걸려 마멸정도가 심한 것을 관찰할 수 있었다.

References

- (1) Park, J. M., Choi, W. S., Kwon, S. H., and Cha, J. H., 2009, "Optimal Cutting Conditions of Surface Roughness

- for Inconel 718 Alloy in Turning Operationl,” *Journal of the KSMPE*, Vol. 8, No. 4, pp. 48~53.
- (2) Lee, J. W., 2003, “Tool-wear Characteristics in Turning of STS 304,” *Journal of the KSPE*, Vol. 20, No. 10, pp. 56~64.
- (3) Noh, S. I., and An, S. O., 1994, “Chip Formation of Ceramic Tools in Metal Cutting,” *Journal of Korean Ceramic Society*, Vol. 31, No. 11, pp. 1355~1361.
- (4) Lee, J. W., and Min, K. D., 2006, “A Study on Nozzle Flow and Spray Characteristics of Piezo Injector for Next Generation High Response Injection,” *Transactions of the KSME(B)*, Vol. 30, No. 6, pp. 553~559.
- (5) Song, Y. C., and Park, C. H., 2008, “Control of Tool Wear in Diamond Cutting of Steels by Intermittent Cutting Method,” *Journal of the KSPE*, Vol. 25, No. 6, pp. 40~46.
- (6) Yi, C. S., Yun, J. H., Jeong, I. G., Song, C. K., and Suh, J. S., 2011, “Study on Design of High Pressure Injection Nozzle for Avoiding Chip Curling,” *Journal of the KSMTE*, Vol. 20, No. 6, pp. 794~799.