

고정밀도의 효율적 절삭 가공을 위한 방법론 (Methodology for Machining with High Precision and Efficiency)

고성림
건국대학교 기계설계학과

1. 서론

고정밀도와 높은 생산성을 갖는 가공방법은 좋은 제품을 값싸게 제작하여야 하는 당면과제를 해결하기 위하여 필수적인 조건이 되었다. 이를위하여 우선적으로는 공작기계가 고강성과 고속용 스피들을 지녀야하며 정밀한 신속한 위치제어가 가능해야한다. 이와더불어 절삭가공의 최첨병인 절삭공구가 고속가공에서 고정밀도와 오랜수명을 보장하는 우수한 성능 또한 가장 중요한 요소중의 하나이다. 이를위하여 고속도강으로부터 시작하여 초경합금, cermet 및 ceramic, CBN & PCD 공구로 이르는 고속용 재종개발이 계속되었고 또한 절삭저항의 감소와 원활한 칩배출을 위한 형상개발이 꾸준히 이루어져왔다. 이와함께 주어진 공작기계와 공구를 사용하여 최고의 효율과 정밀도를 유지할 수있는 최적의 절삭조건에의 선정과 적용 또한 중요하다. 그림 1에서 보는 바와 같이 이상의 고려된 조건을 사용하여 원하는 형상(geometry)과 표면조도(surface roughness)로 대표되는 정밀도를 보장할 수있었다. 그러나 최근에는 제품의 조립시 정밀도를 나타내는 끼워맞춤 정도, 기밀성및 마찰 특성과 관련한 제품의 고품위화를 요구하기에 이르렀다. 이것을 위하여 그림 1에 나타난바와 같이 끝마무리 공정이 추가되었다. 공작기계와 공구의 개발과 더불어 최근에는 가공된 각 부품들의 정밀도및 내구성의 향상을 위하여 가공된 표면및 모서리부의 형상및 응력상태를 개선하기위한 노력이 계속되고있다. 그림 2에서 보는 바와같이 절삭가공후 정밀도로서 최근까지는 기하학적인 치수정밀도와 표면조도만이 고려되었으나 모서리부의 형상및 마무리작업과 표면산화나 crack상태 및 잔류응력상태 등으로 나타나는 표면의 성능이 추가되었다.이를위한 가공방법과 가공후 처리기술이 새로운 연구영역을 확보하고 있다. 가공 표면조도의 향상과 잔류응력을 감소시키기 위한 방법과 또한 가공중 발생하는 burr의 발생억제와 제거를 위한 가공방법및 후처리기술들이 개발중에 있다. 또한 이러한 작업의 효율성을 향상시키기 위한 자동화기술도 함께 개발되고 있다.

2. 절삭공구의 개발에 의한 고속 고정밀 절삭가공의 추구

(1) 정밀고속용 공구의 조건

기계산업의 발달과 함께 꾸준한 공작기계의 발달에 발맞추어

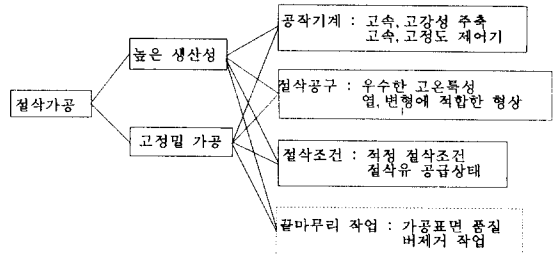


Fig.1 정밀고속가공에 의한 고품위제품의 절삭가공조건

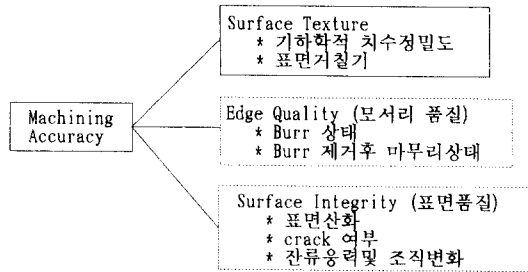


Fig.2 고품위제품을 위한 확대된 개념의 가공정밀도의 개념

절삭가공 공구도 꾸준한 발전을 요구받아왔다. 점차로 기계가공이 고정밀도를 요구하고 원가절감을 위한 생산성의 극대화를 오래전부터 추구한결과 공작기계의 위치정밀도의 향상과 고강성 구조및 computer와 robot의 발달에 따른 CIM(Computer Integrated Manufacturing)이 가능하게 되었다. 그에 따른 절삭가공의 최첨병인 절삭공구의 성능도 꾸준히 발전 되어왔다. 아무리 공작기계의 정도및 강성이 뛰어나다 할지라도 공구의 성능이 따라가지 못할때에는 그와의 모든 노력이 결실을 거두기는 어렵다. 절삭공구에 요구되는 성능을 요약하면 첫째로 고정밀 가공용공구, 둘째로는 생산성을 높일 수있는 공구(즉 고속, 고이송에서 수명이 긴공구), 그리고 세째로는 산업의 다양화에따른 피삭재의 변화에 민감한 공구, 즉 난삭재 가공이 가능한 공구로 분류할 수있다. 이러한 성능은 공구의 절삭시 압력과 마찰로인한 열 및 기계적마모와 날끝의 국부적인 파손에 의한 결손에 대한 저항력으로 표시될 수있다. 열 및 기계적 마모에 대한 저항성과 결손에 대한 저항성은 실제 작업온도에서의 피삭재의

절삭성과 공구재종의 기계적 성질에 의해서 결정된다. 피삭재에 따라서 열발생량이 다르며 고온경도와 가공경화성에 의해서 절삭성이 결정되며 최근에는 이러한 분류에 의해서 난삭재로 분류되고있다. 이에따른 절삭공구의 재종도 온도별로 세분화되어있으며 대부분의 경우 내마모성과 내결손성은 서로 상반되는 특성을 가지고 있어서 개발의 어려움이 되고있다. 피삭재와 공구재종의 주어진 특성을 가지고 절삭원리를 이용한 여러공구의 형상들이 개발되고있다. 이들은 주로 절삭저항의 감소에 의한 열발생억제와 진동방지에 의한 공구수명연장 및 정밀도의 향상을 목표로 하고있다. 절삭시 고경사각에 의한 절삭저항 감소와 절인의 호환이나 모서리작업에 의한 인선부 강인성의 증가가 대표적인 예다. 이와같은 요인들에 의한 정밀도 및 생산성의 향상을 위해서 최적의 절삭조건에서 작업하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이때문에 적정절삭조건 선정이 더욱 중요하게 된다. 공구를 제작하는 사람은 공구재종과 피삭재에 따른 적정절삭조건 선정이 필수적이며 사용자들은 이것의 중요성을 인식하고 따르는 것이 중요하다. 이와 같이 효율적인 절삭가공은 공구의 재종, 형상 그리고 그에따른 적절한 절삭조건 선정에 의해서만 가능하게 된다. 각각의 요구사항들이 그림 3에 잘 나타나있다.

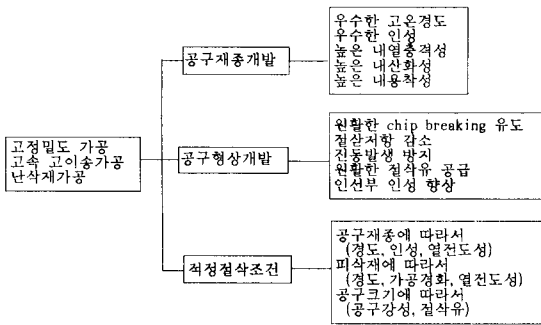


Fig.3 절삭가공의 발달에 따른 공구 및 사용조건

(2) 절삭공구의 재종과 형상

절삭공구재종의 발달은 절삭시 요구되는 상온과 고온에서의 높은경도와 인성을 갖는 재종개발의 역사라고 할수 있다. 19세기초의 탄소공구강 개발로부터 고속도강(HSS)의 금속재료에서 1940년대에서는 탄화텨스텐(WC)을 이용한 초경합금, 1960년대의 세라믹, 1970년대의 탄화티타늄(TiC)을 이용한 cermet개발이 이루어졌다. 또한 CVD 및 PVD 코팅에 의한 공구가 개발되었다. 최근에는 다이아몬드, 입방정질화붕소(CBN)까지 등장하여 초경합금공구보다 훨씬높은 가공속도를 낼수 있게 되었다. 앞에서 언급한대로 절삭시 공구손상의 형태로 볼 때 요구되는 특성은 내마모성과 인성으로 구분되며 이것은 각 재종의 경도와 항질력의 값으로 나타낼 수있다. 이들 재종의 상온에서의 기계적성질들이 표 1에 잘 나타나있다. 경도는 ceramic과 cermet가 높은 반면 항질력의 값이 매우 낮아서 초경합금에 비하여 마모성은 우수하나 결손이 쉽게 발생하기 때문에 공구재종으로 부적절한 것처럼 보이지만 실제 절삭시 온도가 500°로부터 최근의 고속절삭시에는 1000° 이상까지 상승하는 사실을 고려하면 공구의 고온특성에 대한 검토가 이루어져야한다. 탄소공구강이나 HSS공구는 상온 및 고온에서 경도가모두 떨어지며초경합금공구와 cermet 및 ceramic의 특성은 서로 상반되는 면이 있다. 경도와 인성

에 있어서 ceramic은 온도의 영향이 작으나 cermet 초경합금의 순으로 급격히 감소한다. 그러므로 초고속가공에서는 ceramic 공구가 적합함을 알 수 있으나 낮은 항질력으로 이송량의 제약이 크다. 중,저속가공에서는 cermet와 초경합금공구의 상승된 인성으로 좀더 높은 이송량을 적용할 수있다. 저속가공에서는 높은 인성을 요구하기 때문에 HSS공구와 같은 재종이 사용된다. 공구재질에 따른 개괄적인 절삭조건이 그림 4에 나타나있다. CVD와 PVD 코팅공구는 초경합금공구의 인성과 피복층의 내마모성과 내열성을 겸비한 이상적인 공구로 각광을 받고있다. 이그림으로부터 현재까지의 공구의 발전이 내마모성에 의한 절삭속도면에서는 많은 발전이 되었으나 이송량을 증가시키는 내결손면에서는 많이 뒤떨어지고 있음을 알수 있다. Cermet나 ceramic 공구에 있어서는 대부분의 노력이 내결손성의 향상을 위해서 주

1 공구재료별 기계적 성질 비교

공구재료	상온경도	항질력 (Kgf/cm ²)	열전도율 (cal/sec cm ² C)
용재 HSS(SKH56)	HRA 83-86	400-600	
분말 HSS	HRA 87-88	250-350	
초미립자 초경합금	HRA 90-91	180-300	
초경합금(P종)	HRA 90-93	150-200	0.07-0.12
초경합금(K종)	HRA 90-94	200-220	0.17-0.19
cermet(TiCN계)	HRA 91-94	170-180	0.05
cermet(TiN 계)	HRA 92-95	100-150	
강인 세라믹	HRA 92-94	70-90	0.05-0.20
소결 CBN	Hv 3500-4000	50-70	
소결 다이아몬드	Hv 7000-9000	90-110	

어지고 있다고 할수있다.

재종의 특성에 있어서는 cermet공구의 고온특성이 초경합금과 ceramic의 중간적 성질을 나타내는 사실로부터 현재 주종을 이루고 있는 초경합금공구가 cermet의 개발에 의해서 교체될 것을 예측할 수가 있으며 일본에서는 이미 이러한 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 이와 유사한 이유로 인해서 코티드 초경공구가 그림 4에서 보는바와 같이 초경합금공구보다 절삭조건영역이 향상되어 고속절삭이 가능하게되고 공구수명 또한 길어서 생산성향상에 기여하는 경제적인 공구로서 그영역을 넓혀가고있다. 그적용에 있어서도 종전의 선삭공구에서 밀링공구로 넓혀가고있다. 향후 당분간은 코티드 초경합금공구와 cermet공구가 공구시장을 주도할 것으로 사료된다.

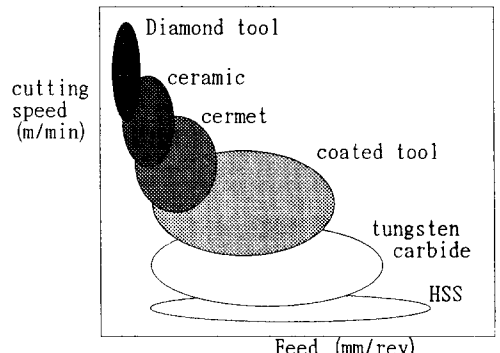


Fig.4 공구재종별 적정절삭조건

앞에서 언급한 절삭공구의 개발사항으로서 첫째로 재종의 개발을 통하여 각 절삭공구가 고속, 고이송의 절삭조건과 다양한 특성의 피삭재에 따라 요구되고 있는 내마모성, 내결손성, 내용착성 그리고 내산화성을 만족시키기 위해서 많은 노력이 기울여져왔다. 그러나 실제 절삭시에 발생하는 과도한 열발생과 chip breaking의 어려움을 해결함에 있어서 아직도 재종의 개발만으로는 명확한 한계성을 지니고 있는 경우가 많다. 많은 경우에 있어서 절삭특성을 고려한 적절한 공구형상을 이용하여 이와같은 어려움으로부터 오는 손상을 해결할 수 있다. 이러한 공구형상 개발의 특징은 다음과 같이 크게 나눌 수 있다.

- 절삭저항의 감소에 의한 열발생 및 진동억제
- 발생된 열의 신속한 방출
- 원활한 chip breaking 유도
- 가공중 진동 및 변형억제를 위한 강성 보강
- 예리한 인선부의 인성 보강

(3) 효율적인 금형가공을 위한 새로운 절삭방법 소개

일반적으로 HRC 50이상의 SKD종과 같은 금형가공을 위하여 EDM이나 연삭에 의존하여왔다. Ball 엔드밀에 의한 절삭가공은 주로 마지막 성형작업에 사용되는 고정도강 가공으로 인한 속도 및 이송량의 한계로 인하여 매우 낮은 생산성을 지니고 있다. 이에 최근에 Machining Center의 발달에 따른 High Speed Spindle과 고압절삭유 급유장치등의 역할에 힘입어 절삭가공에 의한 효율적인 새로운 금형가공방법이 개발되어서 소개하고자 한다 [1].

물론 이와같은 고정도강에서 고속, 고이송 절삭가공을 위하여 이에 부합하는 공구의 개발은 필수조건이라 하겠다. 그림 5에 나타난바와 같이 일반적인 금형가공방법은 드릴작업, Square 엔드밀에 의한 황삭, 정삭을 거쳐서 성형을 한다. 이경우에 HRC 50이상의 고정도강의 경우에서는 짧은 공구수명으로 인한 저속, 저이송작업으로 생산성이 매우 낮은 형편이다. 보편적으로 사용되는 그림 6에 나타난 Scanning Pattern에 의한 공구경로로 인하여 밀링작업시에 Up-Cut과 Down-Cut이 왕복시마다 변경되고 그림 5에서 보는바와 같이 절삭깊이변화에 따른 절삭저항의 변화가 심하다. 이로인한 작업상의 어려움은 다음과 같다.

- 코너에서의 정밀도저하
- 최대절삭저항에 맞추어진 낮은 이송량에 의한 생산성저하
- 공구의 부분적파손에 의한 짧은 공구수명

이러한 문제점을 해결하기 위하여 제시된 균일한 절삭저항 유지하기 위한 새로운 절삭가공 방법의 특징과 이것을 실현하기 위하여 요구되는 공작기계의 조건과 절삭공구의 조건이 표 2에 나타나 있다.

표2 새로운 절삭방법에 따른 공작기계와 공구 조건

새로운 작업방법	요구되는 공작기계 조건	요구되는 Ball 엔드밀 조건
1) 작은 절삭깊이	1) 고속화에서 정밀고속 Feed Control	1) 고속가공이 가능한 우수한 재종
2) 높은 주축속도	2) 고속, 고강성 Spindle (10,000rpm이상)	2) 고강성 구조
3) 높은 이송량	3) 고강성구조	3) 내부급유 가능한 구조
4) Down-Cut	4) Spindle를 통한 고압의(3MPa 이상) 절삭유공급	
5) Contour식 공구경로		

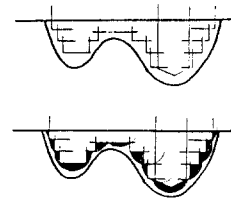


Fig. 5 일반적인 금형가공방법에 의한 절삭가공 개략도

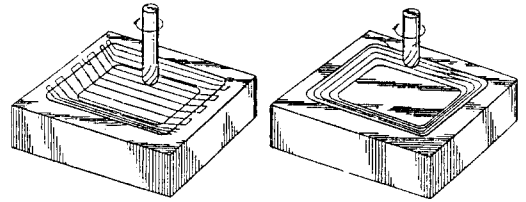


Fig. 6 금형가공시 공구경로

- (a) 일반적인 방법에 의한 scanning pattern
- (b) 새로운 방법에 의한 contour pattern

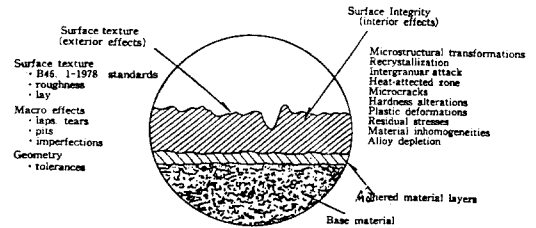


Fig. 7 기계가공후의 표면상태

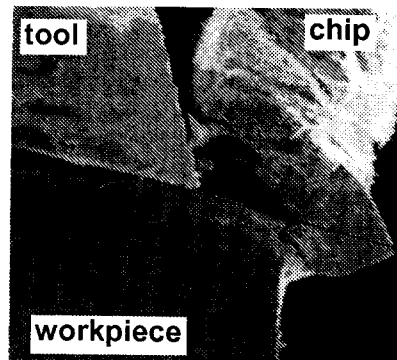


Fig. 8 2차원 절삭에서 공구이탈시 burr의 형성과 파단

이상에서 소개한 새로운 금형절삭 가공방법이 가능한 것은 매우 간단한 절삭이론에 기초하고 있다. 어떠한 피삭재나 절삭 조건에서든지 절삭가공시 발생된 열의 신속한 냉각과 절삭날부에 큰 절삭저항이 걸리지 않는다면 절삭이 원활하게 이루어질 것이다. 새로운 작업방법에 의하면 매우 작은 절삭깊이를 전작

업에 걸쳐서 일정하게 유지함으로써 인선부에 절삭저항이 작게 걸리며 고압(3MPa)의 절삭유가 열발생부에 쉽게 접근함으로써 열발생후 인선부와의 축적을 억제시킨다. 이와같은 원리는 결국 피삭재의 종류에 무관하게 적용이 되어서 매우 보편적이고 강력한 작업방법으로 될 수 있다. 표3에서 고경도강과 Ti-6Al-4V 및 Inconel 718에서의 작업결과로부터 성공적인 절삭가공임이 입증되고 있다. $\phi 10\text{mm}$ 의 TiAlN 코팅의 동일한 볼 앤드밀을 사용하여 동일한 공구 수명에 대한 판정기준에 의해서 절삭깊이가 결정되었다.

표 3 새로운 작업방법에 의한 난삭재 가공 결과

피삭재	새로운 방법에 의한 절삭조건	가공시간 (min)	
		종래방법	새로운방법
Hardened Steel (HRC50)	N=12000 rpm V=377m/min F=2000mm/min	180	3
Ti-6Al-4V	N=10000 rpm V=314 m/min F=2000 mm/min	90	3
Inconel 718	N=10000 rpm V=314 m/min F=2000 mm/min	210	20

3. 가공표면 및 모서리부의 품질향상을 위한 가공방법 및 후처리기술

일반적으로 절삭가공의 결과로서 가공면과 두면이 만나는 모서리부로 구성이 되는데 이들의 결과에 따라서 가공부품의 성능이 결정된다. 지금까지의 대부분의 가공기술의 발달은 최종 가공결과로부터 얻을 수 있는 치수정밀도와 표면조도에 집중이 되어있었다. 이와같은 특성들이 완료된 이후에 제품의 성능은 마찰부부이나 하중을 받고 있는 면이나 모서리부의 성능에 의해서 더욱 고품위화될 수있음이 밝혀지고있다. 그림 7에서는 가공면의 표면형상이나 조도를 나타내는 특성 이외에도 내부 잔류응력이나 crack 및 부식상태등이 나타나있다[2]. 이러한 결함을 제거하기 위하여 여러방법의 표면 끝마무리 작업들이 사용되고 있다. 그림 8에 나타난 모서리부의 기계가공결과로서 나타나는 돌출된 버(burr)로 인하여 마찰부부의 손상과 응력상태에서의 crack 발생등 여러 문제점을 야기시킬 수있기 때문에 최근에는 버제거 및 발생방지를 위하여 많은 노력이 행해지고 있다.

(1) 버 형성의 최소화를 위한 방안

절삭가공에서의 버의 형성은 그 정도의 차이는 있지만 필연적으로 발생하기 때문에 필요에 따라서는 버제거 작업 또한 필수적으로 이루어져야 하는 경우가 많다. 이에 따른 버제거 작업 경비의 최소화가 산업현장에서는 생산원가 절감을 위해서 당연 과제가 되고있다. 버제거 경비의 최소화를 위해서는 크게 세 가지의 접근방법이 제기된다.

- 버형성의 방지 및 최소화
- 적정 버제거 방법의 선택
- 버제거 작업공정의 효율화 및 자동화 실시

여기서는 가장 기본적인 접근방법인 버형성의 최소화를 위한 방안에 대해서 다루어지며 적절한 버제거에 의한 방법은 피삭재의 성질 및 규격, 그리고 작업방법에 따른 장비의 도입이 필요하므로 달리 구분하고자 한다. 절삭가공에서 버형성 최소화를 위한 방법은 절삭에 관련된 모든 사항과 관련이 있으며 이것을 다음과 같이 구분 할 수 있다.

- 피삭재의 형상을 이용한 방법
- 피삭재의 성질을 이용한 방법
- 공정순서 변경에 의한 버 형성 위치를 변경
- 적정 공구형상의 설계에 의한 방법
- 절삭조건의 적절한 선택에 의한 방법

그림 9에서 'A' 부분에서 버 발생 예상부분의 모떼기 작업(chamfering)을 가공전에 함으로써 버 발생을 방지할 수 있다. 이것은 모떼기 공정의 증가를 의미하지만 가공후 버제거 공정에 비하면 훨씬 용이한 작업이다. 공정순서의 변경에 의해서 생산성의 증가를 기대할 수 있는 좋은 예로 여겨지며 대부분의 경우 버발생 방지를 위해 우선적으로 손쉽게 행할 수 있는 방법이다. 내경부의 출가공 후에 발생하는 버 'B'는 제거하기가 매우 어렵지만 고주파 전류에 의한 원하는 부분의 표면 열처리에 의해서 공구가 지나갈 부분만을 경화시킴으로써 버 발생을 줄일수 있다. 물론 버발생억제를 위한 이같은 공정의 중요성은 일반가공 후 버제거를 위한 경비와 버제거의 난이성을 검토한 후에 결정되어야 한다. 두 개의 구멍이 만나는 부분에 발생하는 버 'C'는 가공순서의 변경에 의해서 위치가 큰 구멍 쪽으로 발생 할 수도 있다. 예를 들어서 오일 주입구의 경우처럼 작은 구멍의 허용공차가 버의 존재를 허용하는 경우에는 'C'의 위치로 유도하는 것이 바람직하다. 외경부에 존재하는 버 'D'도 작업순서 변경에 의해서 방향을 바꿀 수도 있지만 버의 존재를 허용하는 방향으로 유도하거나 제거하기 쉬운 방향으로 유도가 가능하다. 이와 같은 일련의 작업은 현장작업자의 임의성에 의존하는 것보다 설계자와 현장 기술자의 협조에 의해서 도면상에 표시되는 것이 바람직하다. 공구의 적절한 형상 설계에 의해서도 버가 완전히 제거되거나 최소화될 수 있다. 이 경우에는 공구의 형상이 일체형을 갖는 총형공구(form tool)이 대부분이다. 내경부의 출가공시에는 그림 9에서 버 'B'의 경우와 같이 발생하여 부품조립시 내경공차의 변화를 초래한다. 이와같은 경우에는 그림 10과 같이 가공할 출과 버발생이 예측되는 내경부의 형상을 일체형으로 갖는 총형공구를 사용함으로써 버를 제거 할 수 있다. 이 경우에는 설계자와 공구 제조업자와의 충분한 의견교환에 의해서 이와같은 총형공구의 설계가 가능하다. 마지막으로 절삭조건에 의해 버의 크기를 조절할 수 있다. 대부분의 경우 절삭저항을 증가시키는 요인이 버의 크기를 증가시킨다는 사실이 앞에서 언급되었다. 이는 절삭저항의 증가는 버 형성시 소성영역이 커짐으로써 그결과 버의 크기가 증가하는 것으로 이해된다. 절삭깊이의 증가, 이송량의 증가, 공구의 경사각의 감소, 절삭속도의 감소 등이 버의 크기를 증가시키는 요인으로 들 수 있다[3,4,5,6].

(2) 버제거 작업 (Deburring)

일단 절삭가공에서 버가 형성되면 그것을 용이하게 그리고 경제적으로 제거하는 것이 바람직하다. 버를 용이하게 제거하기 위해서는 앞에서 언급한대로 크기가 최소화 되어야 하고 공정순서를 조정함으로써 버의 형성위치를 제거하기 쉬운 위치로 옮겨야 한다. 버제거작업은 가공물의 크기와 성질 그리고 가공조건

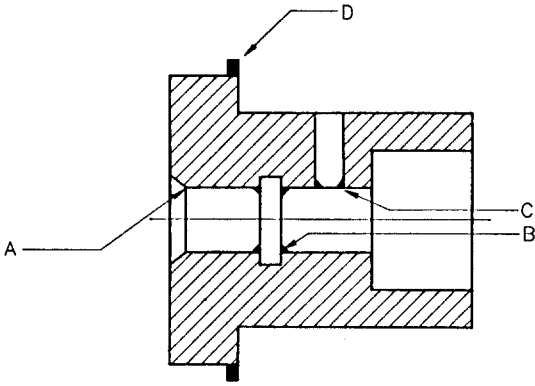


Fig.9 기계부품가공에 있어서 버 형성 예

에 의해서 결정되는 버의 크기와 위치에 의해서 결정되기 때문에 매우 다양하다. 이와같이 다양한 작업을 Gillespie가 많은 비행기 제작업체를 중심으로 그 동안의 방대한 자료를 최초로 집대성하였다 [7,8]. 주된 버 제거원리에 의해서 표 4에서 버 제거작업이 분류되어 있다.

전해액을 이용한 버제거방법(ECD: electro chemical deburring)은 전해절삭의 원리를 이용하여 버제거가 어려운 위치에 발생한 경우, 즉 그림 9에서 버 'C'와 같은 오일주입구용 구멍가공후 내부에 존재하는 버제거에 효율적으로 사용되고 있다. 그러나 각각의 버에 대한 전용 치수가 필요하기 때문에 경제적인 측면도 고려되어야한다. 그림 11에 그예가 잘 나타나있다.

표 4 주요 버제거공정의 원리와 종류

	버제거 방법	복합적 방법
연마제 이용	<ul style="list-style-type: none"> 0 진동에 의한 연마 0 베럴회전에 의한 연마 0 스프인 회전에 의한 연마 0 원심력을 이용한 베럴연마 0 자장에 의한 연마 0 왕복운동에 의한 연마 0 연마제의 흐름에 의한 연마 	<ul style="list-style-type: none"> 0 샌딩 (Sanding) 0 연마제 고속분사 (Abrasive Jet Deburring)
기계적 방법	<ul style="list-style-type: none"> 0 수작업에 의한 모따기 0 브러싱 (brushing) 0 장비를 이용한 모서리 절삭 (robot deburring) 	
열적 방법	<ul style="list-style-type: none"> 0 들꽃에 의한 모서리 용융 0 폭발에 의한 열충격 이용 0 열선에 의한 모서리 용융 	
화학적 방법	<ul style="list-style-type: none"> 0 용액내에서 애칭 0 연마제와 함께 사용하는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 0 전해액을 이용한방법 (Electro Chemical Deburring)
전기적 방법	<ul style="list-style-type: none"> 0 전기저항, 스파크로 용융 0 연마제와 함께 사용하는 방법 	

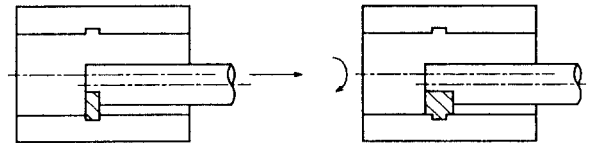


Fig. 10 종형공구(form tool)에 의한 내경구멍에서의 버발생 억제 예

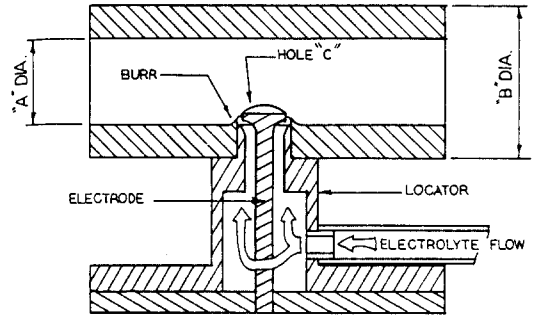


Fig.11 ECM(Electro Chemical Deburring)에 의한 버제거공정예

(3) 버 관련기술의 전망

이제까지의 연구는 버 형성원리및 최소화방안과 효율적인 버 제거 공정개발로 나누어진다. 그중에서도 버제거에 관한 연구가 대부분이며, 이는 형성된 특정 버의 효율적인 제거를 위한 전용 장비 및 공정 개발로서 버의 종류만큼이나 다양하다. 버의 제거작업에 앞서서 버 발생이 억제되는 것이 바람직하지만 버 발생의 필연성을 고려할 때 버 생성의 최소화 방안이 많이 제시되었다. 버 생성의 최소화 방안이나 제거작업이 형성원리의 완전한 이해 위에 이루어진다면 가장 이상적이지만 버 형성의 복잡성으로 인해서 완전한 모델이 제시되지 못한 실정이다. 과거에 이루어진 이상의 많은 연구를 바탕으로 최근의 버관련기술에 관한 연구와 앞으로의 방향을 다음과 같이 크게 분류할 수 있다.

(a) 버 형성 원리의 정량적인 이해

버 형성 원리의 충분한 이해를 통해서 버형성최소화 방안과 효율적인 버제거에 대한 방안이 바람직하게 주어진다. 피가공물의 물성치(인장강도, 가공경화성, 연성 등)와 가공조건에 의해서 버의 형상과 성질이 결정되기 때문이다. 예를 들면, 표면 처리에 의한 버 발생 방지나 버의 크기에 따른 제거방법의 선택이 쉽게 이루어질 수 있다. 그러나 이러한 것들은 버 형성의 정성적인 이해 즉, 실험에 의한 충분한 자료에 의해서도 이루어질 수 있으며 또한 많은 자료들이 이미 확보되어 있다. 그러나 공장자동화(FA)와 유연성있는 생산방식(FMS)의 발달에 따라서 버제거 작업의 자동화를 위한 정량적인 버 형성 모델이 장차 필요하리라는 것을 쉽게 예측할 수 있다. 특히, 절삭 가공에서의 버형성 모델은 절삭 가공의 충분한 이해는 물론 절삭 끝부분에서의 소성변형의 이해와 이를 도와줄 소성변형의 유한요소법(FEM)을 통한 예측 및 이러한 거동을 관찰하기 위한 실험장비

구비 등 많은 어려움을 안고 있다.

(b) 버제거작업에서의 숙련자 방식의 개발

이미 개발되어서 사용되고 있는 많은 버제거 방법을 일단 집대성한 서적들이 버제거작업에 깊은 관심을 가지고 있는 사람들에게 사용되고 있지만, 좀더 보편적인 사용을 위해서는 컴퓨터를 이용한 버제거 방법의 선택이 이루어져야 할 것이다. 이러한 선택은 주로 경험에 의존하기 때문에 여러 방법에 관한 자료은행(data bank)이 이루어지지 않으면 안 되는 것은 당연하다. 이때에 입력으로 주어지는 것은 주로 피가공물의 크기 및 물성치와 발생한 버의 크기 및 발생 위치에 관한 정보가 된다. 인공지능(artificial intelligence)의 발달과 함께 버제거 공정을 위한 숙련자 방식의 개발이 당면 과제로 되어 있다. 이미 이와 같은 체제를 갖춘 자동화 장비도 시판되고 있다. 좀더 나아가 미래의 컴퓨터로 운영되는 공장을 생각하면, 버제거공정의 모델을 확립함으로써 모의실험(simulation)을 통한 공정의 예측을 통해서 작업시간 및 경비의 절감도 기대할 수 있게 된다 [9].

(c) 버제거 작업의 자동화

소형 다량의 제품은 베럴회전방법(barrel tumbling)과 같은 대량작업 장비의 자동화에 의해서 효율적으로 처리되고, 라인화되어 있는 자동화된 공장에서는 가능한 한 CNC장비 내에서 버제거전용 공구에 의해서 버를 제거하여 불필요한 작업을 줄일 수 있다. 그러나 CNC장비에서 제거될 수 없는 경우나 각 공정의 전용화를 위해서 로봇에 의존한 버 제거 작업에 대한 연구가 전세계적으로 한창이다. 로봇은 CNC장비보다 덜 정확하고 강성(stiffness)이 떨어지지만 더 많은 로봇팔의 자유도로서 더 많은 작업이 가능하며 저렴한 가격으로 FMS에서의 버제거단위(deburring cell)을 이룰 수 있다. 절삭가공에서 발생한 버의 가공경화에 의한 특성과 버형상의 불규칙성을 고려할 때, 주로 용접이나 도장용 로봇과 비교하여 다음과 같은 특성이 갖추어져야만 한다.

- 버 제거시의 저항력에 대응하는 로봇 팔의 강성(stiffness)이 있어야 한다.
- 균일한 가장자리(edge) 상태를 유지하기 위한 가장자리 형상에 따른 추적 있어야 한다.
- 설치 오차나 불규칙한 버형상을 보정할 수 있는 공구나 로봇의 기능이 요구된다.

4. 맺음말

높은 생산성으로 고정밀도의 제품을 생산해야하는 것은 절삭가공에 있어서 기본 명제이다. 이를 실현하기위하여 공작기계의 발달은 꾸준히 이어져왔다. 이와더불어 절삭가공의 최첨병인 절삭공구의 고속 고정밀 가공을 위한 기본 개념이 소개되었다. 절삭공구는 고속가공을 위한 재종의 개발이 따라야하며 가공방법의 차이에 따른 형상변화에 의한 절삭저항의 감소와 절삭열및 진동발생 억제가 이루어져야 한다. 구체적으로는 공구의 강성이 향상되어야하며 인선이 예리하여 절삭저항이 감소되어야 하나 인선은 강성을 유지할 수 있도록 honing이나 chamfering을 실시한다. 또한 고속가공으로 인한 고열의 신속한 방출을 위하여 고압의 절삭유 급유와 인선부위의 직접적인 공급이 이루어져야한다. 이와같은 공구및 공작기계의 특성으로 인한 정밀도가 향상된다 하더라도 정밀도에는 절삭가공 자체가 지니고있는 한계가 있다. 이것은

치수정밀도를 만족할 수있다 하더라도 제품의 조립성이나 내구성의 향상에 의한 고품위화된 제품을 기대하기는 어려운 실정이다. 이로인하여 이와같은 특성개발의 개념이 가공에 있어서 중요한 요인이 되었다. 그중에 가장 대표적인 것으로서 가공후 모서리부에 발생하는 버(burr)로 인한 조립상의 저하와 마침맞 마모특성의 약화에 의한 내구성의 저하를 들 수있다. 이제는 더이상 이와같은 문제점을 간과하고서는 새로운 개념의 정밀도를 만족시킬 수가 없게되었다.

이에따라 버관련기술(Burr Technology)의 실행과 전세계적인 추세를 이해함으로써 산업현장에서의 기술적, 경제적인 중요성과 학문적인 입장에서의 중요성을 강조하고자 하였다. 버형성 원리와 버제거작업에 관한 학문적 관심의 결여와 산업현장에서의 효율적인 버에 대한 대처에 의한 원가절감을 위한 노력의 미흡으로 버관련기술의 수준이 초보적인 단계에 있는 우리나라의 실정을 고려할 때, 점차로 생산방식의 발달로 인해서 다가올 버에 관한 문제점을 연구기관과 산업체 간의 긴밀한 협조를 통해서 해결해가야 할 것이다. 그렇게함으로써 치열한 국제경쟁력이 요구되는 시점에 대처하여 고품위의 제품을 생산할 수있을 것이다.

참고문헌

- 1) G.Ohira, M.Nakamura and S.Watanabe,"Cutting of Hardened Steel", Proceedings of 1st Int. Abrasive Technology Conference, Nov.1993, Seoul, pp246-251
- 2) Takazawa,K., 1985,"The Academic Challenge of Burr Technology in Japan," Conference Proceeding, Deburring and Surface Conditioning '85, SME Technical Report, pp.5-31 to 5-48.
- 3) Nakayama,K and Arai,M., 1987, "Burr Formation in Metal Cutting," Annals of the CIRP, Vol.36/1,pp.33-36.
- 4) Ko,S. and Dornfeld,D.A., 1991, "A Study on Burr Formation Mechanism," Trans. ASME, J. of Eng. for Materials and Technology, Vol.113/1f.,pp.75-87.
- 5) Ko,S. and Dornfeld,D.A.,1989,"Analysis and Modeling of Burr Formation and Breakout in Metal," Mechanics of Deburring and Surface Finishing Process, R.J.Stango & P.R.Fitzpatrick, eds., ASME, NewYork,pp.79-91.
- 6) Gillespie,L.K. and Blotter,P.K.,1976,"The Formation and Properties of Machining Burrs," Trans. ASME,J. of Eng. for Industry, pp.64-74.
- 7) Gillespie,L.K. (ed.), 1975, Deburring Capabilities and Limitations, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.
- 8) Gillespie,L.K.(ed.),1981, Deburring Technology for Improved Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.
- 9) David A. Dornfeld, 1994,"Intelligent Deburring of Precision Components," Proceedings of 3rd Int. Conf. on Precision Surface Finishing and Burr Technology, Seoul, pp25-38