

볼엔드밀 절삭에서 전해복합에 의한 표면거칠기 특성

이영표*(울산대 대학원), 박규열(울산대)

Characteristics of Surface Roughness by Compounding Electrolytic Machining in Ball End Milling

Y. P. Lee (Graduate School, Univ. Ulsan), K. Y. Park (Univ. Ulsan)

ABSTRACT

A new method compounding the electrolytic machining with ball end milling process to improve machined surface roughness was examined. From this study, it was confirmed that much smaller cutting force and finer surface roughness can be obtained in a certain condition of ball end milling and electrolytic machining conditions.

Key Words : Ball end milling(볼엔드밀 절삭), Electrolytic machining(전해가공), Cutting force(절삭력), Surface roughness(표면거칠기), Compound machining(복합가공)

1. 서론

절삭가공을 가장 높은 체적 제거효율을 갖는 가공인 동시에 높은 가공정밀도가 요구되는 초정밀 가공분야까지 폭 넓게 적용할 수 있는 기술개발에 관심이 고조되고 있다. 따라서 최근에 각종 기계부품 및 금형 등을 포함하여 기계가공 분야에서 고속화와 고정도화의 필요성이 증대되고 있다. 특히 금형은 제품을 양산하기 위하여 필수적인 도구로서 뿐만 아니라 최종제품의 품질과 성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 이와 같은 금형의 제작에는 일반적으로 방전가공 혹은 볼엔드밀을 사용하는 절삭가공이 적용되고 있다. 그러나 본 논문에서 대상으로 하는 볼엔드밀을 사용하는 절삭 금형가공에서는 공구와 공작물이 직접 접촉하면서 가공됨으로써 가공반력은 물론, 공구의 궤적이 가공흔적(표면거칠기)으로 형성되는 문제점을 가지고 있다.^[1] 이는 볼엔드밀 절삭가공을 이용한 금형 등의 제작에 있어 가공표면의 상태를 제한하는 커다란 요인으로 작용하게 된다.

따라서, 본 논문은 볼엔드밀을 사용하는 절삭가공에서 공구의 궤적으로 인하여 형성되는 가공흔적을 최소로 줄이기 위하여, 즉 표면거칠기를 향상시키기 위하여, 전해가공에 의하면 금속 표면의 강도가 현저하게 저하된다는 점을 착안하여 전해가공을

복합하는 방법을 도입하고자 하였다. 전해가공을 복합하면 금속표면이 전해물질로 변화되면 본래의 금속재료에 비하여 피삭성이 한층 향상됨으로써 절삭저항의 감소, 미소 절삭능의 증가를 통하여 공구운동의 기계적, 기하학적 운동의 영향을 피삭재의 표면에서 경감시키는 것이 가능하여 표면상태의 개선효과가 얻어지는 것으로 가정하였다^[2].

따라서 본 연구에서는 볼엔드밀 절삭가공에서 전해복합에 따른 절삭력 특성과 표면거칠기의 형성과정을 실험적으로 조사하였다.

2. 전해복합 볼엔드밀 절삭가공

Fig.1 은 본 연구에서 제안된 전해복합 절삭가공 방식의 원리와 표면 성형과정을 나타낸다. 가공물(양극)인 금속의 표면에 근접하여 별도로 설치된 공구전극(음극)과 그 사이에 전해액을 공급하여 전압을 인가하고 적절한 전해조건을 부가하면 가공물의 표면에 금속 산화막이 생성된다. 생성된 피막은 금속 본래의 기계적 성질을 약화시켜 절삭가공에서 공구에 대한 저항을 작게 함으로 절삭력의 감소효과를 얻을 수 있다. 또한 일정한 전해조건 하에서는 금속의 극히 표면에서 부동태 층(Passivation layer)을 형성하여 금속표면의 과도한 전해용출을 방지하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다.^{[2] [3]} 따

라서 특정한 전기적 조건에서 발현되는 부동태화 현상을 적극적으로 활용하면 표면거칠기를 향상시키는 것이 가능한 것으로 판단된다. 즉 Fig.1의 (b)에 나타난 바와 같이, 절삭면에 부동태 층을 형성하고 이를 절삭하는 과정을 반복함으로써 일반절삭에서 형성된 표면거칠기를 감소시켜서 낮은 절삭저항의 조건에서 연속적으로 절삭가공이 가능하여 표면거칠기를 향상시키는 것이 가능하다. 참고로, 일정한 전해조건 하에서 부동태 피막의 두께는 Fe에서 2-7 nm, SUS304에서 20-550 nm, S45C에서는 320-1180 nm 정도의 깊이를 갖는 것으로 보고되어 있다^[2].

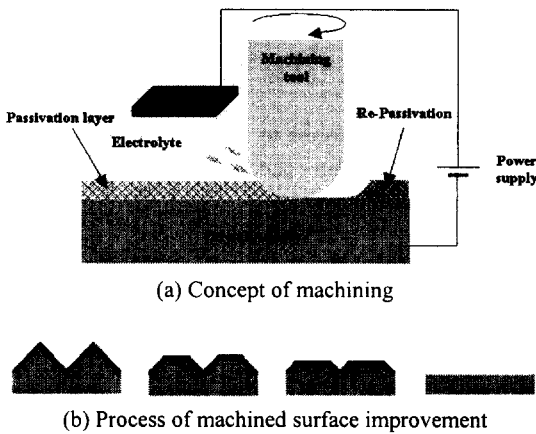


Fig. 1 Principle of cutting with electrolytic machining

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험을 위하여 구성된 실험장치를 Fig.2에 도시하였다. 절삭저항 특성 실험은 수직형 머시닝센터(HWACHEON SIRIUS-2)를 사용하였고, 표면거칠기 특성은 고속가공기(KITAMURA Mycenter Zero)를 사용하였다. 절삭가공 중에 발생하는 절삭력은 스트레인 게이지(Strain gauge) 타입의 공구동력계(AMT MC818)를 사용하여 가공 중에 실시간으로 측정하였다. 또한 전해가공을 복합하기 위하여 전해조와 전용전극을 제작하여 각각의 테이블 상에 설치하였으며, 직류전원공급 장치를 사용하여 전압을 인가한다.

3.2 실험방법

Table.1은 앞에서 기술한 전해복합 절삭가공의 가공조건과 실험에 사용한 공구, 공작물을 나타낸다. 전해액으로는 중성염 용액 중에서 부식성이 작

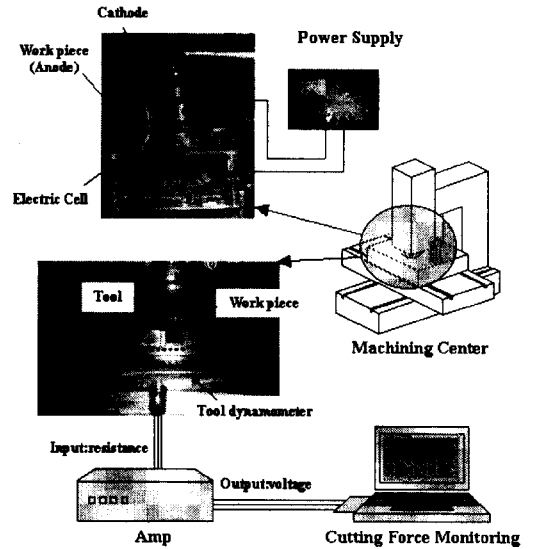


Fig. 2 Illustration of experimental set-up

Table.1 Experimental set-up and machining conditions

Case		A	B
Workpiece (25 x 30 x 15 mm ³)		S45C (H _B 200)	
Cutting tool		φ6	φ2
Cutting cond.	Spindle speed [rpm]	2000	10000
	Feed [mm/min]	740	3500
Electrolysis cond.	Electrolyte	Sodium Nitrate	
	Concentration [%]	20, 1.0	10
	Applied voltage [v]	10	10
	Applied time [sec]	30	30
	Electrode gap [mm]	5	

고 부동태화가 발생하기 쉬운 것으로 알려진 질산나트륨(NaNO₃) 수용액을 사용하였다. 절삭저항 특성 실험에서는 정면 밀링(Face milling)을 이용하여 기준면을 생성하였으며, 전해조 내에 전극을 설치하고 전해액을 공급한 후에 전압을 인가하였다. 이와 같은 상태에서 일정시간을 유지한 후에 전원을 차단하고 절삭가공을 수행하였다. 표면거칠기 특성 실험에서는 블엔드밀을 이용하여 기준면을 생성하고 나머지는 동일한 방법으로 가공하였다. 실험결과는 각각의 실험에서 절삭력과 표면상태 및 거칠기를 측정하여 전해복합의 효과를 평가하였다..

4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭저항 감소 효과

전해복합 절삭과 일반절삭에서 발생하는 절삭력을 비교하였다. Fig.3은 실험에 사용한 질산나트륨의 수용액 농도에 따른 전압-전류밀도 곡선을 나타낸다. 인가전압이 낮은 경우에는 전해액의 농도에 따른 영향이 작아지는 것을 예상할 수 있고, 농도가 1%이하에서 변할 때에는 전압이 상승하여도 전류밀도가 크게 변하지 않는다. 또한 전해액 농도가 1%이하이면 가공 효율면에서 불리한 것으로 추정된다. 본 결과로부터, 동일한 농도에서는 전압의 증가에 따라 일정한 기울기를 가지고 전류밀도가 증가한다는 사실을 확인할 수 있다^{[4][5]}.

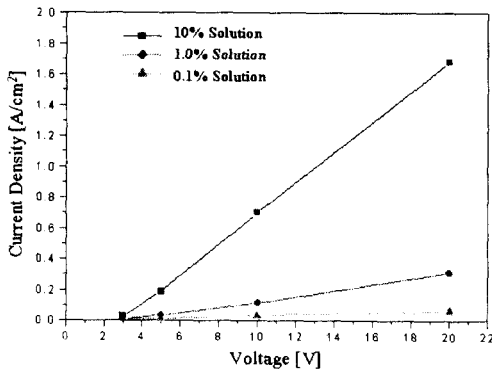
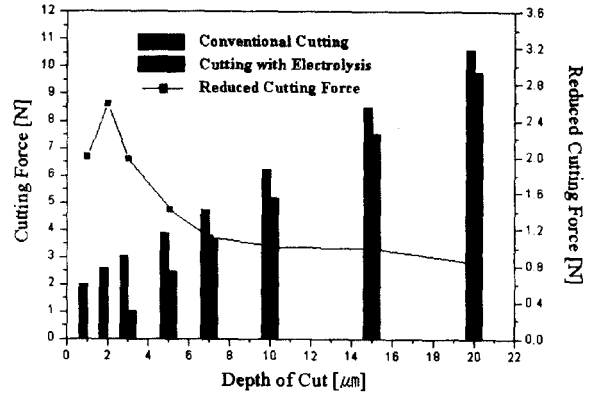


Fig.3 Current density-Voltage curve of experiment

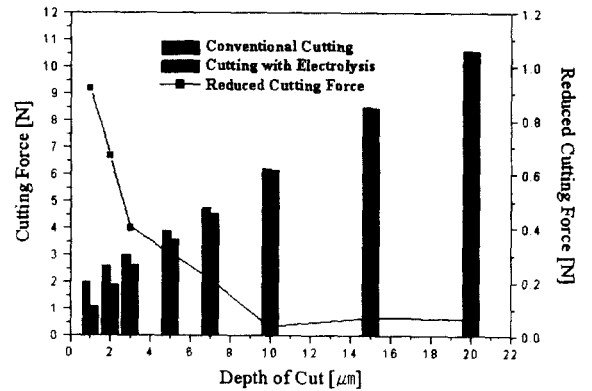
Fig.4 (a), (b)에 일반절삭과 전해복합 절삭 시 발생하는 절삭력과 절삭력 감소량을 나타낸다. 전해 시에 전기적 조건에 따라서 크게 두 가지 형태로 절삭력이 감소하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 비교적 농도가 낮은 1.0% 질산나트륨 수용액과 10V의 전압을 인가한 (a)의 결과에 의하면, 1 μm의 극히 작은 절입 조건에서는 절삭력이 일반절삭에 비해 약 1/2로 크게 감소하지만 절입량을 점차로 증가시키면 절삭력의 차이가 감소하여 약 절입량 10 μm에서는 일반절삭과 같은 값을 갖는 것으로 나타났다. 따라서, 본 결과로부터, 동 전해조건에서는 두께 1 μm전후의 극히 얇은 산화 막이 형성된다는 것으로 판단할 수 있다. 한편, (b)에는 질산나트륨 20% 수용액과 전압 10V를 인가한 후의 절삭실험 결과를 나타낸다. 깊이 방향으로 2 μm까지 전해용출이 진행되어 공구와 공작물이 접촉하지 않고, 3 μm부터 절삭력이 측정되는 사실로부터 전기(a)의 전해조건에 비하여 전해용출이 보다 활발하게 진행된 것을 확인할 수 있다.

4.2 표면 거칠기 특성

전기의 실험결과를 통하여 전해복합에 의한 절삭력의 감소효과를 확인하는 것이 가능하였다. Fig.5



(a) Loose electrolytic condition



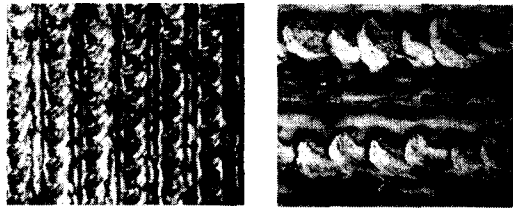
(b) Excessive electrical condition

Fig.4 Cutting force with different electrical condition

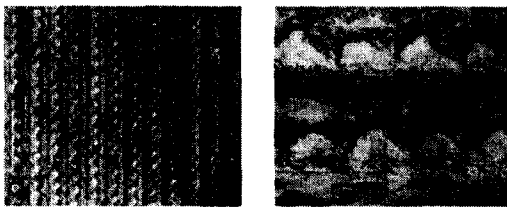
는 전해복합에 의한 절삭표면의 성상의 차이를 관찰한 결과이다. (a)는 일반절삭 시의 표면상태로서 공구의 중심점 부근으로 수용물이 모양의 흔적들이 반복적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 볼랜드밀 공구의 중심점으로 갈수록 절삭속도가 제로에 가까워져서 플로잉(Plowing)을 동반한 소성변형이 발생한 결과로 생각할 수 있다. 반면, (b)는 전해복합에 의한 절삭가공의 표면상태로서, 일반절삭과 비교하여 가공흔적의 배열이 더 작고 조밀해지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 절삭상태의 차이는 전해복합에 의해서 부동태 피막이 생성됨으로써 실제 절입 깊이가 감소되어 전술한 플로잉을 동반하는 소성변형량이 감소한 결과에 기인하는 것으로 추정된다. 전해복합 절삭의 효과를 더욱더 높이기 위하여 전해후 동일한 공구경로를 CUSP가 가장 크게 되는 공구이송 피치와 피치 사이의 중간지점으로 절삭공구를 옮겨서 절삭한 결과를 (c)에 나타낸다. 전해복합 절삭 시에 나타났던 공구 중심점에 의한 흔적이 상당량 제거되며, 전체 가공면에서

CUSP 상단부분에 신생면이 생기고 그 주위의 표면에 전해 흔적이 남아 있는 것을 알 수 있다.

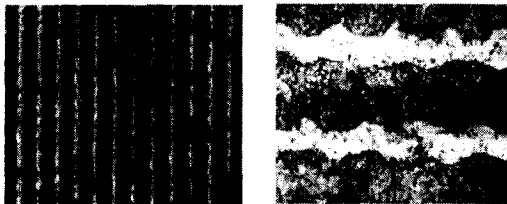
Fig.6 는 각 가공방법으로 실험한 절삭면의 표면 거칠기를 측정된 결과이다. 일반절삭에 비해 전해가공을 복합하면 Ra 값보다는 Rmax 값이 더 많이 감소하며 이는 전해현상이 CUSP 의 상단의 뾰족한 부분에 집중되는 결과로 추정된다. 전체적으로 가공면의 표면거칠기는 50% 가량 향상되며, Ra 값은 일반절삭에서 2.1 μm , 전해복합절삭에서 1.2 μm , 전



(a) Conventional cutting



(b) Cutting with electrolytic machining



(c) Cutting with electrolytic machining & offset

Fig. 5 Views of machined surface (200 x 400)

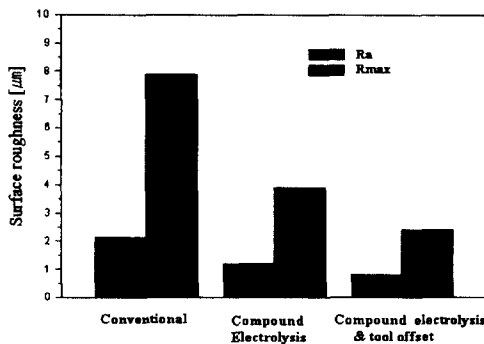


Fig.6 Surface roughness with cutting method

해복합과 공구오프셋을 동시에 수행한 경우에는 0.80 μm 으로 나타났다

5. 결론

본 논문에서는 볼엔드밀 절삭가공에서 전해복합에 따른 절삭력 특성과 표면거칠기의 형성과정을 조사하였다. 연구를 통하여 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 금속표면을 전해가공하면 것은 산화의 강도가 금속 원래의 강도보다 현저하게 감소하여 절삭 시에 절입 깊이가 감소하는 것과 동일한 효과가 얻어진다.
2. 절삭력 감소 효과는 전해에 사용된 전해가공 조건 중에 전해액의 농도와 인가전압에 크게 영향을 받는다.
3. 전해복합 절삭에서는 적절한 조건을 도입하면 표면거칠기의 향상효과를 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 기계 부품 및 소재 특성평가 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. T. Nakagawa, 'High-Speed Milling for Die and Mold making', Int. Mach. Tool Tech. Seminar, 2000
2. 永田眞生, 若林公宏, 山田眞樹, 増澤隆久, "電解による切削抵抗低減効果を利用した微細切削", 日本電氣加工學會, Vol.33.No.74, 1999.
3. 佐藤教男, "金屬の不動態化と表面不動態皮膜", 電氣化學 Vol.46, N0.11, 1978.
4. 佐藤敏一, "電解加工と化學加工", 韓倉書店, 1970.
5. 杉江他曾宏, 藤井 知, 山川宏二, 吉澤四郎 "電解加工における種な鐵鋼材料の電流密度と加工性能", 電氣加工學會, Vol. 46. No. 3, 1978
6. J. P. Caire, E. Chainet, B. Nguyen, P. Valenti, "Study of a New Stainless Electropolishing Process", E.N.S. d'Electrochimie et d'Electrometallurgie, pp.149~156