

금형의 복합연마 특성에 관한 연구 (A Study on the Intergrated Finishing Charateristics for dies and molds)

박준민*(부산대 대학원*), 정해도†(부산대 기계공학부†)
Jun-Min Park* , Hae-Do Jeong†

ABSTRACT

Automatic finishing process requires the development of high efficient and precision abrasive machining method for die and molds. This study describes the evaluation of the finishing characteristics, such as sufrage roughness, topography and material removal depth, of the electrolytic chemical mixed abrasive machining method. Experimental setup is composed of 3 axis machining center, a newly developed finishing attachment with constant pressure, electrode and electrolytic bath. Finally, we achieved a successful result that surface roughness is $0.01\mu\text{m}$ Ra and material removal depth is $145\mu\text{m}$ after 100 times repeat-finishing using electrolytic(0.8A, 30V) mixed abrasive (#400 CBN, #320 SiC) machining method.

Key Words : electrolytic mixed abrasive machining, 3 axis machining center, finishing attachment

1. 서론

금형의 제조공정에 있어서 마지막 공정인 연마가 공은 표면품위(Surface integrity)를 향상하기 위한 제거가공의 하나로서, 전체 공정시간의 30%~50%를 점유하고 있다. 따라서 전 공정시간의 단축과 고정밀, 고품위의 금형연마가공에 대한 연구의 중요성이 점차 증대해가고 있다. 그리고 이러한 연마공정의 대부분은 고도의 숙련공에 의해 이루어지므로 다량의 금형을 높은 재현성을 갖고 가공하기 위해서는 자동화의 요구가 절실한 실정이다. 그 일환으로, 자동연마에 있어서 연마가공기술 자체에 대한 고능률화 및 고품위화를 실현하기 위한 연구가 진행되고 있다.[1]

본 연구에서는 연마자동화를 위하여 현재 절삭가공에 널리 보급되어 있는 3축 머시닝센터를 이용하고, 연마 Attachment를 개발하여 장착함으로써, 일반적인 연마가 가능하도록 개량하였다.

그리고, 연마의 고능률 및 고품위화를 도모하기 위하여 고정입자(Bonded abrasives)인 CBN숫돌과 자유입자(Free Abrasives)인 SiC(#320)를 이용하여

전해복합연마를 시도하였다.

복합연마에 따른 실험결과는 표면거칠기(Surface roughness), 연마제거량(Material removal rate), 스톤표면상태(Stone surface topography), 연마가공상태(Finished surface topography) 및 단면형상 등을 측정하여 평가하고 고찰하였다.

2. 복합연마의 원리

일반적으로 입자가공(Abrasive Machining)은 연삭(Grinding)과 연마(Finishing)으로 대별된다. 연삭은 다수의 고정입자를 이용하여 일정 이송속도(Constant feedrate)로 제거 가공하는 반면, 연마는 다수의 자유입자로 일정한 압력(Constant pressure)으로 제거 가공하는 가공법이라고 말할 수 있다.

본 논문에서 언급될 고정입자연마는 메탈, 레진 및 유리질 등의 결합체가 입자를 고정한 형태인 스톤을 이용하여 일정한 압력에 의해 기계적 연마하는 방식이다. 그리고 전해연마는 도전체인 가공물과 공구에 각각 (+) 및 (-)전원을 연결한 후, 통전성이 우수한 NaCl수용액을 흘려 보내어, 가공물 표면을 전

기 화학적(Electro-chemical)으로 제거하는 연마방식이다. 혼합형(고정+자유)입자연마는 슷돌과 자유입자를 함유한 수용액(슬러리)를 함께 이용하여 정압에 의한 기계적 연마법이다. 본 논문에서 언급되는 복합연마(Integrated Finishing)는 전해혼합형입자연마법(Electro-Chemical Mixed Abrasive Finishing : ECMAF)이다.[2]

복합가공의 원리는 가공물을 양극(+), 공구를 음극(-)으로 하고, 전해액에 전해전류를 흐르게 하여 양극의 가공물을 전해액 속으로 용출(溶出)하게 하는 전해가공의 원리와 이에 SiC 자유연마입자가 함께 전가공면의 pick부위를 선택적으로 제거하게 한다. 결국 가공 메카니즘은 전기화학적 용출과 기계적 제거의 상승효과에 의해 제거능률을 향상하고, 화학적 표면처리에 의해 표면거칠기를 향상시킨다고 설명할 수 있으며, 그 개념도는 그림1에 나타내었다.

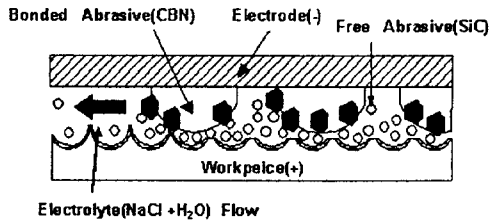


그림1. 복합연마의 개념도[3]

즉, 복합연마는 슷돌의 회전력과 스프링에 의한 가압으로 인해 자유입자가 전가공면의 골부분에 머물면서 전가공면의 날카롭고, 뾰족한 산부분을 선행가공하게 되고, 이러한 산부분이 존재함으로써 자유입자의 골부분에 대한 가공량은 미세할 것이다. 또, 여기에 고정입자가 산부분을 가공하게 되므로 상승효과를 기대할 수 있다. 즉, 자유입자와 고정입자는 산부분을 선택적으로 가공하게 되는 것이다. 이에 따라 슷돌면의 마모 및 고정입자(CBN)손상을 줄임과 동시에 제거속도는 향상시킬 수 있다.

3. 실험장치

3.1 장치의 구성

본 연구에서는 평면금형에 대한 연마특성을 실험하기 위해 제작된 전체시스템의 개략도는 그림 2에 나타내었다. 일정 압력을 유지하기 위한 기구로서

스프링을 부착하였다. 스프링의 탄성계수는 공구동력계(KISTLER type 5019A)를 이용하여 측정하였고, 그 값은 3.92N/mm이다. 선행실험의 결과로부터 실험의 기계적인 parameter와 가공조건을 표1과 같이 고정하고, 전해가공에 대한 복합연마의 특성을 파악하였다.

표1. 실험조건

workpiece	STD 11(JIS SKD 11)
wheel grain size	#100,#200,#400,#800,#2000
electrolyte	NaCl 20 wt%
current	7 A
pulse width	$\tau_{on} : 2\mu s, \tau_{off} : 2\mu s$
Spindle rpm	800
load	19.5 N (6.5N/cm ²)
feedrate	200mm/min(0.25mm/rev)

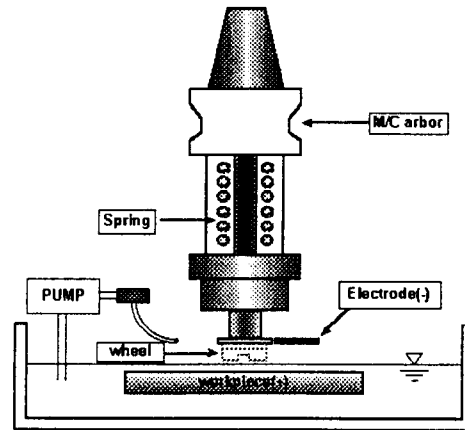


그림2. 실험장치의 구성도

3.2 슷돌

본 실험에 사용된 슷돌은 결합재가 주철인 CBN 슷돌을 사용하였으며, 슷돌의 단면과 밑면형상을 그림3에 나타내었다. 주철스�돌은 일반 연삭스�돌에 비해 고강도를 가지며, 내마모성이 우수하여 가공표면의 품질향상은 물론 드레싱성도 양호한 장점이 있다. 또한 주철 matrix는 다른 메탈본드 슷돌에 비해서 피연삭성이 좋기 때문에 연삭비는 떨어지지 않으며, 장기간의 가공을 행할 수 있다.

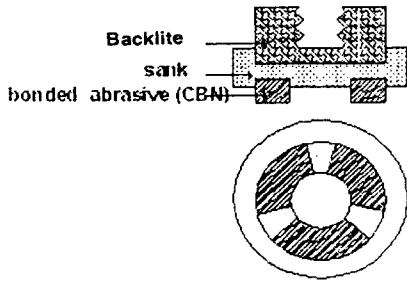


그림3. 주철숫돌의 형상

숫돌의 형상은 3개의 segment가 조합된 형태인 중공형으로 구성하였으며, 연마액의 순환 및 칩의 배출이 원활할 수 있도록 밀면에 부채꼴형의 홈이 나도록 설계되었다. 또 전체 시스템과의 절연을 위해서 sank의 뒷부분에 절연체인 백그라이트(backlite)를 사용하여 볼 스플라인 샤프트(Ball Spline Shaft)와 볼트체결이 가능토록 하였다.

3.3 전해전원

전해장치의 전원 공급은 FUJI ELIDER 910(FUJI DIES Co.)를 이용하였다. 본 실험에서는 전해가공조건을 선행실험의 결과로부터 선택하여 표1 과 같이 고정하여 실험을 수행하였다.

공구의 전극은 carbon brush를 통해 회전체인 숫돌 끝단에 전원이 공급되도록 설치하였으며, 인가전류(Ip) 및 인가전압(Vp)에 대하여 측정전류와 전압은 각각 800mA와 30V로 나타났다.

3.4 전가공면

노즈반경이 10mm인 초경(WC)볼 엔드밀을 이용하여 표2와 같은 절삭조건으로 연마실험을 위한 전가공면을 형성하였다.

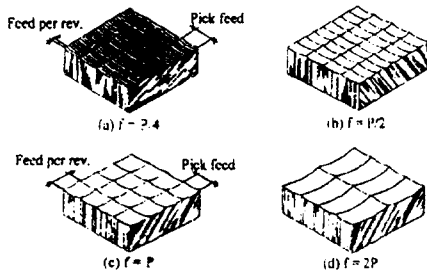


그림 4. fp concept 모델

표2. 전가공면의 절삭조건

spindle rpm	800
feedrate	400mm/min(0.5mm/rev)
pickfeed	0.5mm
cutting depth	0.5mm

식(1)에 표2의 절삭조건을 대입하면 가공면의 이론적 표면거칠기(Rth)는 약 3 μ m이 된다. 그림 4에서와 같이 피크 피이드량 p와 한날당 이송량 f를 동일하게 가공하는 fp concept을 이용한 실제의 형상 modified profile은 그림 5와 같이 이론식에 접근하고 있음을 알 수 있다.

$$R_{th} = \frac{f^2}{8R} \dots\dots\dots\text{식(1)}$$

(Rth : 이론적 표면거칠기 R : 공구반경 ,
f : 공구날당 이송량)

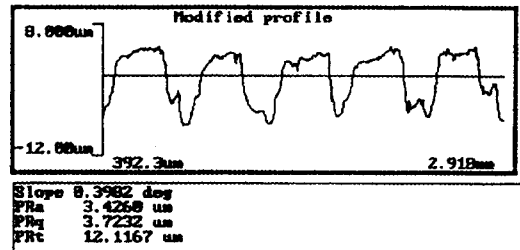


그림5. 전가공면의 형상 modified profile

그림4는 fp concept의 모델을 나타낸다. 즉 피크 피이드량 p와 공구 한날당 이송량 f를 동일하게 (f=p)할 경우 절삭가공면의 형상(modified profile)은 직교양방향에서 동일하게 나타난다. 표2는 연마 전가공을 위한 절삭조건을 나타낸다. f=p=0.5mm로 설정하였을 때 절삭면의 표면거칠기(p-v value)는 약 3 μ m이 된다. 실제 절삭 후, 표면을 측정하여 그림 5와 같이 형상과 표면거칠기 값이 이론치에 접근하고 있음을 알 수 있다. 본 실험의 표면거칠기는 Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2로써 표면거칠기를 평가하였다.

3.5 실험방법

연마실험은 볼 엔드밀 절삭공구 이송방향으로 연마공구를 이송시켰을 때 연마방식 및 조건은 표3 과 같이 4가지의 방법을 선정하여 연마특성을 비교

평가하였다.

실험에 사용한 연마액은 전해액으로 대용하고, #320 SiC입자는 전해액에 20 vol%로 넣어 슬러리 상태로 순환과 동시에 교반시키며 실험을 수행하였다.

표3. 연마실험 방식 및 조건.

연마방식	연마조건
고정입자연마(a)	CBN숫돌을 일정가압(19.5N) + NaCl 20wt%의 전해액
전해고정입자연마(b)	(a)의 조건 + 전해전원공급 (800mA, 30V)
혼합형 입자연마(c)	(a)의 조건 + SiC(#320)입자
복합연마(d)	(b)의 조건 + SiC(#320)입자

4. 실험결과

4.1 표면거칠기

표3의 각종 연마방식에 따라 연마가공한 결과를 그림8에 나타내었다. 이때 적용한 숫돌은 입도 #800의 주철본드 CBN숫돌이다.

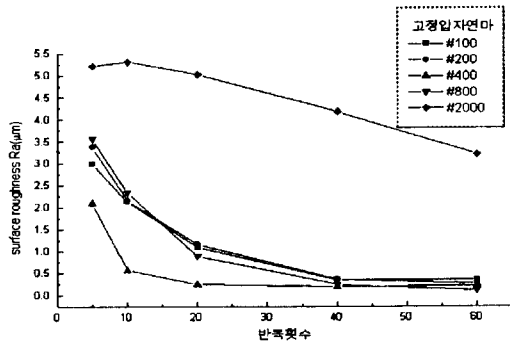


그림6. 고정입자연마 입도에 따른 표면거칠기

그림6과7에서 연마면 거칠기는 단순한 고정입자 연마에 비해 고정입자에 전해를 가하거나 자유입자(SiC)를 첨가한 전해고정입자연마 및 혼합형 입자연마가 우수함을 알 수 있다. 전해고정입자연마의 경우는 연마반복횟수의 증가에 따라 표면거칠기 값(Ra)이 고정입자 연마보다 가파른 기울기를 갖는다. 이는 전해에 의한 용출이 표면거칠기 향상에 효과적인 것으로 사료된다. 혼합형입자연마는 반복횟수 20회 이전에 표면거칠기 값이 급격히 감소함이 뚜렷하

며, 고정입자(CBN #800)보다 입도가 큰 자유입자(SiC #320)가 적극적으로 연마에 참여하였음을 입증하였다.

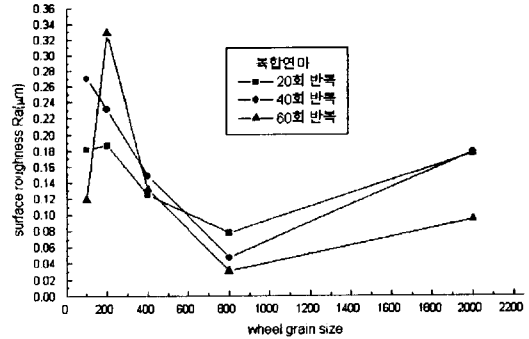


그림 7. 복합연마에서 반복횟수에 따른 표면거칠기

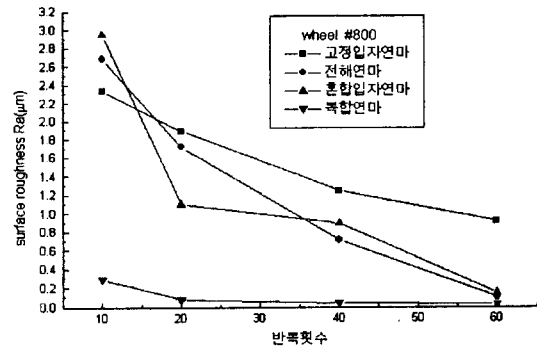


그림8. 연마방법에 따른 표면거칠기

복합연마 즉, 전해혼합형입자연마는 그림8에서 나타낸 바와 같이 반복횟수 10회에서 이미 0.2 μ m Ra를 얻을 후 60회 반복한 후에는 0.01 μ m Ra의 경면에도달하였다. 이는 복합연마가 단시간내에 목표연마면 거칠기에 도달하기 위해서는 가장 효과적이고 전해에 의한 전기화학적 용출, 고정 및 자유입자에 의한 기계적 제거작용의 상승효과에 의해 연마 반복횟수 20회 정도에서도 전해 및 혼합형입자연마에 비해 20회 이상의 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다.

4.2 연마제거량

연마방법에 따라 연마제거량과 숫돌의 마모량을 그림9에 나타내었다. 고정입자연마의 경우에 비해 복합연마가공이 재료제거량의 면에서 2.5배 정도의 능력을 보임을 알 수 있으며, 숫돌의 마모에서는 고정입자의 경우가 마모량이 가장 작음을 알 수 있다.

그러나, 단순기계적 제거에 의한 연마 방식보다 경제적인 측면에서 복합연마의 경우가 고정입자의 경우보다는 효과적임을 알 수 있다.

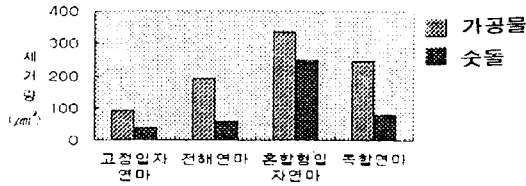
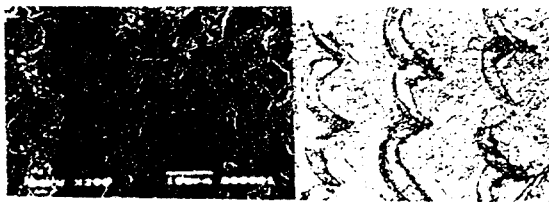


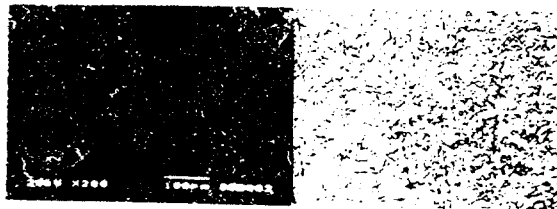
그림 9. 연마방법에 따른 연마제거량

4.3 숫돌 및 가공면의 평가

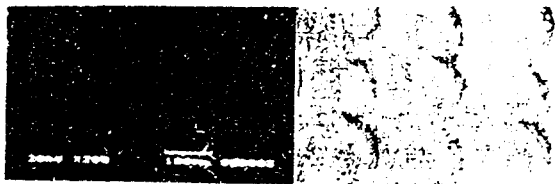
숫돌의 SEM사진과 연마면의 공구 현미경사진($\times 50$)을 그림10에 나타내었다. 숫돌의 SEM사진에서 연마가공 전후를 통하여 볼 수 있듯이, 다른 연삭연마에 비하여 복합연마의 경우가 CBN 입자가 마모 정도가 낮고, 주철결합제도 여전히 유지됨을 알 수 있다. 이는 복합연마가공에서의 이점을 뚜렷이 나타내고 있다. 또, 가공면에서도 고정입자연마나 혼합형입자연마의 경우 전가공면의 절삭공구의 궤적이 많이 잔존하지만 전해연마나 복합연마의 경우에는 전가공면이 완전히 제거된 연마면을 보여주고 있다.



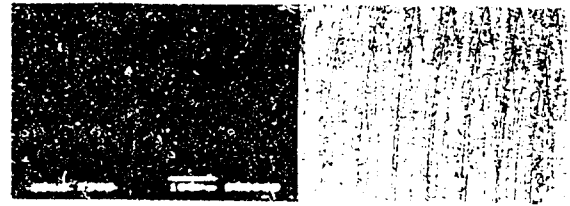
㉑고정입자연마 후



㉒전해연마 후



㉓혼합입자연마 후



㉔복합연마 후

그림10. 숫돌의 SEM사진과 가공물의 현미경사진

5. 결론

본 실험의 결과로부터, 복합연마가공이 능률면에서나 공작물의 품위면에서 우수한 특성을 지닌다는 것을 알 수 있었다. 즉, 복합연마가공의 특성을 요약하면 아래의 4가지 특성으로 요약된다.

- ① 기계적 가공과 전해가공의 복합으로 가공능률 및 공작물의 품위 향상에 기여한다.
- ② 복합연마의 경우 다른 연마가공방법보다는 뛰어난 연마제거량을 보인다.
- ③ 본 실험에서 사용된 연마입자(#320 SiC)와 최적의 숫돌입도는 #800이었으며, 그 효율이 극대화되었다.
- ④ 연마입자의 grain size와 숫돌입도와의 최적의 관계가 있음을 알 수 있다.

본 실험에서는 평판에 대해서만 그 특성을 파악하였으나, 곡면금형이나 다른 연마입자와의 관계에 대하여 앞으로 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 실험을 위해 도움을 주신 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC)에 본 실험의 결과와 함께 감사의 글을 올립니다.

참고문헌

1. 이두찬 : 금형 자동연마의 최적조건선정 전문가 시스템 개발, 한국정밀공학회 秋季學術大會 論文集 1996, pp. 519-523
2. Masahiro YOSHIDA : 電解研削による曲面の仕上げ加工, 日本 砥粒加工學會誌 Vol. 37, pp. 34-40 No.2 1993 MAR.
3. 溝宮 絏一 : 電解砥粒鏡面仕上げ方法および装置, 日本 砥粒加工學會誌 Vol. 37 No.4 1993 JUL. pp. 51-56.