

# 주철본드 다이아몬드 펠릿에 의한 프레스 금형의 고능률 연마가공 (1)

황찬해\*, 유기태\*, 정해도\*\*, 안대균\*\*\*

## High Efficient Finishing Process for Press Dies by Cast Iron Bonded Diamond Pellet (1)

Chan Hae Hwang\*, Kee Tae Yoo\*, Hae Do Jeong\*\*, Dae Kyun Ahn\*\*\*

### ABSTRACT

The finishing process for dies and molds is directly related to finished surface quality, but many parts of process depend on human labor which needs much time and value. So automatic finishing machine has been produced for dies and molds, and applied widely for finishing process. Conventionally finishing machine has applied resin bonded finishing pad as a tool, but the removal ability of pad decreases greatly as finishing process goes on. In the finishing mechanism for dies and molds, finishing process is affected severely by cutting process, so can be divided into removing cusp and smoothing surface process. So, this study investigated the application of cast iron bonded diamond pellet for press dies, which is considered to have better characteristics than the other metal bonded pellets. The finishing characteristics were compared the between finishing pellet and pad. And finishing performance was appraised as the several cutting surfaces.

**Key Words** : high efficient finishing (고능률연마), finishing pad (연마패드), cast iron bonded diamond pellet (주철 본드 다이아몬드 펠릿)

### 1. 서론

금형은 제품생산에 널리 이용되는 필수적인 도구로써 그 가공기술은 제품의 성능을 결정짓는 필수적인 요소이다. 최근 제품은 점점 다양화, 소형화, 고기능화 되고 있으며 그 수명(life cycle)이 점점 짧아져 가고 있다. 이에 따라 그 부품들 역시 더욱 다양화되고 빨리 변화하게 되며 이는 곧 금형의 빠른 제작, 고품위 등과 직결된다. NC공작기계를 이용하여 엔드밀로 금형을 가공하는 경우 가공 후에 존재

하는 cusp의 제거가 필수적이며 이는 곧 최종품위와 연관된다. 프레스 금형은 주로 자동차 산업이나 중공업 분야에 주로 이용되며 그 크기나 가공제품의 특성상 cusp의 고능률 가공이 필수적이다. 금형의 재료는 일반적으로 난삭재이며 강한 인성과 내마모성을 가지고 있다. 또 절삭가공면의 형상(modified profile)에 따라 힘든 환경의 가공이 될 수도 있으므로 연마공구의 충분한 수명과 내구성이 필수적이다. 프레스 금형의 경우 가공후 도장이나 다른 후처리가 필요하므로 경면의 표면처칠기보다

\* 부산대학교 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부

\*\*\* 한국공작기계 기계기술연구소

는 제품을 직접 가공했을 경우 그 형상(Profile)의 오차나 균일한 표면거칠기가 우선시 된다. 따라서 프레스 금형 연마는 일단 표면 cusp를 먼저 제거하고 평탄화된 표면에서 표면거칠기 향상을 위한 가공으로 연계되는 것이 바람직하다. 그러므로 초기 cusp제거 가공에서는 거친 입도의 연마가공을 통한 고능률 가공을 실행하고 cusp가 완전히 제거된 이후 표면거칠기를 향상시키는 연마형태로 연계시키는 것이 시간적이나 경제적인 측면에서 유리하다. 따라서 본 연구에서는 고능률로 cusp를 제거하고 그 가공능력을 일정하게 유지할 수 있는 연마펠렛을 개발하고 그 연마특성을 현재 금형 연마가공에 널리 이용되는 연마패드(flat type)와 비교하였다.

## 2. 주철본드 연마펠렛 개발

일반적으로 입자가공(Abrasive Machining)은 연삭과 연마로 나뉘어 지며 그 가공방식은 서로 다르다. 연삭가공은 일정한 제거량(Constant feed)을 공작물에 전사(Motion control)하는 방법이며 연마가공은 일정한 압력(Constant pressure)을 공작물에 전사(Pressure control)하는 방법으로 가공방식이 대별된다<sup>(1)</sup>고 할 수 있다.

본 연구에서는 고정입자 연마방식을 채택하고 메탈 본드 연마펠렛을 직접 제작하여 일정한 압력으로 금형의 절삭 작업후 남아있는 cusp를 고능률로 연마제거하고 그 특성을 비교 평가하였다.

주철 본드는 Cu, Co등과 같은 일반적인 메탈본드에 비해, 고강도이고 취성이 있으며 자기 윤활성을 구비하고 있다. 또한 주철 본드는 눈막힘이 잘 생기지 않으며, 드레싱성이 양호하고, 연삭비가 매우 높다. 또한 다른 메탈본드에 비해 피 연삭성이 우수하므로 가공 중에 자연히 눈세움이 이루어져 연삭비를 떨어뜨리지 않고 드레싱 없이도 장시간 사용이 가능<sup>(2)</sup>하다. 이번 실험에 사용된 주철입자의

화학조성은 Table 1에 나타내었다.

먼저 연마입자(Diamond/CBN)와 카보닐 철분, 주철 분말등을 넣고 고르게 섞은후 금형에 고르게 충전시킨다. 이때 분말이 압력을 받는 금형 면적에 고르게 충전되지 않으면 분말이 받는 성형압력이 각 부위마다 다르게 되므로 고르게 충전하는 것이 중요하다. 그 다음 프레스를 이용하여 8ton/cm<sup>2</sup> 압력으로 냉간 성형한다. 그후 전기로를 이용하여 1040℃정도에서 소결한후 truing과 dressing과정을 거친다. 연마가공은 집중도(Concentration)가 너무 높으면 오히려 표면에 손상을 줄 수 있고 형상이 변할 수 있는 등 연마에 적합하지 않으므로 75정도로 하였다. 주철은 그 자체가 냉간 성형성이 매우 떨어지는 분말이다. 따라서 냉간 성형시 금형에서 분리해 내는 과정 중 금형의 세그먼트에서 크랙이 발생해 부스러지는 경우가 많았다. 그래서 냉간 성형성을 높이기 위해서 되도록 고압으로 성형을 하였고 또한 주철에다 카보닐 철분을 섞으므로써 다이아몬드입자에 대한 결합 유지력을 견고하게 하는데 주안점을 두었다. 아래 Table 2는 제작한 도우넛형의 펠렛의 제작 조건을 나타낸다.

Table 2 Finishing pellet specification

분말(결합제)	주철분말(C 3.82%, density 6.688g/cm <sup>3</sup> ) 카보닐 철분(C 0.0%, density 7.79g/cm <sup>3</sup> )
원형 전기로	1040℃ (H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> condition)
냉간 프레스	40ton (8ton/cm <sup>2</sup> )
집중도	75 (3.3ct/cm <sup>2</sup> )
연마 입자 (#100/120)	Diamond (GE MBG 620) CBN (TYPE-1)
펠렛 크기	O,D 16, T3, I.D 8 O.D 30, T3, I.D16

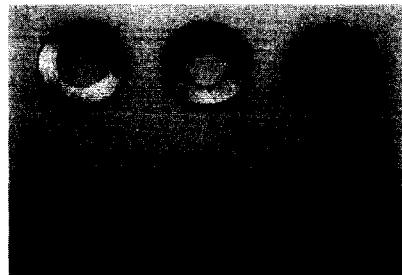


Fig. 1 View of cast iron bonded finishing pellets

Table 1 Chemical composition of cast iron in experiment

Chemical composition	C	Si	Mn	P	S	Fe
Wt(%)	3.02	3.00	0.57	0.216	0.103	92.3

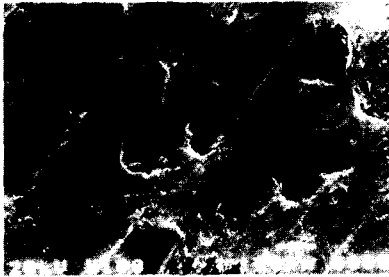


Fig. 2 SEM photo for finishing pellet

Fig. 1,2는 실제 제작한 연마 펠렛의 외관과 SAM을 이용한 조직을 나타낸다.

### 3. 실험방법

Table 3에 나타난 절삭조건으로 가공된 절삭 가공면에 대하여, 제작한 펠렛을 이용하여 실험을 실시하였다. 이때 가공중 일정한 가공압력을 주기 위하여 Fig. 2에 도시된 형태의 스프링 가압력에 의한 attachment를 이용하여 머시닝 센터에서 실험하였다<sup>(3)</sup>.

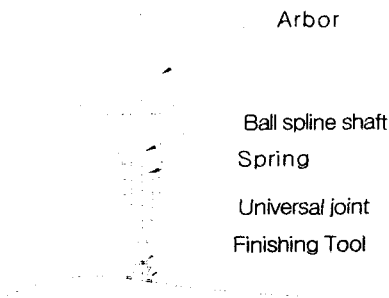


Fig. 3 Construction of finishing attachment

실제 제작된 펠렛을 가지고 프레스 금형의 연마 실험을 실시하였다. 1 차적으로 금형의 절삭가공에서 엔드밀로 절삭후 남은 cusp를 빨리 제거하는 고능률 가공에 초점을 두었다. 비교대상으로는 현재 널리 사용되고 있는 연마패드(#100/120, Diamond

coated flat pad)를 사용하였다. 가공물의 재질은 금형 재료로서 많이 이용되고 있는 금형강 (SKD11)이다<sup>(4)</sup>. 금형의 절삭 가공조건은 다음과 같으며 공구는 볼엔드밀( $\phi 10$ )을 사용하였다.

Table 3 Cutting conditions of SKD11 press dies

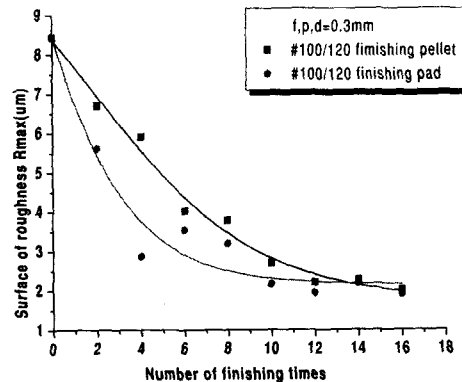
	specimen 1	specimen 2	specimen 3
spindle speed	1000 rpm	1000 rpm	1000 rpm
feedrate	300mm/min	500mm/min	700mm/min
pickfeed	0.3 mm	0.5 mm	0.7 mm
cutting depth	0.3 mm	0.5 mm	0.7 mm

위의 절삭조건을 바탕으로 하여 실제 연마가공을 실시하였다. 초기 절삭가공면의 상태는 연마상태에 영향을 미치는 그 첫 번째 인자<sup>(5)</sup>라 할 수 있으며 연마면의 상태를 결정하는 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 연마가공의 특징에 맞게 일정한 가공압력을 줄 수 있는 attachment를 이용하여 수직형 머시닝 센터에서 실험하였다. 연마실험 조건은 다음과 같다.

Table 4 Finishing condition for press dies

spindle rpm	1000 rpm
feedrate	200 mm/min
load	(20N/cm <sup>2</sup> )

### 4. 실험결과



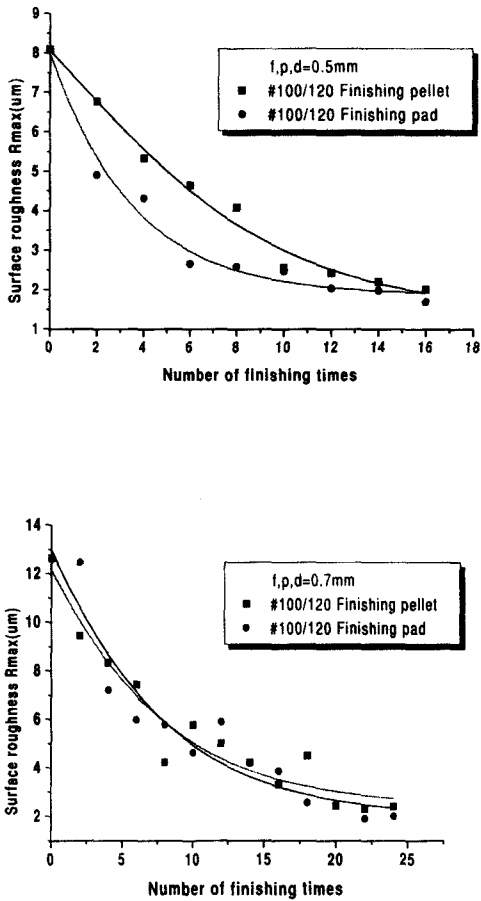


Fig. 4 Comparison of surface roughness generated for several cutting surfaces by finishing pellet and pad

Fig. 4는 Table 3의 조건으로  $f$ (feedrate/rev),  $p$ (pickfeed),  $d$ (depth)를 각각 0.3, 0.5, 0.7으로 시편을 절삭 가공한후 Table 4의 조건으로 연마가공을 실시후 그 가공횟수에 따른 표면거칠기를 측정된 결과이다. 표면거칠기의 측정은 Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2를 이용하였다. 위의 그래프에서 볼 수 있듯이 표면거칠기의 경우 연마패드가 연마펠릿보다 더 우수함을 알 수 있으나 연마패드의 경우 가공면에 cusp가 존재하여도 그 표면거칠기는 거의 최종 표면거칠기와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 연마펠릿은 그 연마특성상 가공면

의 표면거칠기가 연마패드에 비하여 거칠고 일정한 가공량을 가지므로 그 가공면의 표면거칠기와 cusp 제거과정이 거의 일치함을 확인할수 있었다.

Fig. 5는 볼 엔드밀( $\phi 10$ )을 이용하여  $f, p, d=0.5$ 의 조건으로 시편(SKD11)을 절삭가공후 Table 4의 연마조건으로 연마펠릿과 패드의 수명을 비교한 것이다. 즉 동일한 연마입자 크기의 주철본드 연마펠릿과 종래의 레진본드 연마패드에 대하여 공구를 교환하지 않고 20회씩 연속적으로 5개의 절삭가공된 시편( $50 \times 70\text{mm}$ )에 연마후, 그 제거깊이를 측정한 결과이다.

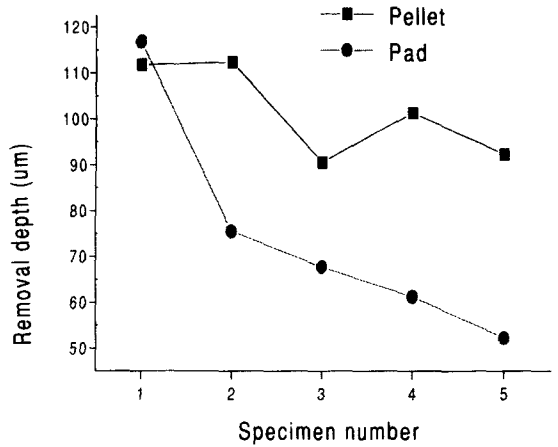


Fig. 5 Comparison of removal depth by finishing pellet and pad

실험 결과에 따르면 연마펠릿은 연마시편의 가공순서에 따라 한 시편에 대하여 평균  $100\mu\text{m}$ 의 제거깊이에 대략  $20\mu\text{m}$  정도의 편차를 가지며 어느 정도 일정한 가공능력을 갖지만 연마패드의 경우 초기  $120\mu\text{m}$ 의 제거깊이에서 5번째의 시편에서는  $55\mu\text{m}$ 로 연마능력이 점차 떨어지는 경향이 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 새로이 개발한 연마펠릿은 자생작용에 의하여 항상 새로운 연마입자를 생성하기 때문에 가공중 항상 일정한 가공량을 가지나, 연마패드는 자생작용이 없어 연마입자 눈막힘이나 연마입자의 과도한 탈락, 마모 때문에 그 가공량이 점차 감소하는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 연마펠릿의 가공횟수에 따른 제거 깊이를 나타낸 것으로 비교적 선형적으로 제거깊이가 증가하여, 연마제거 속도가 매우 균일함을 알 수 있다. 이는 제작된 연마펠릿의 연마입자들이 가공

중 탈락과 생성이 규칙적이어서 펠렛을 이용한 연마가공상태가 안정적임을 나타내며 또 주철본드 연마펠렛의 특징상 펠렛이 매우 견고하고 연삭비가 높으며 눈막힘이 잘 생기지 않으므로 장시간 연마가공이 가능함을 나타낸다.

연마패드의 경우 초기 펠렛보다 훨씬 많은 가공입자들을 가져 왕성한 가공능력을 보이거나 어느 정도 가공이 진행되면 단층구조이므로 한번 그 입자가 탈락되고 나면 또 다른 새로운 입자가 생성되지 않는다. 따라서 금형자동연마기를 이용하여 프레스금형과 같은 대량의 공작물을 가공시에는 적합하지



(a) before



(b) after

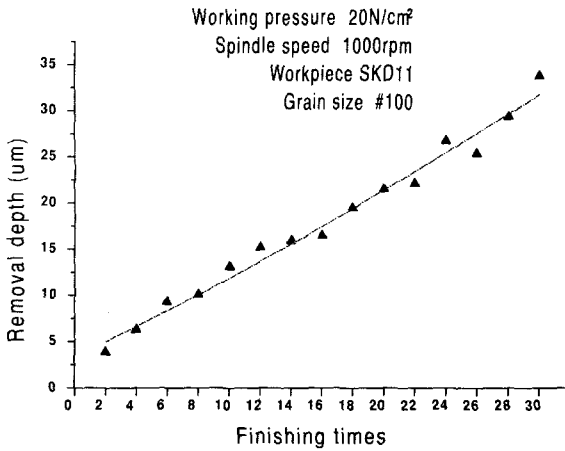


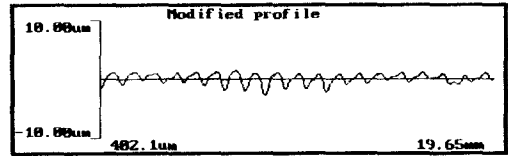
Fig. 6 Removal depth for finishing pellet generated by finishing times

않으며 자주 그 연마공구를 교환해야하는 불편함이 있다. 연마펠렛과 패드의 마모량을 서로 비교하기 위해 동일조건(공작물의 크기 200×145mm, cusp의 높이 40μm)으로 가공된 절삭 가공면을 펠렛과 패드를 이용하여 Table 4의 조건으로 각각 4번씩 가공하여 표면 cusp를 완전히 제거하였다. 가공후 정밀저울을 이용하여 연마공구의 마모량을 측정된 결과 연마펠렛은 1.6g정도 소모되었으나 패드는 공구현미경 관찰결과 연마 입자가 많이 마모되고 탈락되었다. Fig. 7은 가공전 연마패드와 위의 실험에서 실제 사용된 연마패드를 서로 비교한 사진이다. Fig. 8은 위의 조건에서 사용된 연마공구를 그대로 사용하여 동일한 조건으로 절삭 가공된 시편에 횡수별로 가공하여 그 profile을 Form Talysurf Series 2를 이용하여 측정하고 그 표면을 서로 비교하였다.

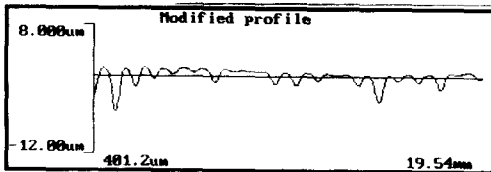
Fig. 7 Photo of finishing pad

측정결과 어느 정도 사용되고 난 패드는 펠렛보다 그 가공능력이 현저히 떨어짐을 알 수 있다.

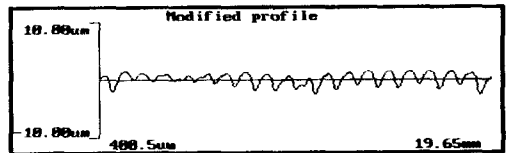
결과적으로 패드의 경우 처음가공의 경우 펠렛보다 왕성한 가공효율을 보이거나 어느 정도의 가공시간이 지나면 그 가공능력이 점점 떨어진다. 또 가공면이 거칠고 그 가공량이 많을 수록 그 차이는 펠렛에 비해 상대적으로 크게 나타난다. 표면거칠기의 경우 패드가 상대적으로 양호함을 보이거나 가공횟수가 늘어날수록 그 차이는 점점 줄어들음을 확인할 수 있었다. 따라서 대형의 프레스 금형에서 절삭작업후 남아있는 절삭면을 가공하기 위한 금형연마 작업에는 연마펠렛이 연마효율, 수명측면등에서 보다 효과적인 것으로 사료된다. 만약 A.T.C를 이용하는 금형자동연마기의 경우 연마펠렛은 패드보다 작은 수의 공구를 사용함으로써 무인작업에 더욱 적합할 것으로 사료된다.



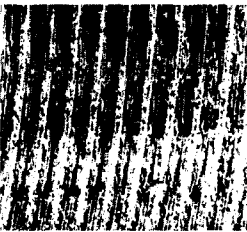
4 pass ( $Wa=0.652\mu m$ )



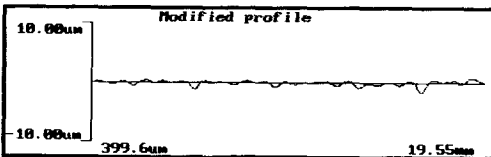
4 pass ( $Wa=0.766\mu m$ )



8 pass ( $Wa=0.486\mu m$ )



(b) finishing pad



8 pass ( $Wa=0.246\mu m$ )

(a) finishing pellet



Fig. 8 Comparison of surface roughness generated by finishing pellet and pad

## 5. 결론

본 실험에서 프레스 금형의 연마가공에 필요한 연마펠릿을 개발하고 그 특성을 현재 금형연마에 널리 이용되는 연마패드(flat type)와 비교하였다. 그 결과를 요약하면

- ① 연마펠릿은 연마패드에 비하여 가공중 거의 일정한 가공능력을 갖는다.
- ② 본 실험에 사용된 연마펠릿은 연마패드에 비하여 훨씬 긴 가공수명이 가진다.
- ③ 진 가공면이 거칠고 cusp의 높이가 클수록 연마펠릿의 효과는 더욱 두드러진다.

이상으로 본 실험에서는 연마펠릿이 연마패드보다 연마공구로써 그 성능이 우수함을 확인할 수 있

었고 이는 금형자동연마기등에 효율적으로 이용될 수 있을 것이다. 앞으로도 다양한 곡면에 대한 적용, 다른 입도를 갖는 연마공구를 개발하여 실제 그 성능을 평가하고 금형 연마작업에 효율적으로 적용하는 것이 중요할 것이다.

## 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 丁海島, “砥粒加工によるデバイスウェハのフナリゼーションに関する研究,” 동경대학교 박사학위 논문, pp.50~54 1994.
2. 萩生田 善明, 刈入 勝比古, 中川威雄, “鑄鐵ボンドダイヤモンド砥石の製作,” 일본정밀공학회지, 53-10 1987.
3. 이두찬, 정해도, 안중환, 三好隆志, “자동금형연마의 최적조건선정 전문가시스템 개발,” 한국정밀공학회지, 제14권, 제10호, pp.58~67, 1997.
4. 佐木哲夫, 三好隆志, 他2名, “金型磨き作業の知識獲得と自動化に関する研究 (第3報) 金型自動磨き装置の試作開発,” 精密工學會誌, Vol. 58, No. 12, pp. 2037-2043, 1992.
5. 이용철, 安齋正博, 中川威雄, “금형면의 자기연마가공 고효율화에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 제13권 6호, pp.59~65, 1996.