

# 플라즈마 이온 주입한 초경 엔드밀에 의한 고속가공시 특성에 관한 연구

## A Study on the Characteristics of High Speed Machining with Tungsten Carbide Endmill by Plasma Source Ion Implantation

\*강성기<sup>1</sup>, 왕덕현<sup>2</sup>, 김원일<sup>2</sup>

\*S. K. Kang(kskjh114@yahoo.co.kr)<sup>1</sup>, D. H. Wang<sup>2</sup>, W. I. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경남대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>경남대학교 기계자동화공학부

Key words : Plasma Source Ion Implantation(PSII), Tungsten Carbide Endmill, High Speed Machining

### 1. 서론

금형 산업의 발전과 더불어 생산성을 향상시키기 위하여 고정도의 고속가공기가 보급되고 있다. 고속가공기술의 핵심은 고속가공시 발생하는 고열(회전수에 비례하여 공구의 팁 부근에서 700~800℃까지 온도상승)에도 버틸 수 있는 새로운 공구의 개발이다. 기존 기술에 비하여 처리비용이 저렴하고 소재의 형상 및 크기에 대한 수용범위가 월등히 높으며 수명연장의 이점을 가지고 있는 표면개질법이 이온 주입법이다. 이온주입법은 이온화된 원자를 수십~수백Kv 로 가속하여 재료의 표면에 이온을 주입 그 표면에서 재료의 조성, 결합상태, 결정구조 등을 변화시킴으로써 경도, 내마멸, 내부식, 내피로성을 향상시키는 첨단 표면개질 기술이다.

플라즈마 이온주입(Plasma Source Ion Implantation: PSII) 기술은 현재 사용되고 있는 이온 주입기술과는 원리적으로 다른 이온주입 기술로 재료분야의 이온주입 응용에 적합한 기술이다. 본 연구에서는 PSII시스템을 구축하여 운용 하고 있는 관련기술 자료 검토를 통하여 본 연구의 대상으로 삼고 있는 금속소재분야, 그 중 고속가공용 절삭공구 초경 엔드밀의 표면 개질을 통한 수명향상 및 내마모성 향상 등의 효과를 입증할 수 있도록 미주입한 공구와 이온 주입한 공구를 고속가공 조건에서 절삭력과 표면조도를 관찰하여 공구의 신뢰성을 향상시키도록 하였다.

### 2. 실험방법

#### 2-1. 이온주입장치

플라즈마 이온주입 실험 장치는 Fig.1과 같으며, 이온주입 장치와 내부 vacuum chamber를 나타내고 있다. Plasma Vacuum Chamber내에 직접 이온주입하려는 시료를 넣고 진공상태에서 질소를 투입하고 시료에 Negative pulse bias를 가하게 되면 시료를 둘러싸고 있는 Plasma에서 이온들이 가속되어 시료의 표면에 주입되게 된다. 주입되는 이온은 거의 시료에 수직으로 입사되므로 3차원 입체 시료에 균일한 이온주입이 되므로 빔레스 터링이나 Sample manipulator등이 필요 없게 되며 장치 자체도 Beam-line 이온주입장치에 비해 매우 간단하다.



(a) The equipment

(b) vacuum chamber

Fig. 1 The equipment of plasma source ion implantation

#### 2-2 고속가공 실험장치

Fig.2의 블록다이어그램에서 보는 바와 같이 고속가공용 초경 엔드밀에 플라즈마 이온주입한 공구와 미주입한 공구간의 내마멸성에 관하여 연구를 하기 위해 절삭가공을 수행하였으며, 가공 중에 절삭력 신호로 공구마멸을 실험하기 위해 고속가공기(OKADA GM544)에 공구동력계(Kistler, 9257BA)를 부착하여 측정신호 값을 DAQ보드를 통해 PC에 저장하였다.

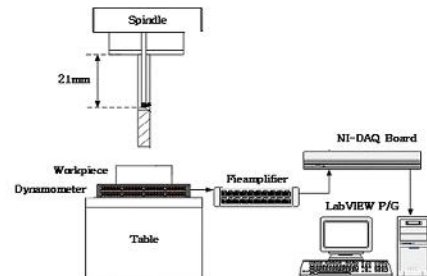


Fig.2 Schematic illustration of high speed machining process

#### 2-3. 실험조건

가공조건은 Table 1 에 나타내었으며 소재의 재질은 STD11이며 크기 30\*60\*25인 사각 면을 CATIA NC프로그램으로 작성하여 1.5mm 폭으로 겹치게 바깥에서 안쪽으로 총12회에 가공을 완료하도록 하였고 절삭유는 사용하지 않도록 하였다. 사용된 공구는 고속가공용 공구로 (株) WIDIN에서 생산되는 2F ZAMUS END MILLS 비코팅 초경엔드밀을 이온 주입한 공구(조건1, 43kv-4시간-18개, 조건2, 35kv-4시간-18개)와 이온 주입하지 않은 공구 18개를 준비하여 다음과 같은 조건을 주어 절삭력(Fx, Fy, Fz)과 가공면의 중심선 평균 거칠기(Ra)를 조사하였다. 절입 깊이는 0.2mm 고정하고 주축회전수와 이송속도를 3가지 조건으로 변화시키면서 2회씩 반복 절삭가공을 하여 총54회 실시하였다.

Table 1 Experimental conditions

Workpiece	Spindle speed (rpm)	Feed rate (mm/min)	Depth of cut(mm)
STD11 (54EA)	10,000	2,000	0.2
		3,500	
		5,000	
	17,000	2,000	
		3,500	
		5,000	
	25,000	2,000	
		3,500	
		5,000	

### 3. 실험결과 및 고찰

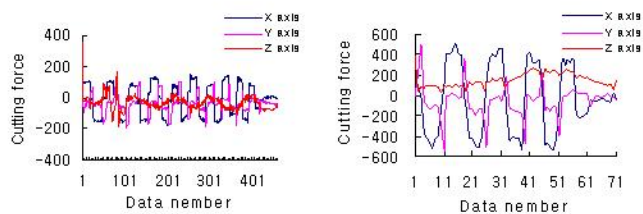
하향 절삭하여 절삭력의 크기를 비교 분석하고 절삭조건에 따라 가공표면의 조도는 중심선 평균 거칠기(Ra) 값으로

Table 2에 결과를 나타냈었고 Fig.3은 절삭력 Fx, Fy, Fz에서 조건 중 표면조도가 가장 좋은 결과를 얻은 것과 그렇지 못한 결과를 얻은 것을 나타낸 것으로 다음과 같은 결과를 얻었다. Fig.3(a)은 43kv-4hr 이온 처리한 초경엔드밀에서 17,000 rpm, feed rate 2,000 mm/min 가공했을 때 Ra = 0.48 $\mu$ m/cm의 값으로 가장 좋은 표면조도를 얻었고 최대절삭력은 Fx 163.4N, Fy 142.3N, Fz 362.3N, 최소 절삭력은 Fx -202.5N, Fy -216.2N, Fz -245.0N이다. 가공 데이터는 456개, 절삭력의 특징은 가공 중 Fx는 +, -값을 반복해서 나타내고 있으며 Fy는 -값을 많이 나타내고 있었다. Fz는 일정한 힘을 받으면서 +, -값의 변동이 적었다. Fig. 3(b)은 10,000 rpm, feed rate 5,000 mm/min 일 때 Ra=2.56 $\mu$ m/cm 값으로 가장 좋지 못한 표면 조도를 나타냈었고 절삭력 Fx와 Fy는 +400N에서 -600N 범위의 큰 값을 반복적으로 나타내고 있으며 Fz는 처음에는 -값을 유지하다 0에서 다시 +값으로 변화가 되는 것은 공구의 마모 증가에 따라 일어나는 것으로 분석되며 가공 데이터는 71개이다. Fx와 Fy의 진폭이 클수록 표면조도는 좋지 못하였다.

Table 2 Surface roughness results for different spindle speed and feed rate condition

Spindle speed	10,000(rpm)			17,000(rpm)			25,000(rpm)		
feed rate (mm/min)	2,000	3,500	5,000	2,000	3,500	5,000	2,000	3,500	5,000
Condition	Range 80 $\mu$ m, speed 0.5mm, L0.8mm, $\lambda_c$ =0.8mm								
43kv-4hr	1.25	1.31	<b>2.56</b>	<b>0.48</b>	0.93	0.71	0.50	0.51	0.60
35kv-4hr	0.53	0.63	<b>2.67</b>	<b>0.42</b>	0.49	0.60	<b>0.42</b>	<b>0.42</b>	0.46
WC-Co	0.74	1.09	<b>1.55</b>	0.47	0.65	1.34	<b>0.43</b>	0.45	0.58

Fig.3(c)은 35kv-4hr 이온 처리한 초경엔드밀은 17,000 rpm에서 이송속도 2,000 mm/min와 25,000rpm, 이송속도 2,000-3,500 mm/min에서 Ra=0.42 $\mu$ m/cm 값으로 가장 좋은 결과를 얻었다. Fig.3(c)은 25,000 rpm, 이송속도 3,500mm/min의 결과 값으로 절삭력 Fx,Fy는  $\pm$ 100N ~ 200N 범위에서 일정한 값을 유지하고 Fz+100N이하로 적은 힘을 받고 있어 가공을 원활하게 하는 것으로 나타났으며 가공 Data는 319개이다. Fig. 3(d)은 10,000rpm에서 이송속도 5,000mm/min 일 때 Ra=2.67 $\mu$ m/cm 값으로 가장 나쁜 조도를 나타냈고 최대절삭력은 Fx 632.6N, Fy 443.2N, Fz -365.2N, 최소 절삭력은 Fx -711.3N, Fy -559.9N, Fz -177.8N이다. 가공 Data는 122개이다. Fig.3 (e)은 무처리 초경엔드밀(WC-CO) 고속가공 시 25,000rpm, 이송속도 2,000 mm/min에서 Ra=0.43 $\mu$ m/cm값으로 가장 좋은 결과를 나타냈고, Fx, Fy 절삭력은  $\pm$ 150N범위에서 일정하게 반복하면서 변화하며 Fz는 시작 후 어느 정도까지는 절삭저항력을 적게 나타내다 종료 시점 부근에서 절삭력이 높게 나타났다. 이것은 공구마모가 일정시간 지나면 순간적으로 마모가 증가되어 큰 힘이 작용된 것으로 분석된다. Fig. 3(f)은 10,000 rpm, 이송속도 5,000 mm/min에서 Ra=1.55 $\mu$ m/cm값으로 가장 나쁜 조도를 나타냈고 절삭력 Fz는 큰 변화는 없었으나 Fx, Fy는 -값을 일정하게 유지하면서 절삭력 값이 한 방향으로 크게 작용하는데 이것은 표면조도를 좋게 하지 못하는 것으로 분석되었다.



(a) 43kv-4hr, 17,000 rpm feed rate 2,000mm/min (b) 43kv-4hr, 10,000 rpm feed rate 5,000 mm/min

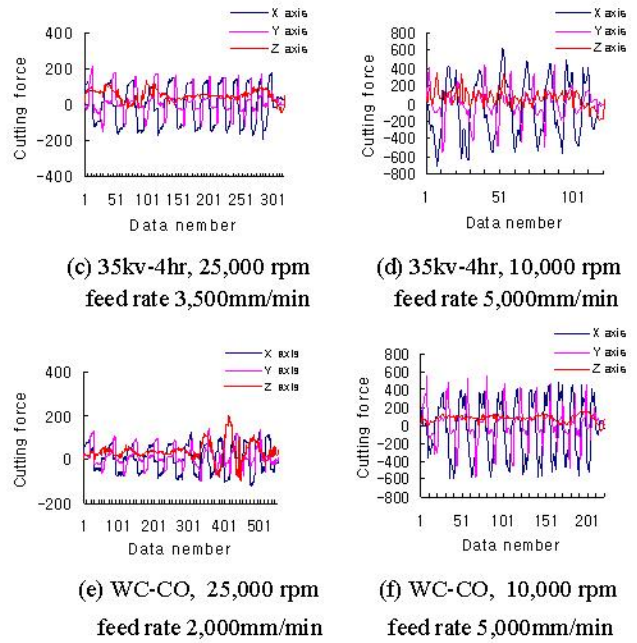


Fig.3 Cutting force for different spindle speed and feed rate condition

#### 4. 결론

본 연구는 표면강화 기술인 플라즈마 질소 이온주입법을 통하여 고속 가공용 초경 엔드밀 공구의 내마멸성 향상에 관하여 실험하였다. 시험편은 금형에서 보편적으로 사용되는 STD11을 사용하였고, 이온주입 조건은 35kV 4시간, 43kV 4시간 작업하여 미주입한 초경공구와 비교실험에서 가공 시 나타나는 절삭력 3분력 Fx, Fy, Fz에 대하여 조사하고 가공에서 나타난 시험편의 표면조도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 플라즈마 이온 주입한 공구와 미주입한 WC-Co 공구에서 미주입한 공구와 43kv-4hr 주입한 공구보다는 35kv-4h, 주입한 공구가 표면조도의 결과에서 17,000rpm, 이송속도 2,000 mm/min과 25,000rpm, 이송속도 2,000과 3,500 mm/min에서 Ra=0.42로 가장 우수하게 나타났다.
2. STD11 소재에서 고속 가공조건은 주축회전수가 17,000rpm 이상 feed rate 2,000mm/min에서 표면조도가 좋게 나타나고 바깥에서 안쪽으로 갈수록 공구의 마멸작용으로 다소 절삭력 Fx, Fy가 높은 값을 나타내었다.
3. 공구동력계를 이용하여 절삭력을 측정된 결과 표면조도가 우수할수록 절삭력 Fx, Fy분력의 진폭이 적으며 표면조도가 나쁠수록 큰 진폭을 보였고, 절삭력 Fx, Fy가 +, -값을 한 방향으로 치우쳐도 표면조도가 나쁘게 나타난 것을 알 수 있었으며 이때 절삭력 Fz는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. S. Bartolucci Luyckx, Y. Cassuto, and J.P.F. Selschop, Materials Science and Engineering, Vol 90, 339, 1987.
2. K. Kanazawa, and K. Chijiwa, J. Metal Finish Soc Jpn, Vol. 39, 603, 1988.
3. A. Singh, T.E. Derry, S. Bartolucci Luyckx, and J.P.F. Selschop, J. Materials Science Letter, Vol. 9., 1101, 1990.
4. L.D. Yu, G.W. Shuy, and T. Vilaithong, Surface and Coatings Technology, Vol. 128-129, 404, 2000.