

플라즈마 이온주입에 의해 표면 개질한 초경공구의 가공특성

Cutting Characteristics of Plasma Source Ion Implanted Tungsten Carbide Tool

강성기^{1,2}, 왕덕현^{3,✉}, 김원일³
Seong Ki Kang^{1,2}, Duck Hyun Wang^{3,✉} and Won Il Kim³

1 경남대학교 대학원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyungnam Univ.)

2 한국폴리텍 VII 대학 컴퓨터응용기계설계학과 (Dept. of Computer Aided Mechanical Design, Korea Polytechnic VII Colleges)

3 경남대학교 기계자동화공학부 (Division of Mechanical Engineering and Automation, Kyungnam Univ.)

✉ Corresponding author: dhwang@kyungnam.ac.kr, Tel: 055-249-2712

Manuscript received: 2009.6.9 / Revised: 2009.9.4,10.7 / Accepted: 2009.10.21

In this research, the effects for surface improvement of plasma ion implanted carbide endmill tools were observed by measuring cutting forces and tools wear affecting surface roughness in high speed cutting. From the 2nd ion mass analysis, the oxidation layer was found to be built up by sputtering. The residual gas contamination of oxygen was found to be contained impurities in nitrogen gas. The plasma implanted ion was found to be spreaded, especially the nitrogen was implanted up to 150nm depth as impressed voltage and ion implanting time. It is analyzed as bring surface improvement by spreading deeply forming oxidation on surface. The factors in Analysis of Variance(ANOVA) about mutuality cause reference of cutting force. The cutting force Fx is affected by the interaction of spindle rpm and federate, the cutting force Fy is influenced by spindle rpm and time injected ion, and cutting force Fz is affected by the interaction of impressed voltage and feedrate. Also, it was found that the cutting forces of implanted tools become lower and the surface roughness is improved by the effect of nitrogen according to the implantation.

Key Words: Plasma Source Ion Implantation (PSII, 플라즈마 이온주입), Tungsten Carbide Tools (초경합금공구), Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS, 2차 이온질량분석), ANOVA (분산분석)

1. 서론

플라즈마 이온 주입기술은 80 년대에 Conrad¹에 의하여 제안되어지고 개발된 기술이며, 가장 범용적으로 사용되고 있는 표면 개질 방법중의 하나인 플라즈마 이온 주입 처리를 이용한 표면 개질 방법은 처리 공정이 매우 간편하고 비교적 공정 가격이 저렴하여 많은 연구 그룹들이 이용하고 있는 방법 중의 하나이다.^{2,4}

플라즈마 이용은 1928 년 미국의 화학자 Irving Langmuir 박사가 처음으로 명명한 이후, 80 년이 지

난 오늘 핵융합 분야부터 산업 생산기술까지 우리 현실에 많은 영향을 미치고 있다. 플라즈마를 이용한 산업기술은 LCD(liquid crystal display), 반도체, 평판 디스플레이(flat panel display), PDP(plasma panel display) 등 첨단 IT 산업에서부터 의료, 섬유분야 등 실생활에 가까운 분야까지 다양하다.⁵

플라즈마 이온 주입기술은 진공 챔버내에 플라즈마를 발생시키고 기판에 고전압 펄스를 인가하여 3 차원적인 이온주입 처리가 가능한 방식이며, 1996 년 미국에서 상용화되기 시작하여, 질소 탄소 등의 주입을 통한 표면 경화, 내마멸성 향상, 피로

수명향상 등의 목적으로 기계, 금속 응용분야에서 연구가 진행되고 있다.

기존 이온빔 주입(ion beam ion implantation : IBII) 기술은 이온 발생원과 가속장치 및 고 진공장치가 필요하며, 직선적인 공정(line of sight process)이므로 3 차원 표면 형상을 갖고 있는 소재를 처리하려면 여러 개의 빔 설치와 소재의 회전 장치가 필요하여 설비제작 비용과 작업공정 제어의 어려움을 초래한다. 또한, 균일한 이온 주입 결과를 얻기에 많은 어려움이 있는데, 이러한 문제점을 보완할 수 있는 기술이 플라즈마 이온 주입(plasma source ion implantation : PSII)기술이라 하겠다.

이 기술은 이온 발생원과 가속장치를 사용하지 않으며, 주입하고자 하는 물질을 기체상태로 도입하고 플라즈마를 형성시킨 후 처리하고자 하는 소재에 고전압을 인가하여 플라즈마 양이온들을 소재 표면에 충돌시켜 주입하도록 하는 것이다. 따라서 소재 주위에는 플라즈마 쉬스(sheath)가 형성되며 이온들은 소재 모든 표면 360° 방향에 입사되어 충돌을 일으키게 된다.

본 연구에서는 기계적 성질과 내마멸성을 복합적으로 갖는 새로운 공구의 표면 개질을 얻기 위하여 플라즈마 이온 주입(PSII)장치를 원통형 챔버 크기(직경 700mm, 높이 600mm)의 소형 타입으로 고전압 펄스용 플라즈마 이온 주입장치를 개발하여 초경엔드밀 공구에 질소 플라즈마 이온을 주입시켜 표면 개질 상태를 분석하고, 고속가공에서 나타난 절삭 3 분력에 대하여 분산분석을 통하여 절삭력에 미치는 요인을 찾고 공구의 마멸 상태를 표면거칠기로 측정하여 가공 특성을 연구하고자 하였다.^{6,7}

2. 플라즈마 이온주입

2.1 플라즈마 이온주입 장치 개발

소형 플라즈마 이온 주입시스템을 개발하기 위하여 챔버는 X 선 발생에 대한 차폐 문제를 고려해서 챔버 전체를 스테인레스강 2 중 공간으로 설계 제작하였고, 공간 속에는 냉각장치를 설치하였다. 챔버내 저 진공을 뽑기 위하여 Oil rotary pump (1200 L/min) 설치와 10⁻³ Torr 이하의 진공도 배기를 위하여 증기 확산 펌프(vapor diffusion pump)를 사용하여 잔류 가스를 배출하도록 하였다.

질소 가스를 주입하여 원하는 압력과 기판 온도를 설정하고 플라즈마를 발생시키는 RF 파워 장치를 챔버 내부에 안테나 타입으로 설계하여, RF (radio frequency)는 13.56 MHz, 파워 용량은 1.4kW 를 사용하였다. 또한, 고전압 펄스 발생장치(high voltage pulse power modulator)를 설치하고, 입·출력 전류는 220V, 2kHz-5A 와 출력 전압 20~50kV 급을 사용하였다.

주입대상 소재별에 맞게 1 회 작업 시 다량의 소재가 이온 주입이 가능하도록 최적 샘플 스테이지(φ200×50)를 제작하였으며, 특히, 사용자 조작 편의 제어 소프트웨어 설치와 PLC 장치를 통한 통합 제어 시스템 구축으로 각 공정 요소를 실시간 확인 및 제어하도록 설계하였다.

Fig. 1 은 장치의 구성을 나타낸 것으로 주요 장치를 살펴보면, 1 번은 냉각장치, 2 번은 고 전압 펄스 파워 조절장치, 3 번은 메인 밸브, 4 번은 확산펌프, 5 번은 로타리 펌프, 6 번은 기계 네트워크, 7 번은 RF 공급장치, 8 번은 챔버, 9 번은 게이지 홀더, 10 번은 스페어 포트, 11 번은 전면 창, 12 번은 펄스 파워 공급부, 13 번은 프레임, 14 번은 제어장치 등으로 되어 있다.

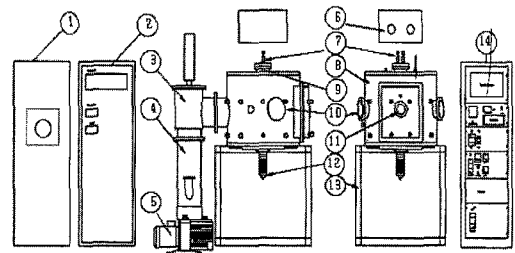


Fig. 1 Schematic illustration of the developed plasma source ion implantation equipment

2.2 플라즈마 이온 주입 공정

플라즈마 이온 주입의 공정과정에서 사용된 공구는 일반 업체에서 생산되는 2F ZAMUS Endmill (비코팅 초경엔드밀)을 샘플 스테이지에 40mm 이상의 간격으로 위치하여 끼워 넣고 진공 챔버내 중심 센터에 고정하며, 그물망을 제품의 끝 높이 보다 10mm 높게 설치한 후, 챔버 차폐 문을 닫고 R/P, 확산펌프(diffusion pump), 히터, 가스압력 게이지 스위치를 ON 시킨다.

Fig. 2는 터치형 작동시스템을 도식적으로 나타낸 것으로, 실시간 작동하는 작업현황을 작업자가 쉽게 제어하도록 개발되었다. 터치형 화면에서 히터를 터치한 후 온도 제어 스위치를 자동으로 하고 챔버내 온도가 200℃가 되도록 셋팅한 후(챔버 외부 냉각장치를 이용하여 일정한 온도 유지하는 자동 온도 센서를 부착) 수동 조절을 이용하여 천천히 전압을 100V 로 조정하며, 로타리 펌프를 작동한 후 Process 를 누른다.

저 진공 게이지는 2.0×10^{-3} Torr 될 때까지 유지한 후, 고 진공상태가 2.0×10^{-5} Torr 가 되도록 한다. 고 진공 상태가 완료되면 질소 가스를 투입하고, R/F 파워 공급장치를 동작시키는데, 이때 냉각 팬도 함께 가동된다. 파워를 350W 정도로 높인 후 40 분간 플라즈마를 충분히 생성하도록 한다.

RF 플라즈마 작업이 완료되면 고전압 펄스 발생장치(주파수 500Hz, 펄스 폭 2us)를 Table 1 과 같은 조건을 조합하여 9 가지 조건으로 변화시키면서 인가전압을 가하게 되면 시료를 둘러싸고 있는 이온들이 가속되어 시료의 표면에 주입하게 된다.

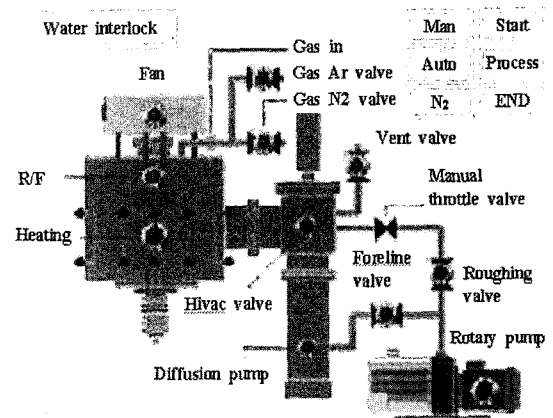


Fig. 2 Schematic illustration of system control for the PSII equipment

Fig. 3은 샘플 스테이지에 초경엔드밀 공구를 끼워 넣고 이온 주입한 것을 나타낸 것이며, 주입되는 플라즈마 이온은 시료에 수직으로 입사되어 3 차원 입체 시료에 균일하게 주입된 것을 알 수 있었다.

Table 1 The conditions of plasma source ion implantation for tungsten carbide tools

High voltage pulse Power (kV)	Ion implanted time (hr)
27, 35, 43	2, 4, 6



Fig. 3 Plasma source ion implanted tungsten carbide endmill

2.3 고속절삭 가공 실험

이온 주입한 공구와 미 주입한 공구를 이용하여 실험 소재 재질 STD11(HRC58), 사이즈 30x60x25mm 으로 가공을 실시하였으며, 실험에 사용된 공구는 초경엔드밀 $\phi 3\text{mm}$ 의 2 날(비코팅)이다.

Table 2는 고속 절삭가공 조건이며, 공구의 마멸을 파악하기 위하여 절입 깊이를 0.2mm 로 고정하고 건식 절삭(dry cutting)으로 가공하였다.

Table 2 The experimental conditions of high speed cutting process

Spindle speed (rpm)	Feed rate (mm/min)	Depth of cut (mm)
10000, 17000, 25000	2000, 3500, 5000	0.2

Fig. 4는 CATIA 소프트웨어를 이용하여 모델링하고 절삭 조건을 주어 모의가공을 통하여 얻은 NC 데이터를 절삭가공 실험에 적용하였다.

초경엔드밀 공구는 반경 1.5mm 폭으로 겹치게 하여 바깥에서 안쪽으로 스파이럴 가공 형식으로 총 12회 걸쳐 가공이 완료되도록 하였다.

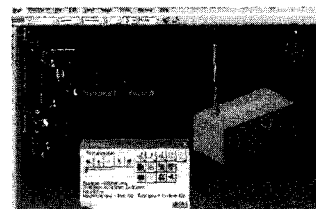


Fig. 4 Tool path simulation for high speed machining with CATIA software

플라즈마 이온 주입한 초경엔드밀 공구의 가공 특성을 분석하기 위하여 고속가공기(OKADA GM 544, Japan)와 절삭력 측정시스템을 구축한 것을 Fig. 5 에 나타내었으며, 압전 소자형 공구 동력계(Kistler 9257BA)를 이용하여 Fig. 6 에서 나타낸 바와 같이 공구가 피삭재에 미치는 절삭 3 분력(F_x , F_y , F_z)을 측정하고 얻어진 절삭력 신호는 다채널 증폭기를 통해 DAQ 보드(NI 사, AT-MIO-16E)를 거쳐 내장된 A/D 변환기에서 각 채널의 신호를 컴퓨터에 저장하도록 하였다.

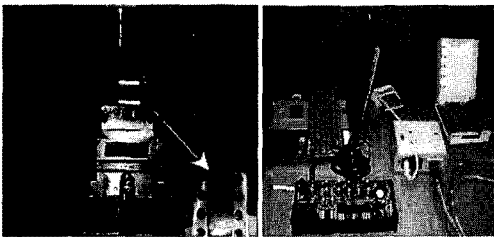


Fig. 5 Schematic illustration of high speed machining process with data acquisition of cutting forces

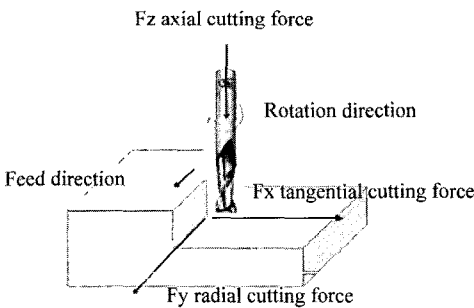


Fig. 6 Three dimensional cutting force components in Endmilling

2.4 공구마멸 측정

공구마멸에 대한 측정을 위해 사용된 장비는 비 접촉식 표면거칠기(LASERTEC OPTICS H1200)로, 측정 스캔 범위는 X, Y 20, Z 측정 재현성 $2 \mu\text{m}$ 이하이다.

Fig. 7 은 엔드밀 날의 명칭을 나타내었고, 절삭 가공 실험에서 가공 표면거칠기가 양호한 것과 그렇지 못한 공구를 대상으로 엔드밀 공구의 밀면 End cutting angle 부분을 측정하여 마멸 정도를 비교 분석하였다.

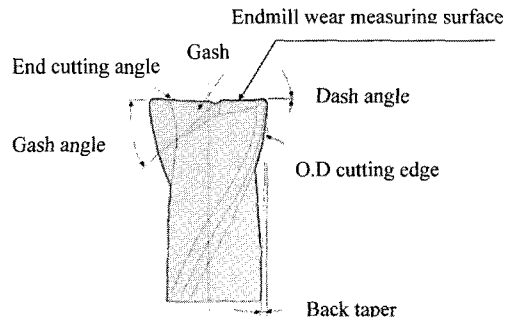


Fig. 7 Wear measuring surface of endmill

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 초경공구의 표면 특성 분석

이온 주입한 시험편의 질소 주입 깊이를 측정하기 위하여 CAMECA IMS-6f Magnetic Sector SIMS 장비로 분석하였으며, 실험 조건은 Primary beam 은 Cs+Gun 을 사용하였고, Impact energy 는 5keV, Current 20nA, Raster size $200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$, 분석영역은 $60 \mu\text{m}(\varnothing)$ 이다.

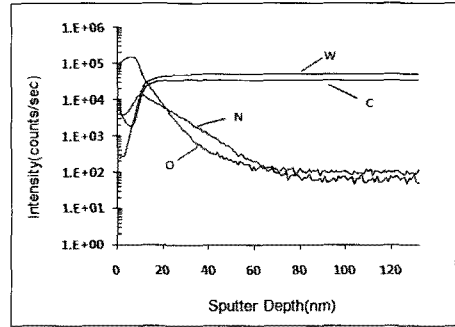
Fig. 8 은 표면 성분에 대한 Sputter 깊이 프로파일의 결과를 나타내었다. 2 차 이온 질량 분석 (secondary ion mass spectroscopy: SIMS) 결과를 통하여 공구가 이루고 있는 원소로는 W, N, C, O 가 존재함을 확인하였다.

Fig. 8(a)는 플라즈마 이온주입을 하지 않은 초경 공구의 분석 결과이며, (b)는 27 kV 에 2 시간, (c)는 35 kV 에 2 시간, (d)는 43 kV 에 2 시간 이온 주입한 초경 공구의 결과이다.

Fig. 8(b)에서 (d)까지 보는 바와 같이 이온 주입한 초경엔드밀 공구는 이온 주입하지 않은 공구 Fig. 8(a)보다 산화층이 높게 나타났으며, 표면층 내부에는 질소 원소와 산소 원소가 검출되었는데, 질소 원소의 Secondary ion intensity 증가와 함께 산소 원소의 Secondary ion intensity 증가하는 것을 미루어 볼 때 질소 가스 내부에 불순물로 포함된 산소의 Residual gas contamination 에 의한 영향으로 생각되며, 또한, 고순도(99.9999%) 질소 가스를 사용 하였음에도 불구하고 오히려 질소 원소보다 높은 Secondary ion intensity 는 질소와 산소의 Sputtering yield 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있었다. Cs+ 일차 이온을 사용한 SIMS 분석에서 산소

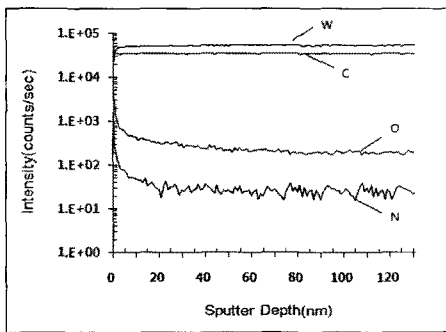
의 Sputtering ion yield 는 질소의 10^5 정도 높게 나타난다.⁸ 이를 설명해 줄 Ionization 에 관한 일반적인 이론은 아직 없다. 이것이 SIMS 응용의 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 실정이다.

또한, 질소에서는 인가전압과 이온주입 시간에 따라 이온주입 얇은 공구보다 이온 주입한 공구에서 150nm 정도 깊이까지 확산 주입된 것을 볼 수 있는데, 이것은 질소 이온이 깊게 확산되어 표면 개질을 가져온 것으로 알 수 있다.

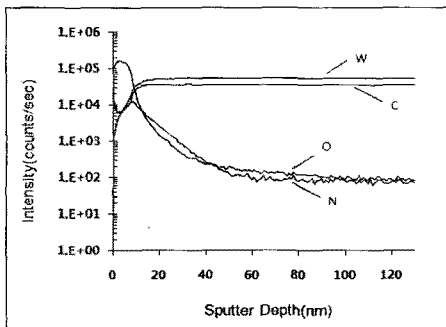


(d) PSIIed of 43kV-2hr

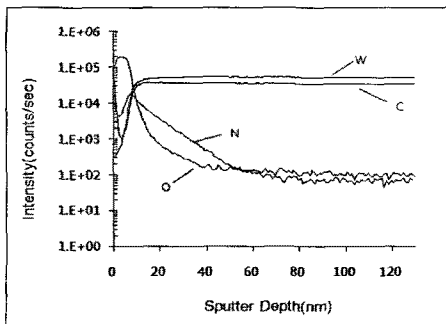
Fig. 8 SIMS depth profile of the specimen



(a) No treatment



(b) PSIIed of 27kV-2hr



(c) PSIIed of 35kV-2hr

3.2 고속가공에 의한 절삭력 분석

주축회전수, 이송속도, 이온 주입 인가전압 및 이온 주입시간의 조건에 따른 절삭력 값을 통계적 방법인 실험계획법의 분산분석(Analysis of variance: ANOVA)에서 요인(Source)에 대하여 자유도(DF), 제곱합(SS), 제곱평균(MS), 분산비(F), 유의 확률(P)의 상호 관계 특성을 파악하였다.

상호요인 관계에 대한 분석에서 절삭력 F_x 는 Table 3 에 결과값을 나타내었고, 주축회전수, 이송속도, 주축회전수와 이송속도에서 유의 확률이 0.000 에서 0.001 이다.

따라서 유의 수준을 $\alpha = 0.05$ 를 기준으로 하면 유의 확률이 $\alpha = 0.05$ 보다 적기 때문에 주축회전수와 이송속도의 교호작용이 절삭력 F_x 에 유의한 영향을 주는 것으로 분석되었다.

Fig. 9 는 절삭력 F_x 의 평균에 대한 상호작용을 나타내었다.

Table 3 ANOVA for cutting forces of F_x

Source	DF	SS	MS	F	P
Spindle speed	2	39,636	19,818	7.95	0.001
Feed rate	2	75,049	37,524	15.05	0.000
Voltage	2	10,655	5,327	2.14	0.129
Time	2	14,569	7,284	2.92	0.063
Spindle speed×feed rate	4	221,900	55,475	22.25	0.000
Spindle speed×voltage	4	8,168	2,042	0.82	0.519
Spindle speed×time	4	13,939	3,485	1.40	0.249
Feed rate×voltage	4	4,549	1,137	0.46	0.767
Feed rate×time	4	7,763	1,941	0.78	0.545
Voltage×time	4	19,296	4,824	1.94	0.120
Residual error	48	119,661	2,493		
Total	80	535,184			

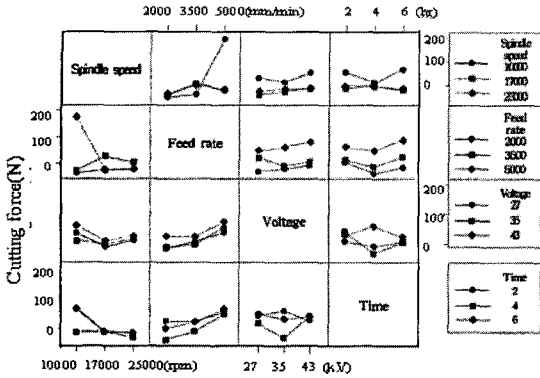


Fig. 9 Interaction plot for cutting forces of Fx

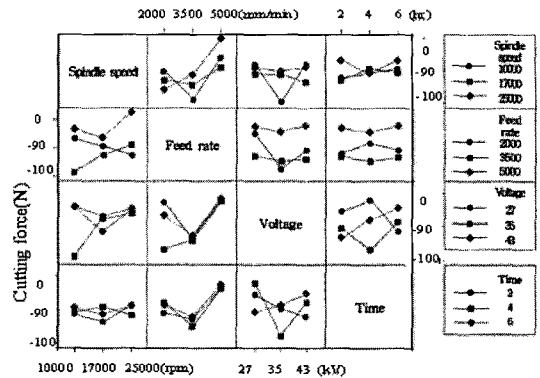


Fig. 10 Interaction plot for cutting forces of Fy

절삭력 Fy 에서는 Table 4 와 같은 결과 값을 나타내고 있으며, 주축회전수, 이온 주입시간 및 주축회전수와 이온 주입시간에서 유의 수준을 $\alpha=0.05$ 를 기준으로 하면 유의 확률이 0.005, 0.027, 0.018 이므로 주축회전수 및 이온 주입시간과 주축회전수와 이온 주입시간의 교호작용이 절삭력 Fy 에 유의한 영향을 주는 것으로 나타내었다. 또한, Fig. 10 은 절삭력 Fy 의 데이터 평균에 대한 상호작용을 나타낸 것이다.

Table 5 는 절삭력 Fz 에 대한 분석 결과로 이송속도, 인가전압에서 유의 확률이 0.000, 0.006 이므로 이송속도와 인가전압의 교호작용이 절삭력 Fz 에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다.

Fig. 11 은 절삭력 Fz 의 데이터 값의 평균에 대한 상호작용을 나타내고 있다.

Table 5 ANOVA for cutting forces of Fz

Source	DF	SS	MS	F	P
Spindle speed	2	10,018	5,009	0.52	0.598
Feed rate	2	111,071	55,536	5.76	0.000
Voltage	2	27,324	13,662	2.14	0.006
Time	2	1,878	939	0.10	0.907
Spindle speed×feed rate	4	52,300	13,075	1.36	0.263
Spindle speed×voltage	4	53,064	13,266	1.38	0.257
Spindle speed×time	4	11,189	2,797	0.29	0.883
Feed rate×voltage	4	27,578	6,895	0.71	0.586
Feed rate×time	4	4,986	1,247	0.13	0.971
Voltage×time	4	63,934	15,983	1.66	0.176
Residual error	48	463,055	9,647		
Total	80	826,398			

Table 4 ANOVA for cutting forces of Fy

Source	DF	SS	MS	F	P
Spindle speed	2	56,235	28,118	5.81	0.005
Feed rate	2	28,127	14,064	2.91	0.064
Voltage	2	8,586	4,293	0.89	0.418
Time	2	37,729	18,865	3.90	0.027
Spindle speed×feed rate	4	15,010	3,752	0.78	0.546
Spindle speed×voltage	4	19,678	4,920	1.02	0.408
Spindle speed×time	4	63,751	15,938	3.30	0.018
Feed rate×voltage	4	13,019	3,255	0.67	0.614
Feed rate×time	4	22,099	5,525	1.14	0.348
Voltage×time	4	14,843	3,711	0.77	0.552
Residual error	48	232,130	4,836		
Total	80	511,207			

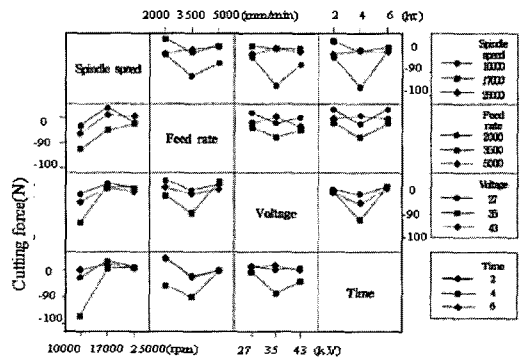


Fig. 11 Interaction plot for cutting forces of Fz

Table 6 은 주축회전수 10000, 17000, 25000rpm 에서 이송속도 2000mm/min, 절입깊이 0.2mm 로 가

공시 절삭 3 분력에 대한 결과 값을 나타내었으며, Fig. 12 에서 보는 바와 같이 이온 주입한 공구와 이온 주입하지 않은 공구(WC-Co)의 절삭력을 비교해 보면 절삭력 Fx 는 이온 주입한 공구에서 낮게 일어났다.

Table 6 Cutting force results according to cutting condition

spindle speed (rpm)	feed rate (mm/min)	supply voltage / time	axis		
			Fx	Fy	Fz
10000	2000	35kv/4h	-212.4N	-389N	-180.8N
17000	2000	27kv/6h	-85.1N	-27N	-307.9N
25000	2000	43kv/6hr	5.4N	-19.7N	-84.2N
25000	2000	WC-Co	27.2N	-15.8N	-89N

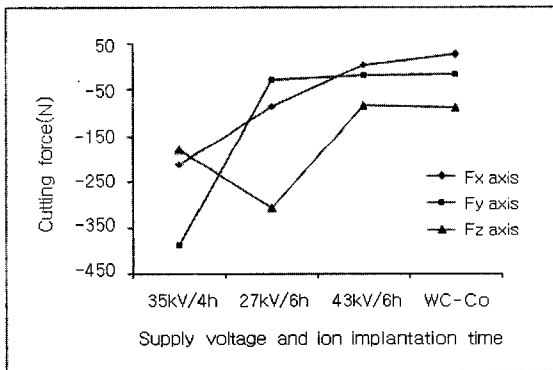


Fig. 12 Cutting forces results at feed rate of 2,000mm/min

절삭력 Fy 는 주축회전수 10000rpm, 이송속도 2000mm/min 에서 인가전압 35kV, 이온 주입 4 시간일 때만 아주 낮게 나타났으나 다른 공구에서는 비슷한 값을 나타내고 있었다. 또한, Fz 는 이온 주입하지 않은 공구에서 절삭력이 높게 나타나 일반적으로 이온 주입 않은 공구가 절삭 3 분력에서 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.3 공구마멸 분석

인가전압 27kV, 35kV, 43kV 에서 각 이온주입 2 시간, 4 시간, 6 시간과 무처리한 공구(WC-Co)의 가공 조건에 따라 가공시 나타난 가공면과 공구의 마멸 부분을 비접촉식 표면거칠기로 중심선 평균 표면거칠기(Ra) 값을 각 3 회씩 측정하여 평균한 값 중 가장 양호하게 나타난 것과 그렇지 못한 공구를 대상으로 Table 7 에 결과 값을 나타내었다.

Table 7 Measure surface roughness of workpiece and Wear tools

ion implantation condition	surface roughness results Ra (μm)		spindle speed(rpm) /feed rate(mm/min)
	Workpiece	Wear tool	
27kV-6hr	2.398	3.686	10000/2000
35kV-4hr	0.892	2.352	
35kV-6hr	3.259	4.559	
43kV-2hr	0.407	4.365	
27kV-2hr	1.691	3.814	17000/2000
27kV-6hr	0.511	1.713	
35kV-6hr	0.383	3.811	
27kV-2hr	1.047	4.140	
35kV-6hr	0.759	4.733	25000/2000
43kV-6hr	0.759	2.360	
WC-Co	1.177	3.827	
35kV-2hr	0.711	4.296	10000/3500
35kV-6hr	1.557	3.184	
43kV-2hr	0.706	4.040	
WC-Co	1.635	4.492	
27kV-2hr	1.610	3.483	17000/3500
35kV-6hr	2.176	2.873	
43kV-2hr	1.126	4.225	
WC-Co	1.205	3.831	
27kV-2hr	0.437	2.626	25000/3500
WC-Co	1.282	2.959	
27kV-2hr	2.911	4.114	10000/5000
35kV-2hr	0.875	3.438	
35kV-4hr	4.363	4.114	
43kV-6hr	3.281	3.537	
27kV-6hr	2.560	5.142	17000/5000
35kV-4hr	1.024	2.962	
43kV-2hr	3.064	4.335	
WC-Co	1.840	3.794	
43kV-2hr	0.654	3.832	25000/5000
43kV-6hr	1.864	3.769	

주축회전수 10000rpm, 이송속도 2000mm/min 일 때 인가전압 35kV, 이온주입 4 시간에서 공구 마멸 표면거칠기는 Ra 2.352(μm)이며, 주축회전수 17000 rpm, 이송속도 2000mm/min 일 때 인가전압 27kV 이온주입 6 시간에서 공구 마멸 표면거칠기는 Ra 1.713(μm) 이다. 또한, 주축회전수 25000rpm, 이송속도 2000mm/min, 3500mm/min 에서 인가전압 43kV, 이온주입 6 시간과 인가전압 27kV, 이온주입 2 시간에서 공구 마멸 표면거칠기는 Ra 2.360(μm), Ra 2.626(μm) 를 나타내어 가공물 표면거칠기와 공구의 마멸 부분 표면거칠기에서 우수한 결과를 얻었다.

4. 결론

표면 개질에 대한 효과와 절삭 3 분력에서 주축회전수, 이송속도, 인가전압, 이온 주입시간에 대한 분산분석을 통하여 요인에 대한 상관 관계를

찾고, 공구 마멸 상태를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 2 차 이온 질량 분석시 Sputtering 에 의하여 산화층이 형성되었는데, 이것은 질소 가스 내부에 불순물로 포함되어 있는 산소의 Residual gas contamination 에 의한 영향으로 생각되며, 질소에서는 인가전압과 이온 주입시간에 따라 이온 주입량은 공구보다 이온 주입한 공구에서 150nm 정도 깊이까지 확산 주입되었는데, 이것은 산화물이 표면에 형성되면서 깊게 확산되어 표면 개질을 가져온 것으로 분석되었다.

둘째, 절삭력의 상호요인 관계에 대한 분산분석에서 인자들의 영향을 고려하면, 절삭력 F_x 는 주축회전수 및 이송속도의 교호작용에 영향을 주었으며, 절삭력 F_y 는 주축회전수와 이온 주입시간에 유의한 영향을 받았고, 절삭력 F_z 는 이송 속도와 인가전압의 교호작용에 유의한 것으로 분석되었는데, 이온 주입하지 않은 공구보다 이온 주입한 공구에서 절삭 3 분력이 낮게 나타났다.

셋째, 공구마멸 부분에 대한 표면거칠기 분석은 주축회전수 10000, 17000, 25000rpm 에서 이송속도 2000mm/min 일 때 인가전압 35kV 이온주입 4 시간, 인가전압 27kV 이온주입 6 시간, 인가전압 43kV, 이온주입 6 시간한 공구와 주축회전수 25000 rpm 에서 이송속도 3500mm/min 일 때 인가전압 27kV 에서 2 시간 이온 주입한 공구에서 가공물의 표면거칠기와 공구 마멸에서 우수한 결과를 얻었다.

후 기

이 연구결과물은 2009 학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. Conrad, J. R., Radke, J. L., Dood, R. A., Worzala, F. J. and Tran, N. C., "Plasma source ion-implantation technique for surface modification of materials," J. Appl. Phys., Vol. 62, No. 11, pp. 4591-4596, 1987.
2. Ueda, M., Berni, L. A. and Castro, R. M., "Application of plasma immersion ion implantation for improved performance of tools and industrial components," Surface and Coating Technology, Vol. 200, No. 1, pp. 515-520, 2005.
3. Masamune, S. and Yukimura, K., "Transient ion sheath in pulsed plasma," IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 34, No. 4, pp. 1195-1198, 2006.
4. Saklakoglu, I. E., Saklakoglu, N., Ceyhyun, V., Short, K. T. and Collins, G., "The life of WC-Co cutting tools by plasma immersion ion implantation," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 47, No. 3, pp. 715-719, 2007.
5. da Silva, L. L. G., Ueda, M., Mello, C. B., Codara, E. N. and Lepienski, C. M., "Effects of the high temperature plasma immersion ion implantation of nitrogen in AISI H13 steel," J. Mater. Sci., Vol. 43, No. 18, pp. 5989-5997, 2008.
6. Bae, H. J. and Park, H. S., "Analysis of Working Factors for Improvement of Surface Roughness on High Speed End-Milling," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 21, No. 6, pp. 52-59, 2004.
7. Lim, P., Park, S. Y. and Yang, G. E., "A Study on tool life in high speed machining of small-size end mill by factorial design of experiments and regression model," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 73-79, 2006.
8. Storms, H. V., Brown, K. F. and Stein, J. D., "Evaluation of a Cesium Positive Ion Source for secondary Ion Mass spectrometry," Anal. Chem., Vol. 49, No. 13, pp. 2023-2030, 1977.