

알루미늄 박막의 표면화학반응이 버 감소에 미치는 영향

이현우*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 박준민*(부산대 대학원 정밀기계공학과),
정상철*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 정해도**(부산대 기계공학부),
이응숙***(한국기계연구원 자동화연구부)

The Influence of The Burr Reduction by The Chemical Reaction of Oxide Film on Aluminum

H. W. Lee(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), J. M. Park(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), S. C. Jeong(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(School of Mechanical Eng. PNU), E. S. Lee(Pre. Mach. Group, KIMM)

ABSTRACT

With increasing the needs for micro and precision parts, micro machining technology has been studied to fabricate a small part with high density such as electronics, optics, communications, and medicine industry more than before. But there are many problems to be solved requiring a high-level technology. So this research presents the new method to fabricate a small part through applying chemical mechanical micro machining (C3M) for the Al wafer. Al(thickness $1\mu\text{m}$) was sputtered on the Si substrate. Al is widely used as a lightweight material. However form defect such as burr has a bad effect on products. To improve machinability of ductile material, oxide layer was formed on the surface of Al wafer before grooving by chemical reaction with $\text{HNO}_3(10\text{wt}\%)$. And then workpieces were machined to compare conventional micro-machining process with newly suggested method at different machining condition such as load and feed rate. To evaluate whether or not the machinability was improved by the effect of chemical condition, such as the size, the width of grooves and burr generation were measured. Finally, it is confirmed that C3M is one of the feasible tools for micro machining with the aid of effect of the chemical reaction.

Key Words : Micro Machining Technology(미세 가공 기술), Chemical Mechanical Micro Machining(화학 기계적 미세 가공), Al wafer(알루미늄 웨이퍼), burr(버), Oxide layer(산화층), Grooving(홈 가공)

1. 서론

현재 전세기는 무한경쟁의 시대에 들어서면서 항공우주, 반도체 등을 비롯한 첨단산업 분야의 기술적 선점과 시장확보를 위해 많은 국가들이 정부 주도하의 적극적인 연구와 투자를 아끼지 않고 있다. 이러한 상황 속에서 많은 기능성 부품과 제품들은 점차 소형화, 정량화, 고정밀화 되어 가는 추세에 있으며, 특히 마이크로 가공에 의한 마이크로머신 부품의 개발과 가공기술 확보가 주요 쟁점으로 떠오르고 있다. 그러나 Fig. 1에서 나타난 그래프를 보면 미세 가공 시에는 단위체적 당 가공에너지가 급격하게

늘어나기 때문에 효율적인 가공이 어렵다.¹⁾

K. Tagashira et al은 희석한 oleic acid(올레인산)를 도포한 순철에 있어서의 적교절삭시의 칩 형성 메카니즘에 대해서 연구하였다. 가공 경화된 Fe에 있어서 0.2mass%와 순수한 oleic acid는 절삭력과 칩 두께의 감소에 효과적이었다. 적외선 스펙트럼 측정으로부터 oleic acid와 Fe 원자사이에 화학흡착에 의해 절삭된 칩에서의 전위밀도가 높은 부분이 관측되었다.²⁾

본 연구에서는 이러한 micro-machining차원에서 의 고 능력, 고 효율적인 가공방법을 제시하고, 이런 각각의 기능들을 수행하기 위한 구조물 가공의 기초

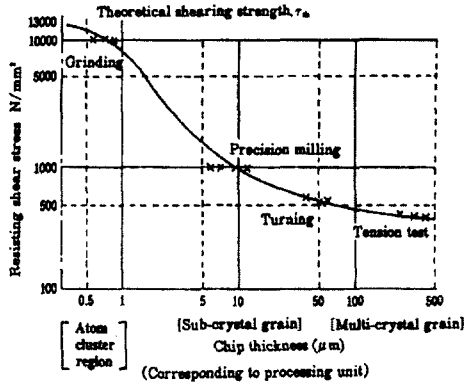


Fig. 1 Example of radical increase for the resisting shear stress

가 되는 방법들 중 하나를 제시하고자 한다. 그 중 grooving은 2.5차원의 형상을 제작하기 위한 기본적인 방법으로 전자, 광학, 정보통신, 의학산업 등에 있어서 소형, 고집적의 제품제작을 위해서 활용될 수 있다.

2. C3M의 기본적인 개념

Fig. 2는 기본적인 C3M(Chemical Mechanical Micro Machining)의 개념을 나타낸다. 우선, 일반적인 기계가공과는 달리 화학적 반응을 일으키기 위한 용액(etchant)에 의해 소재의 표면이 반응한다. 그리고 난 후 화학적 반응에 의해 기계적인 상태량(property)이 전혀 다른 반응층이 형성되어진다. 마침내 반응층은 기계적인 방법에 의해 가공되어진다.

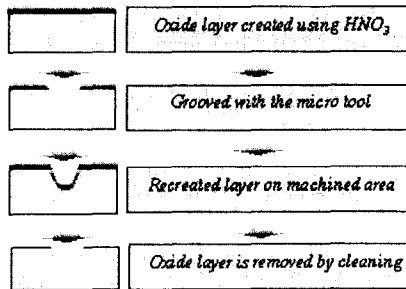


Fig. 2 Machining concept of C3M for Al wafer

3. 실험방법

3.1 실험장치도 및 사용공구

Fig. 3은 전체적인 실험 장치도와 실험에 사용된 공구의 형상을 나타낸다. 3-axis machine의 X,Y축은 1μm의 정밀도를 가지며,Z축은 정압으로 힘을 전달하

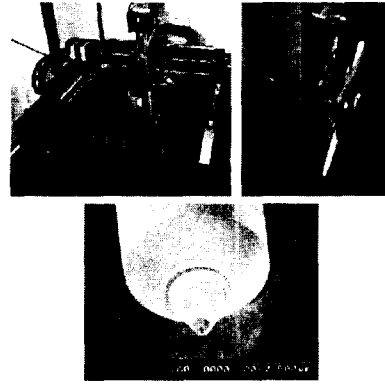


Fig. 3 The equipment with 3-axis and a tool of stylus

기 위해서 리니어 가이드를 부착했다. 본 연구에서 수행하고자 하는 가공은 미세한 가공이므로 10μm의 radius를 가지는 공구로 초경tip(wc)을 선택하였으며, grooving 실험에 적용하기 위해 corn shape를 선택하였다.

3.2 가공조건 및 실험방법

실험에 사용된 가공 조건을 Table. 1에 나타내었다. 절삭시 가해지는 load와 feed rate를 Table. 1의 가변 인자를 변화시켜가면서 가공 시 일반적으로 연질 금속에서 발생하는 burr의 발생과 가공된 선 폭의 변화, 절입량에 관해서 실험을 수행하였다. C3M을 적용한 micro-machining process의 적용 예의 하나로서 연질금속의 특성을 가지는 Al wafer(Al(99.5%) Thickness 1μm above Si substrate)를 선택하였다. 일반적인 알루미늄과는 달리 표면이 고품위, 고정면이어서 가공을 하고 난 뒤의 가공된 부위와 버(burr)의 정

Table 1. Experimental condition of C3M for Al-wafer

Chemical Condition	
Chemical	HNO ₃ (10wt%)
dipping time	60 min
Machining Condition	
Tool	Stylus tool (wc) radius : 10μm
Load	95.7, 46.8 mN
Pass	one times
Feed Rate	75, 150, 600 μm/s

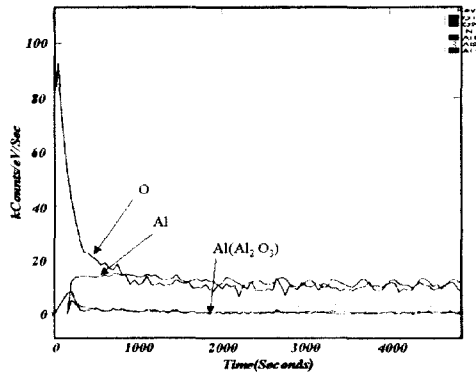
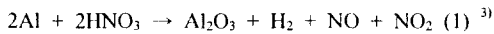
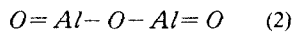


Fig. 4 XPS depth profile for each atomic existence in chemical reacted Al wafer

확한 관측을 할 수 있으며, 본 연구는 미세 가공이므로 절입깊이도 최대 1 μ m 이내로 조건을 두었다. 알루미늄은 자연대기 조건에서 주위의 산소와 쉽게 반응을 하여 자연산화막이 생성된다. 하지만 이 산화막의 두께는 수 nm 정도로 아주 얇다. 따라서 알루미늄 표면에 강제적으로 산화막을 생성시키기 위하여 질산용액중의 산소가 알루미늄과 결합하여 알루미늄 표면에 산화 알루미늄층(Al₂O₃)이 생성된다. 알루미늄과 질산과의 반응식은 식(1)과 같다.



또한, 화학반응을 하고 난 시편의 깊이 방향으로의 산소의 농도변화와 결합에너지(Binding Energy)를 분석하기 위해서 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)분석기에 의해 측정을 하였다. Fig. 4는 깊이 방향에 따른 산소의 농도변화를 나타낸다. 질산과 화학 반응한 표면에서는 산소의 농도가 많이 증가함을 알 수가 있으며 이때의 Al₂O₃의 결합에너지는 $-1675.7 \Delta H_f$ (kJ/mol)이고 구조식은 식(2)와 같다.⁴⁾



4. 실험결과 및 고찰

4.1 이송속도에 따른 가공특성

연질금속의 절삭가공시 burr의 발생과 그 크기는 이송속도(Feed rate)에 영향을 받는다.

C3M을 적용시킨 가공에서나 일반적인 가공방법에서도 이송속도 75, 150, 600 μ m/s로 증가함에 따라서 선 폭이 14.3, 14.3, 16.3 μ m로 증가함을 알 수가 있다. 그러나 Fig. 5에서 측정된 SEM(Scanning Electron Microscope)의 관측에 따르면 C3M을 적용시키지 않

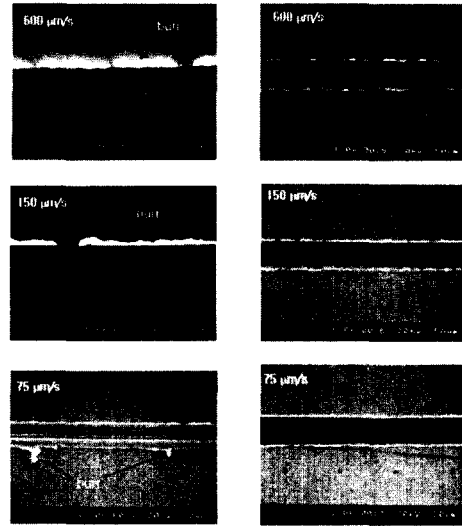


Fig. 5 SEM image of grooved edge according to feed rate (Load 95.7mN)



Fig. 6 AFM image of grooved edge by C3M (Load 95.7mN, Feed rate 150 μ m/s)

은 일반적인 가공에서는 burr의 발생량과 크기가 상당히 증가함을 알 수가 있으나 C3M을 적용시킨 결과에서는 이송속도가 감소함에 따라서 burr size는 점차 줄어들음을 알 수가 있다. Fig. 6은 C3M을 적용시켜 Load 95.7mN, Feed rate 150 μ m/s로 가공한 시편의 AFM(Atomic Force Microscope)측정결과이다. 절입깊이는 734nm로 일정하게 가공되어졌으며 하중의 변화에 따라 충분히 절입깊이는 제어될 수 있다고 본다. 그러나 가공된 형상은 공구 형상(tool shape)에 영향을 받으므로 본 연구에서는 corn shape의 공구를 택했지만 tool tip의 끝단이 피삭재의 표면에 수직으로 정확하게 닿지 않으면 형상정도에 영향을 미치는 것을 알 수가 있다.

C3M을 이용한 micro-machining process에서 나타나는 이러한 현상은 질산(HNO₃)과 알루미늄(Al)과의 반응에 의해 상호간에 전자를 공유함으로써 알루미늄

늄의 표면에 생성된 산화알루미늄(Al_2O_3)으로부터 전위(dislocation)가 고착되어 전위밀도가 높아져 변형에너지를 충분히 흡수함으로써 항복응력을 상승시키고 절삭저항이 감소, 가공 경화시키는 효과로 인해 burr의 발생과 크기가 감소되어지는 것을 나타낸다⁵⁾.

4.2 가공력의 변화에 따른 가공특성

연질금속의 절삭가공시 burr의 발생과 그 크기는 하중의 변화(Load change)에 영향을 받는다.

하중을 46.8mN으로 감소시키고 이송속도 600, 150, 75 μ m/s로 줄어듦에 따라 선 폭은 12.2, 12.2, 10.2 μ m로 줄어듦을 알 수가 있으며 이것은 절삭저항이 줄어듦으로 인한 결과로 볼 수가 있다. Fig. 7은 하중(Load)을 46.8mN으로 감소시키고 난 후 SEM측정사진이다. Fig. 5에 보인 양상과는 달리 C3M을 적용시킨 결과에서도 하중이 줄어듦에 따라서 버(burr)의 발생이라든지, 그 크기가 줄어듦을 알 수가 있다. Fig. 8은 공구의 위치제어를 향상시키고 하중 46.8mN, 이송속도 150 μ m/s로 가공한 시편의 AFM측정결과이다. 공구의 위치정도에 의해서 가공부위의 형상정도의 향상과 마찬가지로 하중의 감소에 따른 선 폭, 절입 깊이(569nm)가 줄어듦을 알 수가 있다.

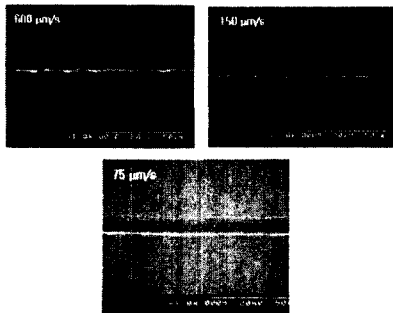


Fig. 7 SEM image of grooved edge by C3M (Load 46.8mN)

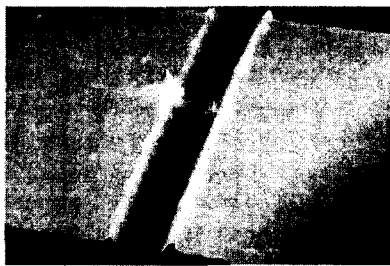


Fig. 8 AFM image of grooved edge by C3M (Load 46.8mN, Feed rate 150 μ m/s)

5. 결론

일반적인 micro-machine processing과 C3M을 적용한 micro-machine processing을 수행하여 여러 가지 조건에 따른 가공 특성을 알아보았다. 그 결과 C3M을 적용시킨 경우에는 버(burr)의 발생과 크기가 줄어듦을 알 수가 있었으며, 알루미늄과 질산과의 화학반응으로 생긴 반응생성물(Al_2O_3)에 의해서 전위의 이동을 고착시켜 표면의 항복응력을 상승시킨 결과라 할 수 있다. C3M을 적용시킨 가공에서도 하중의 변화, 이송속도의 변화에 따라서 버의 발생과 크기, 선 폭, 절입 깊이를 감소시킬 수 있었다. 이러한 결과들로부터 C3M의 process는 micro-groove를 필요로 하는 부품의 제조라든지 다양한 연질금속에 있어서의 micro-patterns, high machining accuracy를 필요로 하는 micro heat radiator, micro channels등에 충분히 적용되어질 수 있다고 생각되어진다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부 과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. Norio Taniguchi, Nanotechnology, Oxford Science Publications, pp. 15-16, 1996
2. Kohsuke TAGASHIRA, "The Chip Formation Mechanism of Orthogonal Cutting for Pure Iron Coated with Dilute Oleic Acid, Vol. 66, No.12, pp. 1917-1921, 2000.
3. 황호정, 반도체 공정기술, 생능출판사, pp. 338-339, 1999.
4. Moore, Stanitski 외 3명, The Chemical World, 자유아카데미, pp. 397-436, Appendix J, 2000.
5. William D. Callister, Jr, Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc, pp. 148-175, 1995.