

다결정 다이아몬드공구를 사용한 Al-Si합금의 선삭과정에서 절삭특성에 미치는 Si함량의 영향

이 경 호,* 윤 영 식,** 이 상 조***

The Effects of Si Content on the Cutting Characteristics in the Turning Process of Al-Si Alloy, Using a Polycrystalline Diamond Tool

Kyung-Ho Lee,* Young-Sik Yun,** Sang-Jo Lee***

ABSTRACT

With the recent development of light and high efficient automobiles and aircraft, demand of the Al-Si alloy is rapidly increasing. However, there is an inclination that as the content of silicon increases it becomes more difficult to machine.

Accordingly, the present study intends to analyse and study the cutting resistance and surface roughness of Al-Si alloy with Si contents of 8%, 12%, 17% and 20%. The Al-Si alloy specimens were turned by a polycrystalline diamond tool under selected cutting conditions, and results are here described and discussed.

1. 서 론

최근 자동차나 항공기의 경량화, 고효율화의 추세에 따라 Al-Si 합금은 그 수요가 급격하게 증가하고 있다. 또한 초정밀 가공기술이 요구되는 비디오 테이프레코더(VTR)의 헤드드럼에서도 그 영역이 점차 확대되어가고 있다. 이들 부품의 구성소재로서의 Al-Si 합금은 더욱 높은 강도, 경도, 내마모성, 내부식성등이 요구되고 있으나 경도가 지나치게 높게 되면 초정밀가공에 영향을 미치게 되어 생산성이 저하된다.⁽¹⁾

Al합금에서는 Si을 약 5-13% 포함하는 아공정 Al-

Si 합금이 그 상당부분을 차지하고 있었으나, 근래에 들어와서는 14-25% Si을 함유하는 과공정합금에 대한 관심이 점차 증가하고 있다.⁽²⁾

이들 과공정 합금은 공정기지에 단단한 비금속 Si입자가 박혀있는 천연의 복합재료조직을 가지고 있다. 그러나 Si의 함량이 증가할수록 이를 가공하기 위한 공구면에서 볼 때 점점 난삭화되어지는 경향을 보이고 있으므로 새로운 가공기술이 필요하다.

본 연구에서는 Al-Si합금이 고온경도, 강도, 내식성과 내마모성이 높아 그 사용량이 늘어가고 있으나 Si의 양이 증가됨에 따라 난삭제로서의 문제가 되고 있는 점

* 삼성전기(주)

** 건양대학교 기계공학과

*** 연세대학교 기계공학과

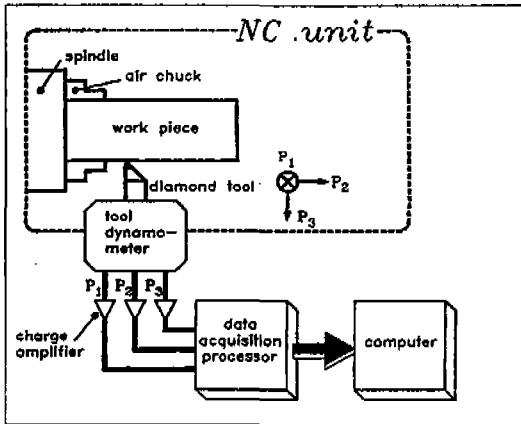


Fig. 1 The arrangement of the measuring equipments

Table 1 Specification of Cutting Tool & Tool Holder

Tool			
Insert type	Model (G.E)	Thickness	Nose Radius
CNMA120404	Compax	4.76	0.4
Tool Holder			
Type	Clamping System	Entering Angle	Side rake Angle
PCLNR 2625M12	Hole Clamping	95°	-6°

호를 50Hz의 샘플링 주파수로 컴퓨터에 전송하여 데이터 처리 하였다.

실험에 사용한 시험편은 주조용 알루미늄 합금재로서 실리콘의 함량이 각각 8%, 12%, 17%, 20%인 것으로 시편제작 방법은 용해온도(출탕온도) 750℃, 주입온도 700℃로 하고 C2Cl6(Hexa-Chloro Ethan)정제로 탈가스 처리 하였다. 그리고 사형주조(sand casting)후 공냉처리 하였으며 흑연도가니로 #300을 용해에 사용하였다. 또한 실리콘이외의 Cu, Mg, Fe등의 불순물을 시편 제작시에 가급적 배제시켜 이들 인자의 영향을 최소화시켰다. 이들 시편의 외경은 110mm, 길이는 300mm이며 열처리는 하지 않았고 실리콘 함량별로 2종, 8개를 제작하여 실험에 임했으며 실험조건은 절삭속도 200, 400, 600, 800m/min, 절삭깊이 0.3, 0.5mm 그리고 이송 0.03, 0.06, 0.09, 0.12mm/rev로 하였다. 여기서 최소 절삭깊이 및 이송을 각각 0.3mm와 0.03mm/rev로 한것은 정밀도 관점에서 뿐만 아니라 실제 생산공정에서의 가공시간 단축의 관점에서도 비중을 두어 다결정다이아몬드 공구의 본 피삭재에 대한 사용조건범위를 충분히 실험에 반영하고자 한것이다. 각 시편에 대한 화학조성 및 경도, 조직사진은 Table 2 및 Photo 2~Photo 5와 같다. Photo 2는 Si 8%의 조직으로서 회계 보이는 부분이 초정이고, 흑색침상조직으로 보이는 것이 공정 Si입자이며 조직전반에 걸쳐 균일한 분포를 보이고 있다. Photo 3은 Si 12%의 조직으로서 회계 보이는 부분이 초정이고 검은점 모양의 초정 시편석이 나타난 것을 볼 수 있다. 여기서 흑색침상의 조직은 공정 Si입자이다. Photo 4

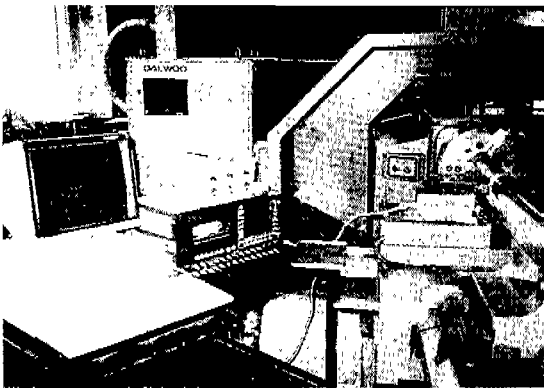


Photo 1 Photograph of the experimental set-up for cutting test

에 대하여 이 합금을 피삭재로 적용, 이에 적합한 공구로 알려진 다결정다이아몬드(Polycrystalline Diamond:PCD)공구로 선삭 실험을 실시하여 절삭저항과 표면조도에 미치는 Si 함량의 영향을 조사하고자 한다.

2. 실험방법

실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같으며, 전체 실험장치에 대한 사진이 Photo. 1에 나타나있다.

실험은 Table 1과 같은 사양의 다결정 다이아몬드공구와 110x300 크기의 공작물, NC 선반(DAEWOO PAN-20)을 사용하여 선삭가공하였으며, 공구동력계(Kistler 9257B)를 이용하여 테이프레코더에 아날로그 형태의 절삭 3분력을 기록하였다. 그리고 아날로그 신

Table 2 Chemical composition & Hardness values of Test materials(wt%, Vickers)

Alloy	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Al	Hardness(Hv)
Al-8% Si	8.24	0.02	0.03	0.21	< 0.01	bal.	45.6
Al-12% Si	12.57	0.01	0.03	0.20	< 0.01	bal.	46.4
Al-17% Si	16.79	0.02	0.04	0.24	0.01	bal.	48.4
Al-20% Si	20.30	0.02	0.04	0.25	0.01	bal.	55.5

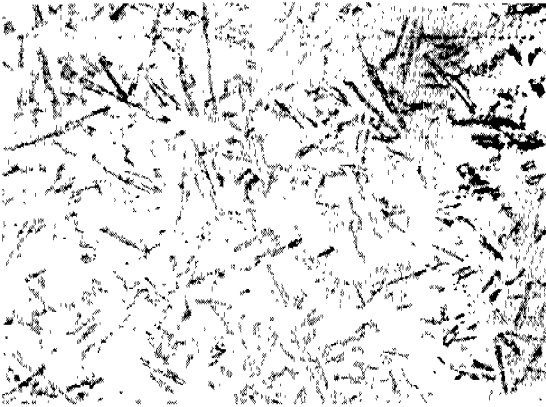


Photo 2 Microstructure observation(x 50), Al-Si 8%



Photo 5 Microstructure observation(x 50), Al-Si 20%

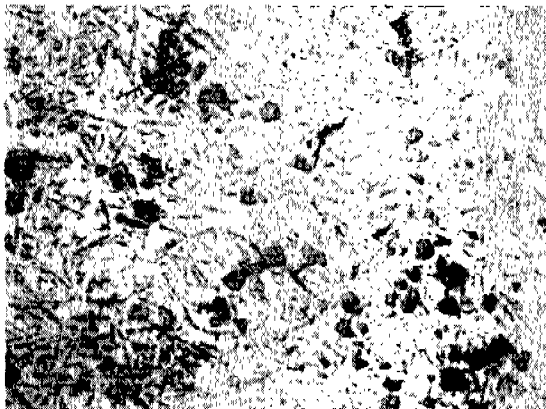


Photo 3 Microstructure observation(x 50), Al-Si 12%

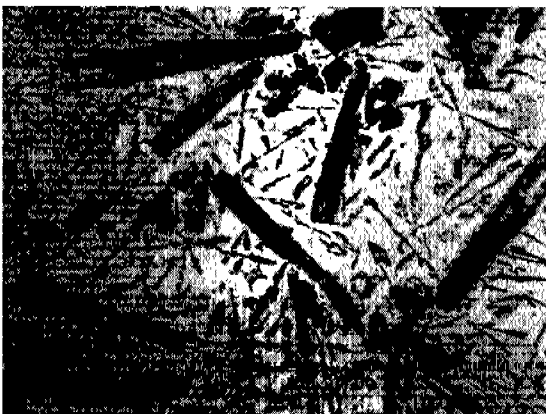


Photo 4 Microstructure observation (x 50), Al-Si 17%

는 Si 17%의 조직으로서 초정 α 의 바탕에 흑색침상의 공정 Si조직과 거대한 초정 Si의 편석이 나타났다. 이것은 Si 12%조직보다 훨씬 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. Photo 5는 Si 20%의 조직이며 이것은 Si 17%의 조직과 유사하나 초정 Si편석의 크기에 있어서 더욱더 커진 것을 알 수 있다.

이와같이 15%이상의 Si를 함유하는 합금에서의 가장 두드러진 문제점은 사형구조에서와 같이 냉각속도가 느릴때 발생하는 Si의 거시편석이다. 이것은 중력편석에 의하여 주물 상부에서는 Si의 농도가 높아지고, 주물의 하부에서는 Si가 거의 나타나지 않는 Si입자의 부유에 의하여 야기되는 것이라고 할 수 있다.⁽³⁾

3. 실험결과 및 고찰

Al-Si합금을 다결정다이아몬드 공구를 사용하여 절삭속도 200~800m/min, 절삭깊이 0.3mm, 0.5mm, 이송 0.03, 0.06, 0.09, 0.12mm/rev의 조건으로 절삭시 발생하는 힘의 3분력을 측정된 결과 16.3N에서 157.8N사이의 절삭력 데이터를 얻을 수 있었다. Fig. 2~Fig. 9는 절삭깊이 0.3mm와 0.5mm 및 절삭속도가 각각 200, 400, 600, 800m/min 일 경우 이송의 증가에 따른 주절삭분력의 변화를 각 시편에 대해서 나타낸 그림이다. Fig. 2에서는 이송이 증가 할수록 주절삭분력의 크기도 증가하고 있으며, 전반적으로 Si함량이 높을수록 주절삭분력도 높게 나타났다. 다만 Si 12%의 경우 이송 0.09mm/rev 이상에서는 Si 17%의 경우보다 주절삭분력이 더높게 나타나는 것을

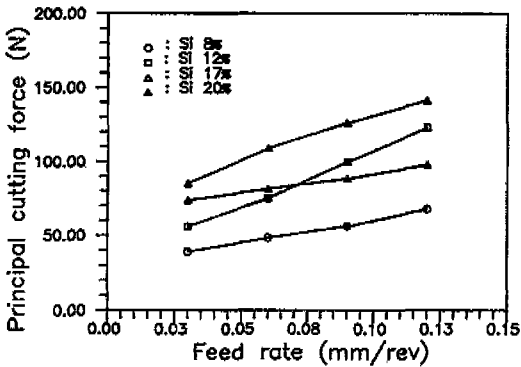


Fig. 2 Principal cutting force versus Feed rate (d=0.3mm, V=200m/min)

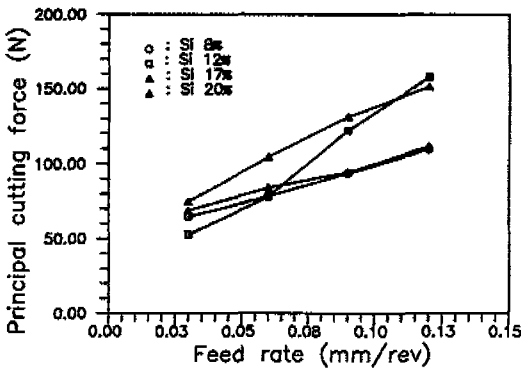


Fig. 3 Principal cutting force versus Feed rate (d=0.5mm, V=200m/min)

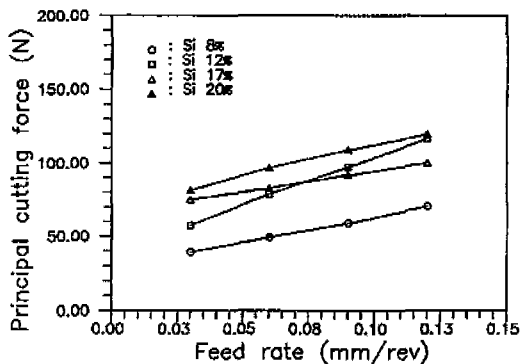


Fig. 4 Principal cutting force versus Feed rate (d=0.3mm, V=400m/min)

볼 수 있다. 이것은 사형주조에서 냉각속도가 느린데에 기인하는 Si입자의 불규칙성 때문인것으로 판단된다. Fig. 3에서는 절삭깊이가 0.5mm인 조건으로서 Si 17%와 8%는 거의 비슷하게 주절삭분력이 높아지는 경향이며, Si 12%의 경우 이송이 0.06mm/rev 이하에서는 상대적으로 주절삭분력이 낮게 나타나고 있으나 이송이 0.09mm/rev 이하에서 부터 급격하게 증가하고 있다. Fig. 4에서는 앞의 Fig. 2와 거의 유사한 형태를 보이고 있으며, 다만 이송이 0.12 mm/rev에서 Si 20%와 Si 12%가 비슷한 주절삭분력의 크기를 나타내고 있다. Fig. 5에서도 역시 Fig. 3과 유사한 형태를 보이고 있으며 다만 이송이 0.06mm/rev에서 부터 Si 12%의 주절삭분력이 Si 8%, 17%의 경우보다 높게 나타나고 있는것이 다르다. Fig. 6, Fig. 8에서도 Fig. 2, Fig. 3의 경우와 유사한 경향을 보이고 있으며, Fig. 7, Fig. 9에서도 역시 Fig. 3, Fig. 5와 유사한 경향이나 다만 Si 17%와 Si 8%와 비슷한 값의 주절삭분력을 나타내고 있지는 않고있다.

이상에서 알 수 있듯이 이송이 증가할수록 주절삭분력의 크기는 증가하고 있는 경향이며 실리콘함량이 높을수록 동일 절삭조건에서 절삭저항이 크게 나타났다. 하지만 실리콘함량 12%의 경우 이송이 0.06mm/rev 이후 부터 절삭저항이 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

실리콘함량에 따른 각절삭조건에서 표면조도의 변화는 0.55 μ m에서 2.37 μ m사이의 값을 나타내었다.

Fig. 10~Fig. 17은 절삭깊이 0.3mm와 0.5mm 및 절삭속도가 각각 200, 400, 600, 800m/min일 경우 이송의 증가에 따른 표면조도의 변화를 각 시편에 대해서 나

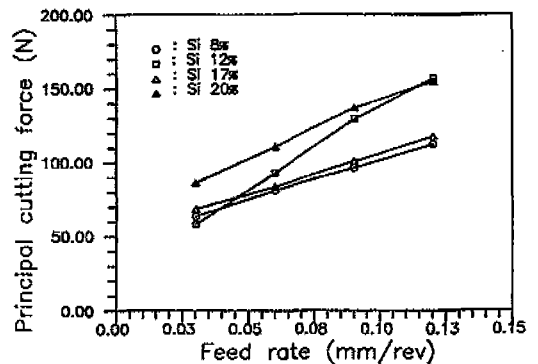


Fig. 5 Principal cutting force versus Feed rate (d=0.5mm, V=400m/min)

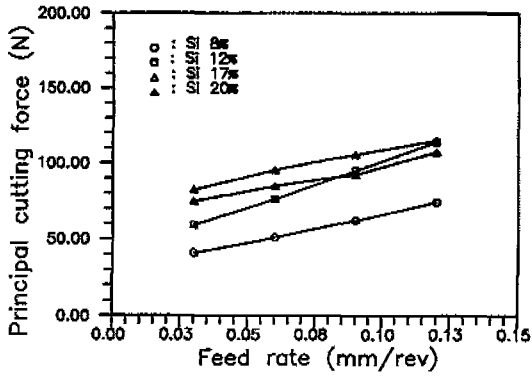


Fig. 6 Principal cutting force versus Feed rate ($d=0.3\text{mm}$, $V=600\text{m/min}$)

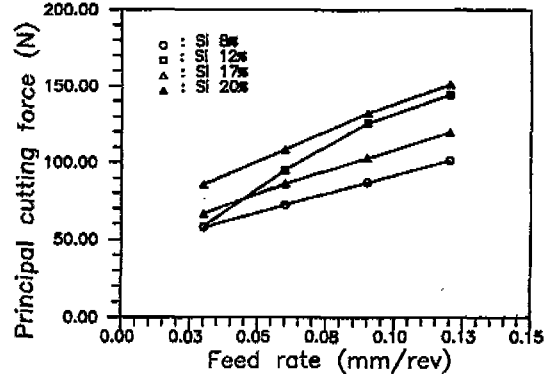


Fig. 9 Principal cutting force versus Feed rate ($d=0.5\text{mm}$, $V=800\text{m/min}$)

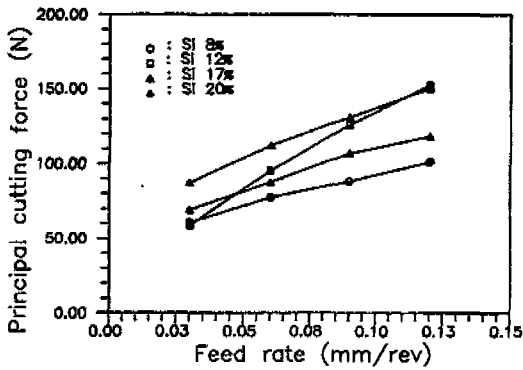


Fig. 7 Principal cutting force versus Feed rate ($d=0.5\text{mm}$, $V=600\text{m/min}$)

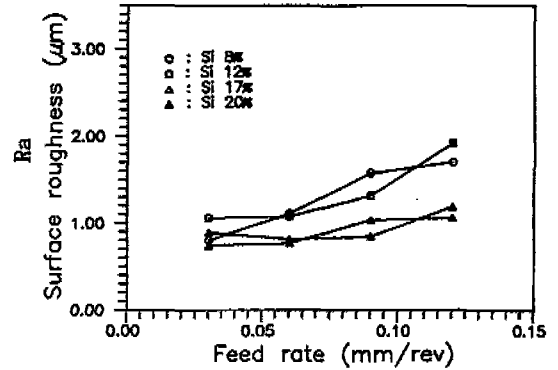


Fig. 10 Surface roughness versus Feed rate ($d=0.3\text{mm}$, $V=200\text{m/min}$)

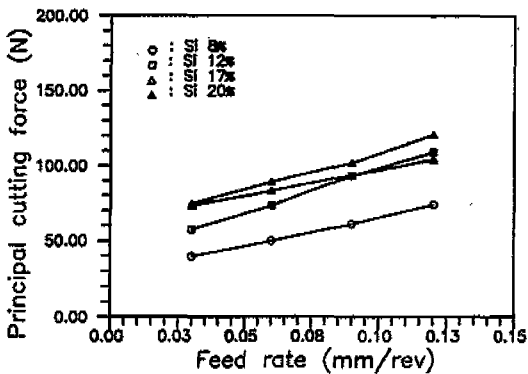


Fig. 8 Principal cutting force versus Feed rate ($d=0.3\text{mm}$, $V=800\text{m/min}$)

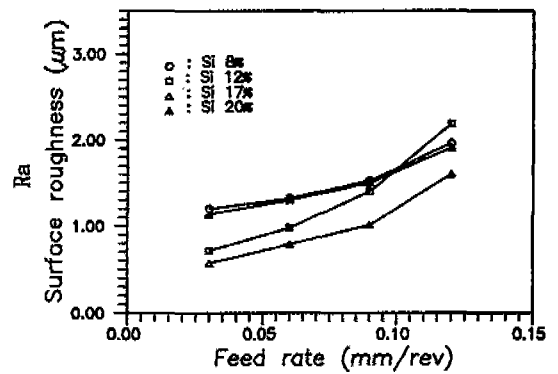


Fig. 11 Surface roughness versus Feed rate ($d=0.5\text{mm}$, $V=200\text{m/min}$)

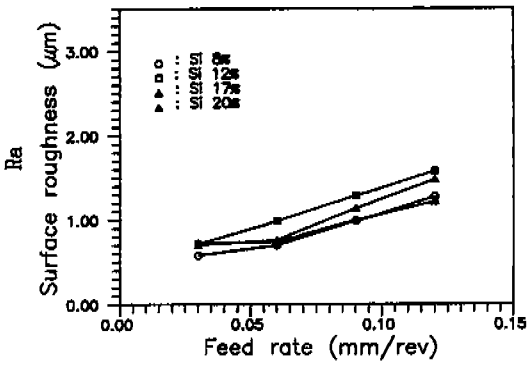


Fig. 12 Surface roughness versus Feed rate (d=0.3mm, V=400m/min)

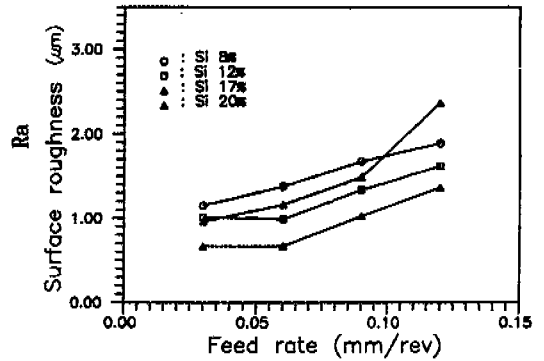


Fig. 15 Surface roughness versus Feed rate (d=0.5mm, V=600m/min)

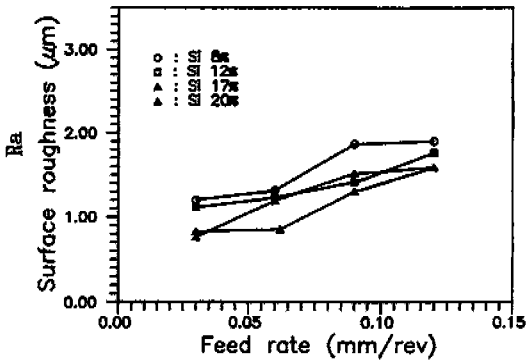


Fig. 13 Surface roughness versus Feed rate (d=0.5mm, V=400m/min)

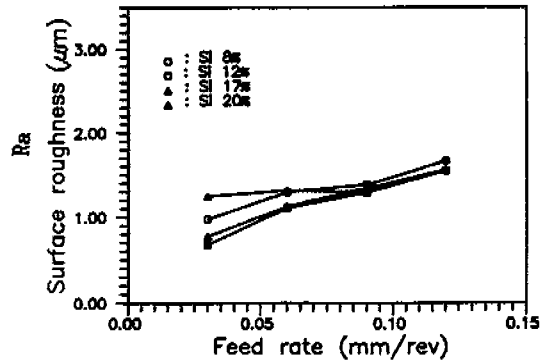


Fig. 16 Surface roughness versus Feed rate (d=0.3mm, V=800m/min)

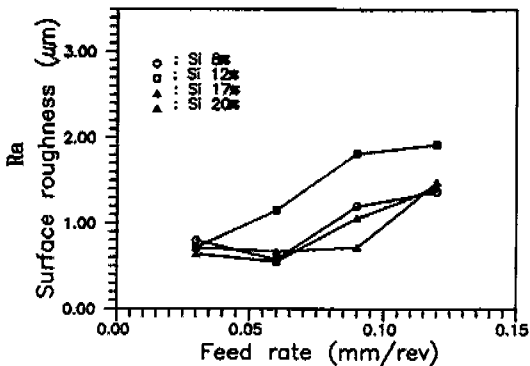


Fig. 14 Surface roughness versus Feed rate (d=0.3mm, V=600m/min)

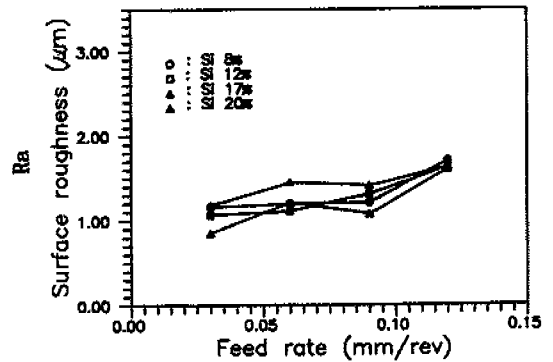


Fig. 17 Surface roughness versus Feed rate (d=0.5mm, V=800m/min)

타낸 그림이다. Fig. 10에서 보면 이송이 증가 할수록 각 합금에 대해서 표면조도가 크게 나타나고 있으며 Si 함량과는 무관한 경향을 보이고 있다. Fig. 11에서는 Si 20%와 Si 8%의 표면조도가 거의 일치하고 있으며, Fig. 12에서는 각 합금의 상대적인 표면조도값이 매우 좁은 영역에 몰려 있음을 알 수 있다. Fig. 13에서는 앞의 그림들과 특징지울만한 현상은 없으며 Fig. 14의 경우 Si 12%를 제외하고는 이송 0.03~0.06mm/rev 구간에서 표면조도가 적게 나타나고, 그 이후 다시 커지는 경향을 보이고 있다. 또 Si 17% 및 Si 8%는 거의 유사한 표면조도값을 나타내고 있다. Fig. 15에서는 Si 17%의 경우를 제외 하고는 거의 일정한 구배를 유지하고 있고, Fig. 16 및 Fig. 17에서는 각 합금들이 매우 좁은 영역에 몰려 있으며 여기서 표면조도의 부분적인 등락이 있음은 주물결합의 원인으로 판단된다.

이상에서 알 수 있듯이 이송이 증가할수록 표면조도가 크게 나타나고 있으며, 실리콘함량에 대한 영향은 특징 있게 나타나지 않고 다만 실리콘함량 8%의 경우가 이송의 증가에 따라 표면조도값이 상대적으로 크게 나타나는 경향을 보였다.

4. 결 론

Al-Si합금에서 Si성분의 함량이 각각 8%, 12%, 17%, 20%인 소재를 선정된 절삭조건에 의하여 다결정 다이아몬드공구(Insert CNMA 120404, Tool Holder PCLNR 2525M12)로 선삭가공할때 CNC선반에 설치된 공구동력계(Kistler 9257B)를 이용하여 테이프 레코더에 절삭 3분력을 기록하고, 그 값을 근거로 하여 절삭조건과 가공면의 표면조도를 분석하고 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 주절삭분력의 크기는 절삭깊이 및 이송량의 증가에 따라 증가하는 경향이며, 실리콘의 함량이 높을수록 동일절삭 조건에서 주절삭분력이 상대적으로 크게 나타나는 경향을 보였으며 실리콘함량 12%의 경우 이송이 0.09mm/rev 이상에서는 실리콘함량 17%의 경우보다 주절삭분력의 크기가 더 높게 나타나는 경향을 보였다.

2. 주절삭분력의 크기는 절삭속도의 변화에 거의 무관하게 나타났으며, 실리콘함량 12%의 경우 이송이 0.09mm/rev 이상의 조건에서 17%의 함량보다 각 절삭속도에 대하여 주절삭분력이 더욱 크게 나타났으며,

그 이외의 조건에서는 실리콘함량이 높을수록 주절삭분력도 크게 나타나는 경향을 보였다.

3. 가공면의 표면조도는 이송량이 증가할수록 전반적으로 커지는 경향이고, 실리콘의 함량과는 무관하게 나타났으며, 절삭속도의 증가에 대해서는 각함량별로 불규칙적인 경향이며 일부구간에서 상대적 표면조도가 높게 나타난것은 주물의 내부기공에 의한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 삼성전자 종합연구소, 안동훈, "VTR 헤드드럼용 알루미늄 합금", pp.115, 1985.8.
2. N. Tenekedijiev and JE. Gruzleski:Cast. Met., pp.3-96, 1990.
3. 정운재 외, "주조용 과공정 Al-Si 합금", Journal of the Korean Foundrymen's Society, jujo Vol.13, No.1, pp.17-24, 1993.2.
4. J.L. Jorstad:AFS Trans., pp.92-573, 1984.
5. 中井哲男, "難削材の切削加工 - CBN, Diamond 工具の展開", 機械技術, pp.83-89, 1993.2.
6. 大韓金屬學會, "非鐵金屬材料", pp.60-61, pp.106-108, 1987.
7. ASM Metals Handbook, metallography, Structures, and Phase Diagrams, Vol.8, 8th Ed., ASM, 1973.
8. R.H. Wentorf, Jr, "Borazon CBN and Man-Made Diamond Compacts, Cutting Tool Materials", ASM Proc. of Int. conf., pp.511, 1980.
9. T.C.G.Lo-A-Foe, J.H.Dautzenberg, and A.C.H.Van der Wolf, "A Model for the Micro-cutting Forces of Non-Ferrous Metals", Proceedings of the 5th Polytechnics Symposium on Manufacturing Engineering, pp.346- 362, 1986.
10. 木會弘隆 外, "Diamond coating工具によるAl-Si合金の切削", 精密工學會 秋季講演會 論文集, pp.357, 1990.
11. 윤영식, "다이아몬드공구를 사용한 정밀선삭 가공과정의 해석", 연세대학교대학원 박사학위 논문, 1992.