

Al6061-T6재의 절삭가공 특성에 관한 연구

강상도*, 채왕석⁺, 김경우⁺⁺, 김우순⁺⁺, 김동현⁺⁺⁺

A Study on the Characteristics of Cutting for Al6061-T6

Kang, Sang Do*, Chae, Wang Seok⁺, Kim, kyong woo⁺⁺, Kim, Woo Soon⁺⁺, Kim, Dong Hyun⁺⁺⁺

Abstract

This study carried out a cutting experiment on Duralumin Al6061-T6, which is light but strong and highly anticorrosive, so recently popular as a lightweight material, by changing cutting conditions and alternating 4 insert tips, and examined the effect of each insert tip on cutting force at certain cutting conditions, the measurements of the coarseness of processed surfaces roughness, and the chip workability. The following conclusions were drawn from the results. Cutting force for cutting tool is when insert tips were alternated at each cutting condition, the cutting force of cutting tools was highest when CBN tools were used, next by Ceramic tools, Cermet tools, and WC tools. Therefore, WC tools are considered most suitable for cutting Duralumin Al6061-T6. Surface roughness as for the coarseness of surfaces according to insert tips applied to Duralumin Al6061-T6 under the cutting condition of depth of cut below 1mm, feed rate below 0.24mm/rev and cutting speed over 100m/min, the coarseness of material surface roughness appeared to be finest when WC tools were used, next by Ceramic tools, Cermet tools, and CBN tools.

Key Words : surface roughness(표면거칠기), cutting force(절삭력), Duralumin Al6061-T6, insert tip

1. 서론

듀랄루민은 일반적인 절삭공구로서는 고능률적인 가공이 어려운 난삭재^{1,2,3)}로 분류되어 연삭가공의 의존도가 높았다. 그러나 최근의 산업사회의 발전과 더불어 공작기계의 고정밀도화, 고강성화가 진행되고 Ceramic공구, CBN공구, 다이아몬드

공구 등과 같은 내마모성^{4,5)}이 우수한 새로운 공구의 개발이 이루어져 듀랄루민의 기계가공에서는 연삭과 절삭의 경계영역이 좁혀지고 있는 실정이다. 듀랄루민의 절삭가공에 있어서의 문제점은 경도가 높기 때문에 절삭저항이 큰 점과 마찰에 의한 절삭날의 온도상승으로 인한 공구마멸 및 공구파손⁶⁾으로 나타난다. 이러한 배경 하에서 듀랄루민의 절삭에 대해서는

* 강상도, 원광대학교 기계시스템·디자인공학부 (ksdles@wonkwang.ac.kr)

+ 채왕석, 군장대학 자동차기계

++ 김경우, 김우순 원광대학교 기계시스템·디자인공학부

+++ 김동현, 원광대학교 기계시스템·디자인공학부

새로이 개발된 공구재와 다양한 대상으로 많은 결과가 보고되고 있지만, 실제로는 생산현장에서 필요로 하는 실용적인 측면을 고려하지 못하는 등 시대에 맞는 요구를 충분히 만족시키지 못하였다. 실용적이고도 고능률적인 절삭가공을 하기 위한 절삭입력조건을 결정하는데 있어서는 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이 등 어느 항목도 경시할 수 없으며⁷⁾, 절삭현상에 대한 결과를 대부분 이송속도와 절삭깊이에 대한 영향으로 검토하고 있다. 본 연구에서는 듀랄루민Al6061-T6재의 선삭에서 발생하는 절삭력과 표면거칠기를 최적의 데이터를 얻기 위해서 절삭깊이, 절삭속도, 이송속도, 절삭조건을 변환시키면서 동시에 본 연구에서 사용된 Insert Tip인 CBN공구, Ceramic공구, Cermet공구, WC공구로 교체해주면서 실험을 하여 각 조건에서 듀랄루민Al6061-T6재에 대한 최적의 절삭력과 표면거칠기 데이터를 정리하여 제시하고자 한다.

2. 실험

2-1 실험 방법 및 실험장치

본 실험에서는 선삭가공 특성을 규명하기 위해서 사용한 가공재는 내식성이 뛰어나고 변형저항이 적어 판재 뿐 아니고, 압출재나 단조가공재로서 가장 많이 사용되고 있는 듀랄루민 Al6061-T6 시험편($\phi 60 \times 350$)이며, 화학성분 및 기계적 성질은 Table 2-1과 Table 2-2에 나타냈다.

Table2-1Chemicalcomposition(wt%)

	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ni	Pb	Ti	Al
Al6061-T6	11.38	0.37	1.85	0.87	0.15	0.27	0.69	0.06	0.02	84.10

본 실험에서 가공재를 가공하기 위해서 사용한 공구는 Mg과 Si를 함유해 고강도인 듀랄루민Al6061-T6를 가공하기 위해 4개의 Insert tip을 사용하였다. 공구의 선정은 선삭 실험의 신뢰성 확보를 위하여 사용되는 공구각 80° 인 Insert tip을 KOLOY사의 동일 제품으로 사용하였다. 본 절삭실험에서 사용한 Insert tip은 CBN tool(CNM-G20408), Ceramic tool (CNMG1204 08), Cermet tool (SNM-G120408), WC tool (N C320 CNMG120408)을 사용했다. 공구의 노즈반경은 칩 발생시 발생하는 진동이나 공작기계의 진동이 칩 형성에 미치는 영향을 고려해서 모두 0.8mm로 하였다. 절삭실험에서 사용된 정밀고속선반은 HL-380 (HWACHEON)이다. 절삭력을 측정하기 위해 선반의 기존의 복식공구대를

Table2-2Mechanical properties

material	Al6061-T6
Tensile Strength (N/mm ²)	334.8
Yield Strength (N/mm ²)	313.3
Elongation (%)	0.86
Vickers Hardness(Hv)	167.6
Impact Value (J/cm ²)	1.15

분리하고 그 위에 KISTLER의 Tool Dynamometer 9257B를 설치하여 절삭력을 측정하여 측정된 신호는 Charge amplifier(KISTLER, 5011A)로 보내져서 증폭되어 증폭된 신호는 다시 A/D 컨버터(CIO-DAS 1602/12)로 보내져 절삭력에 상당하는 전압값으로 변환되게 된다. 변환된 절삭력 신호는 PC로 보내져서 절삭력 전용분석 프로그램인 Dynaware에 의해 해석되어서 모니터에 절삭력 X, Y, Z의 힘이 그래프로 나타나게 된다. Fig. 3-2는 실험장치의 개략도를 나타내었다.

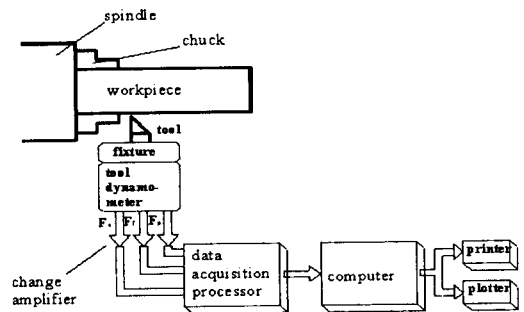


Fig. 2-1 Schematic diagram of Machinability Tester

2-2 실험 조건

실험에 들어가기 전에 듀랄루민Al6061-T6의 적정가공조건 하에서 예비실험을 하였다. 예비실험을 통해서 절삭실험에 적절한 절삭조건범위를 예측하여 절삭속도, 이송속도, 절삭조건범위를 예측하여 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이를 예측

Table 2-3 Cutting condition

Insert Tip	CBN, Ceramic, Cermet, WC
Cutting speed (m/min)	100, 150, 200
Feed rate (mm/rev)	0.12, 0.24, 0.36, 0.48
Depth of cut (mm)	0.2, 0.5, 1.0, 1.5
Coolant	dry

해주었다. 본 실험에서는 먼저 공작물의 편심 및 원자재의 가공경화층을 제거하기 위해서 1mm 정도 표면을 가공한 다음 각 실험조건별로 실험을 하게 되었다. 절삭조건은 다음 Table 2-3에 자세하게 나타내고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 절삭력

절삭력 실험은 각 Insert tip에 대하여 절삭깊이 변화에 따른 이송속도와 절삭력과의 관계를 고찰하였다. Al6061-T6를 소재로 하여 주조공정 및 열처리에 의한 가공 경화층으로 인한 영향을 제거하기 위해서 1mm정도 peeling하여 각 가공조건에 대하여 절삭력 데이터를 분석하였다. Fig. 3-1과 Fig. 3-2는 각각 CBN공구나 Cermet공구로 절삭깊이를 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm로 변화시키면서 절삭했을 때의 이송속도와 절삭력과의 관계를 나타낸 것이다. CBN공구나 Cermet공구로 절삭한 경우, 두가지 경우에서 모두 이송 속도가 증가에 함따라 절삭력도 증가하였으며, 특히 이송속도 0.24mm/rev

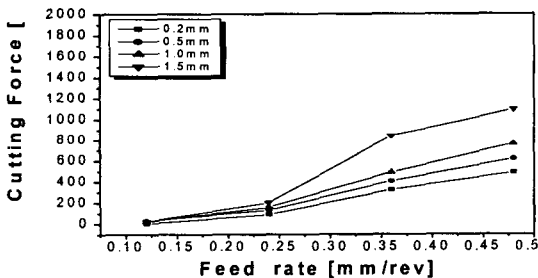


Fig. 3-1 Relation between cutting force and feed rate (Insert tip=CBN tool)

이후부터 급속하게 증가함을 보였다. Cermet공구인 경우, 절삭깊이 1.5mm인 조건에서 이송속도 0.24 mm/rev 이상인 경우에 급격한 절삭력 증가를 보였는데, 그 이유는 절삭시간이 길어짐에 따라 공구마모가 심화되고 절삭온도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 3-3은 Ceramic공구로 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm로 변화시키면서 절삭했을 때의 절삭력과 이송속도의 관계를 나타내고 있다. 이송속도 0.36mm/rev까지는 위의 그래프와 같이 유사한 절삭력 증가를 보였으나, 이송속도가 0.48mm/rev에서는 절삭력이 감소하는 현상을 보였다. 이러한 절삭력 감소 현상은 이송속도가 빨라지면서 절삭속도가 임계속도에 도달아서 구성인선의 생성과 탈락의

주기가 길어져 상대적으로 절삭력에 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

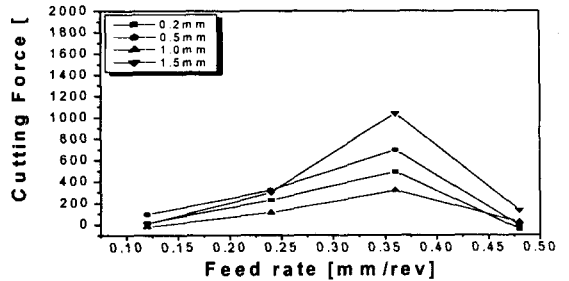


Fig. 3-2 Relation between cutting force and feed rate (Insert tip=Cermet tool)

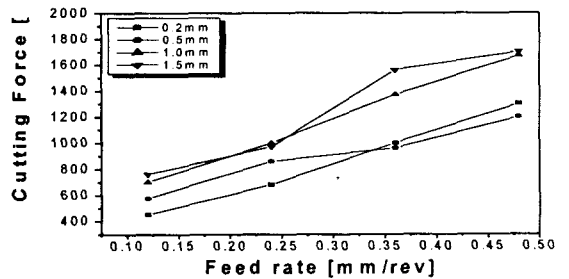


Fig. 3-3 Relation between cutting force and feed rate (Insert tip=Ceramic tool)

Fig. 3-4는 동일한 조건에서 WC공구로 절삭했을 때의 절삭력 과 이송속도의 관계를 나타내고 있다. WC공구 역시 CBN공구, Cermet공구, Cera-mic공구와 같이 동일한 현상이 나타났다. 특히, 절삭깊이 1.5mm에서는 이송속도 0.24mm/rev 이상에서 급격한 절삭력 증가를 나타냈다. 위의 결과로 CBN공구, Cermet공구, Ceramic공구, WC공구로 절삭했을 때 절삭력은 절삭깊이 증가에 따라 절삭력이 증가하는 것을 보았지만, Ceramic공구의 경우, 이송속도 0.48mm/rev의 절삭조건에서 절삭력이 감소하였다.

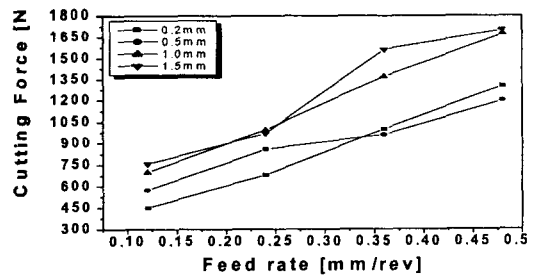


Fig. 3-4 Relation between cutting force and feed rate (Insert tip=WC tool)

실제로 절삭가공시 절삭력은 가공물의 표면 거칠기와 치수 정밀도를 향상시키는 데 그 목적이 있다. 그래서 이러한 제품을 얻기 위해서는 절삭조건 가운데 이송속도와 절삭속도를 조절 할 필요가 있는 것을 볼 수 있다.

3-2 절삭공구에 대한 절삭력

가공재에 대한 최적의 절삭공구를 선정하기 위해서 각 절삭공구에 대하여 동일한 절삭속도에서 절삭깊이와 절삭력과의 관계를 고찰하였다. 절삭속도 100m/min으로 고정하고 이송속도를 0.12mm/rev, 0.24mm/rev, 0.36mm/rev, 0.48mm/rev, 절삭깊이 0.2 mm, 0.5mm, 1.0 mm, 1.5mm로 변화시켜 절삭실험을 했을 때 각 절삭조건에 따른 절삭력의 변화를 고찰하였다.

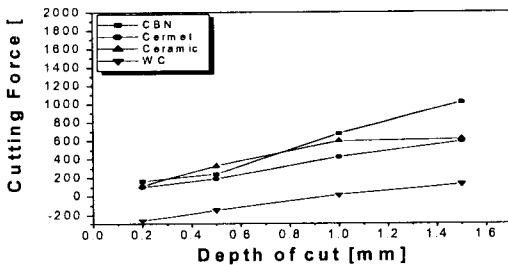


Fig. 3-10 Relation between of cutting force and depth of cut (Feed rate=0.12mm/rev)

Fig. 3-10은 절삭속도 100/min과 이송속도 0.12 mm/rev 인 경우 절삭력을 나타낸다. 모든 공구는 절삭깊이의 증가에 따라 절삭력이 증가하였고, CBN공구가 절삭력값이 가장 높게 나타났다. 이유는 CBN공구의 경도가 가장 높기 때문이며 이 공구는 다른 공구보다는 마모가 많이 발생하지 않기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 3-11은 절삭속도 100/min과 이송속도 0.24mm/rev에서 선삭가공한 결과를 나타냈으며 절삭력 크기는 CBN공구>Ceramic공구>Cermet공>WC공구 순으로 나타났다.

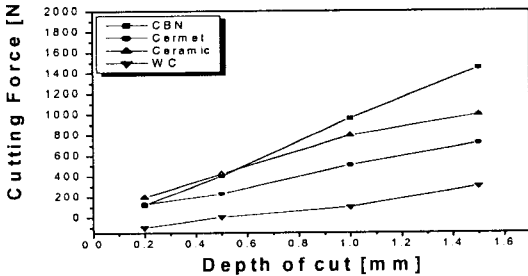


Fig. 3-11 Relation between of cutting force and depth of cut (Feed rate=0.24mm/rev)

Fig.2-12는 절삭속도 100/min과 이송속도 0.36 mm/rev에서 절삭력 변화를 나타내고 있다. 절삭깊이 증가에 따라 절삭력이 증가하였지만, Cera-mic공구와 Cermet공구에서 절삭력 크기의 변화가 발생하였다. Ceramic공구가 절삭가공할 때 가장 많은 응력이 발생하여 절삭력에 악영향을 미치게 되기 때문이다.

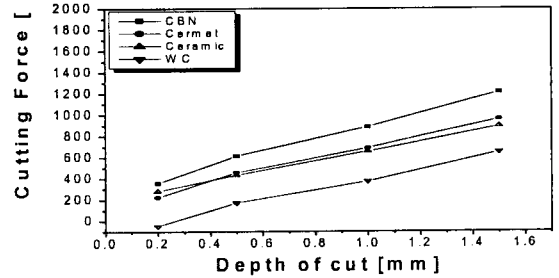


Fig. 3-12 Relation between of cutting force and depth of cut(Feed rate=0.36mm/rev)

Fig. 2-13은 절삭속도 100/min과 이송속도 0.48 mm/rev에서 선삭가공했을 때 절삭력을 나타내었다. Cermet공구는 절삭깊이 0.5mm~1.0mm 구간에서 미세하게 절삭력이 감소하는 현상을 보이지만, 전체적으로 Fig. 2-15와 유사한 유형으로 절삭력이 증가하였다. Ceramic공구는 절삭깊이 0.5 mm~1.0mm 구간에서 일정한 절삭력을 나타내며, WC공구는 절삭깊이의 증가에 따라 절삭력이 증가하는 것을 보였다. 따라서 듀랄루민 Al6061-T6의 절삭공구로서는 절삭깊이 증가에도 큰폭의 절삭력을 나타내고 있지 않는 WC공구가 가장 적합하다고 판단되었다.

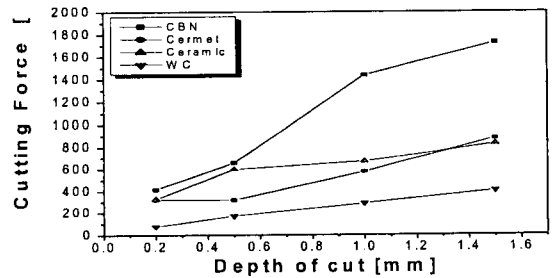


Fig. 3-13 Relation between of cutting force and depth of cut(Feed rate=0.48mm/rev)

3-2 표면거칠기

본 절에서는 각각의 공구를 이용하여 듀랄루민 Al6061-T6를 절삭깊이 0.2mm, 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5mm로 변화시키면

서 절삭했을 때 절삭조건에 대한 표면 거칠기를 측정된 결과에 대하여 분석하였다. 실험데이터는 각각의 절삭조건에 대해 실험을 5회 실행하여 산술평균값을 사용하였다. Fig. 4-14는 CBN 공구를 이용하여 했을 때의 이송속도와 표면 거칠기와의 관계를 나타낸 것이다. 절삭깊이 0.2mm인 경우, 표면 거칠기 값이 0.2 μ m rms에서 0.3 μ m rms까지 소폭의 증가를 보였고 전반적으로 이송속도와 관계없이 양호한 표면거칠기를 보였다. 특히 이송속도 0.24mm/rev일 때 절삭깊이가 증가함에 따라 표면 거칠기 값이 0.3 μ m rms에서 1.3 μ m rms까지 급격히 증가하였고, 이송속도 0.36mm/rev지점에서는 절삭깊이에 따라 표면 거칠기 값이 0.28 μ m rms에서 1.0 μ m rms까지로 증가하였으나, 이송속도 0.24 mm/rev인 경우에 비해 증가폭이 상대적으로 작았다.

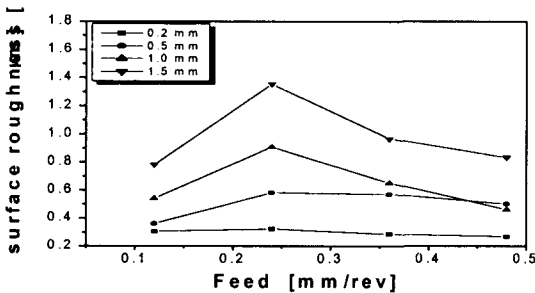


Fig 4-14 Relation between Surface roughness and Feed rate (Cutting speed= 100m/min, Insert Tip= CBN Tool)

Fig. 4-15는 Cermet 공구를 사용하여 절삭했을 때의 이송속도와 표면 거칠기와의 관계를 나타낸 것이다. 절삭깊이 1.5mm 일 때 이송속도 0.24mm/rev에서 표면 거칠기 값이 0.22 μ m rms 로 감소하다가 이송속도 0.36mm/rev에서 표면 거칠기 값이 0.31 μ m rms로 증가하는 현상을 나타내고 있다. 절삭깊이 1.0mm인 경우, 이송속도 0.48mm /rev에서 표면 거칠기 값이 0.25 μ m rms에서 0.15 μ m rms의 값으로 감소하는 현상을 나타내었다. 절삭깊이 1.0mm나 1.5mm에서 불규칙한 데이터가 나오게 되는 이유는 칩의 두께가 크게 되어 공구의 경사면상의 칩의 유출이 원활하지 못하여 표면 거칠기에 영향을 주는 것으로 판단된다. Cermet공구에서의 표면 거칠기는 전체적으로 양호한 표면 거칠기 값을 나타내었다. Fig. 4-16은 Ceramic공구로 절삭했을 때의 이송속도와 표면 거칠기와의 관계를 나타낸 것이다. 이송속도 0.24mm/rev에서는 절삭깊이의 작을수록 표면 거칠기가 거칠어짐을 보였다. 이송속도 0.36mm/rev에서는 모든 절삭깊이의 조건에서 표면 거칠기가 증가하는 양상을 보였다. 특히, 절삭깊이 0.5mm일 때 표면 거칠기 값이 0.2 μ m rms에서 0.28 μ m

rms로 그 증가폭이 상대적으로 커졌다. 이송속도 0.48mm/rev에서 표면 거칠기 값이 1.0 μ m rms에서 0.22 μ m rms로 다시 감소하는

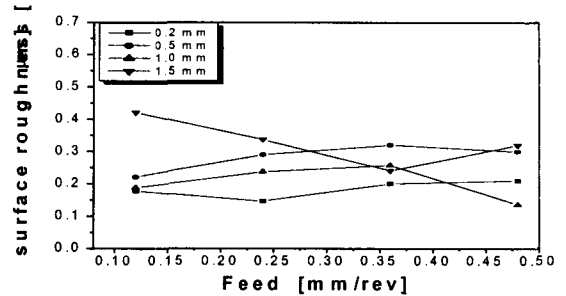


Fig 4-15 Relation between Surface roughness and Feed rate (Cutting speed= 100m/min, Insert Tip= Cermet Tool)

현상을 나타내었다. 이 현상은 절삭력 평가에서의 같이 절삭속도가 임계속도에 이르러 구성인성이 발생하지 않으므로 표면 거칠기 값이 양호해진다 고 판단된다. Ceramic공구는 절삭깊이 1.0mm, 이송속도 0.48mm /rev인 절삭조건에서 가장 좋은 표면 거칠기를 나타내었다.

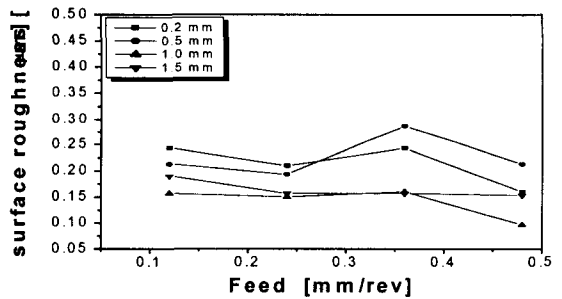


Fig 4-16 Relation between Surface roughness and Feed rate (Cutting speed= 100m/min, Insert Tip= Ceramic Tool)

Fig. 4-17은 WC공구로 절삭깊이를 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm로 절삭했을 때의 이송속도와 표면 거칠기와의 관계를 나타낸 것이다. 다른 Insert Tip과 같이 유사하게 증가하였고 이송속도 0.24mm/rev에서부터 모든 절삭깊이의 조건에서 표면 거칠기가 증가하였다. 절삭깊이가 0.2mm인 경우, 다른 공구에 비해 상대적으로 절삭깊이 0.5mm나 1.0mm일 때보다 표면 거칠기 값이 높아서 절삭깊이가 깊어질수록 거칠어지는 현상을 보였다. 그 이유는 전단각의 증가에 의해 배출되는 칩이 공구면에 밀착되면서 용착되어 공구와 칩의 접촉면적이 커지기 때문이라 판단된다. 또한, 이송속도가 증가할수록 표면 거칠기의 값이 거칠어지는 현상을 나타내었다. 이송속도 0.12mm/rev과

0.24mm/rev일 표면 거칠기 값이 각각 $0.6\mu\text{m rms} \sim 0.9\mu\text{m rms}$ 와 $0.58\mu\text{m rms} \sim 0.8\mu\text{m rms}$ 의 폭으로 표면 거칠기 값이 가장 양호하였고 절삭깊이가 0.2mm, 0.4mm일 때 표면 거칠기 값이 가장 양호하다는 것을 보여 주고 있다. 절삭속도 100m/min으로 절삭실험을 했을 때 듀랄 루 민 Al6061-T6의 각각의 Insert Tip에 따른 절삭가공시 표면거칠기는 WC공구가 가장 양호하게 가공재의 표면 거칠기 값을 나타내었고, Ceramic, Cermet, CBN공구 순으로 나타난다.

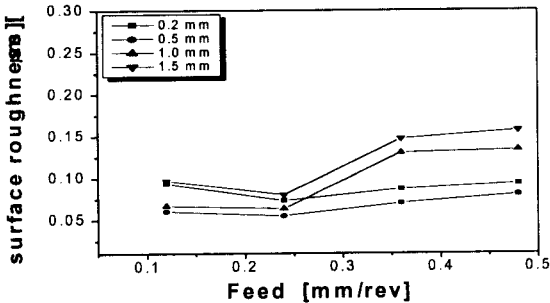


Fig 4-17 Relation between Surface roughness and Feed rate (Cutting speed= 100m/min, Insert Tip=WC Tool)

Fig. 4-18은 각각의 Insert Tip으로 절삭깊이 1mm일 때 절삭속도를 100m/min, 150m/min, 200m/min로 변수하여 이송속도의 변화에 따라 표면 거칠기 값을 각각의 Insert Tip으로 절삭한 데이터 산술평균값을 고찰했을 때 실험결과를 나타낸 것이다. 이송속도가 증가할수록 표면 거칠기 값은 증가하는 경향을 보였고 절삭속도가 증가할수록 표면 거칠기 값은 $0.5\mu\text{m rms} \sim 1.3\mu\text{m rms}$ 의 값으로 나머지 두 절삭속도보다 좋은 표면 거칠기 값을 나타내었다. 이상과 같이 각 실험조건에 따른 실험 결과는 절삭깊이가 증가 할수록 표면 거칠기 값이 거칠게 나타내었고 이송속도가 빠를수록 표면 거칠기 값이 거칠어지는 현상을 보였다.

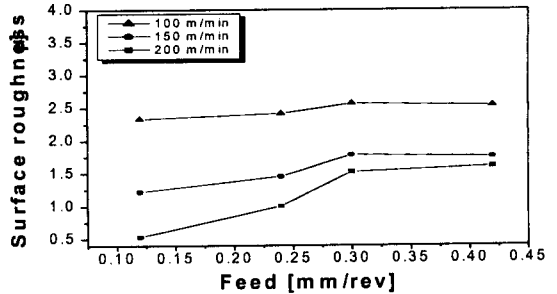


Fig 4-18 Surface roughness vs feed rate (Depth of cut=1mm, Insert tip= CBN, Cermet, Ceramic, WC tool)

절삭속도가 증가할수록 표면 거칠기 값이 좋아진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 더 좋은 표면 거칠기의 데이터 값을 얻기 위해서는 절삭깊이를 0.5mm 이하로 이송속도를 0.24mm/rev으로 절삭 가공 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

4. 결론

1. Al6061-T6 선삭실험에서 사용한 Insert Tip인 CBN 공구, Cermet 공구, Ceramic 공구, WC 공구로 절삭했을 때 절삭력은 절삭깊이가 증가함에 따라서 절삭력이 증가하였다.
2. 듀랄루민 Al6061-T6의 각각의 Insert Tip에 따른 각각의 실험을 통하여 표면 거칠기는 절삭깊이 1mm 이하 이송속도 0.24mm/rev 이하에서 절삭속도는 100m/min 이상에서 WC 공구가 가공재의 표면 거칠기 값이 가장 양호하게 나타났고 Ceramic 공구, Cermet 공구, CBN 공구 순으로 나타났다.
3. Insert Tip을 각 절삭조건마다 변화시키면서 실험했을 때 절삭 공구 절삭력 크기는 CBN 공구 > Ceramic 공구 > Cermet 공구 > WC 공구 순으로 나타났다. 그러므로 듀랄루민 Al6061-T6의 절삭공구로서는 WC 공구가 가장 적합하다 할 수 있다.

5. 참고 문헌

- [1] 김동현, 채왕석, 김우순, "니켈기 내열합금 절삭시 공구에 따른 마모와 칩생성", pp. 38~39, 2001.
- [2] 木會弘隆, "難削材の切削と工具材料," 機械技術, 第40卷, 第7號 pp. 93~98, 1992.
- [3] 木會弘隆, "難削材に對應する切削工具," 機械

- と工具,6月號, pp. 37~42, 1991
- [4]K. Hokkirigawa, & K. Kato, "An experimental and theoretical investigation of ploughing cutting and wedge formation during abrasive wear", Tribology Int., Vol. 21, No. 1, pp. 51~58, 1988
- [5]橋内加勝・堀切川・井上, 日本機械學會論文集 (C編), Vol. 57, No. 535, pp. 965. 1991.
- [6]N.Ueda and T. Matsuo ; "Influence of saw Toothed Chip Formation on Tool wear", proc. 4th Inter. Conf. Prod. Eng. Tokyo, 1980, pp.512~517
- [7]M. Masuda and M.Torii ; "The Influence of Cutting", Force on Boundary Failure of Cutting Tool", JSPE, Vol. 5-10, pp. 1956~1601