기술논문 한국정밀공학회지 제15권 제10호 (1998년 10월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 10, October 1998.

순알루미늄(A1050)의 가공조건과 시험편 형상에 따른 버어생성의 최소화에 관한 연구

이 광 영*, 서 영 백**, 박 홍 식**, 전 태 옥**

A Study on the Minimum Scheme of Burr Generation on Working Condition and Specimen Shape for in the Pure Aluminium(A1050)

K.Y. Lee*, Y.B. Seo**, H.S. Park**, T.O. Jun**

ABSTRACT

The burr produced on piece part edges in machining operations must be removed for most parts to function effectively. Although considerable cost have been expended in improving deburring methods, little energy has been applied toward minimizing burrs. This study has been carried out to prevent the burrs produced on pure aluminium under various working condition and specimen shape in turning operations. The computer image processing system was used for measurement of size of burr, such as burr length, burr depth and burr area. The size of burr showed a decreasing tendency with the increase of rake angle and side cutting angle but it increased rapidly with the increase of depth of cut and the cutting speed has no effect on size of burrs. The size of burr rapidly decreased with the increase of edge angle and burrs are not occurred if edge angle is over 80°.

Key Words : Burr Generation(버어생성), Computer Image Processing(컴퓨터 영상처리), Burr Length(버어길이), Burr Depth(버어두께), Burr Area(버어단면적), Disengage Angle(디스인게이지 각), Edge Angle(에지 각).

1. 서 론

절삭가공에 남아 있는 극히 중요하고 귀찮은 문제로 칩처리와 버어(burr)에 관한 것으로서 버어는 칩과 달리 발생시키지 않는 것이 최선이지만 이것은 실현 곤란한 경우가 많다. 더욱이 최근 공작기계의 자동화, 고속화, 소형화 및 경량화가 이루어지고 있지만 절삭가공으로 생기는 버어 제거작업은 더티워크(dirty work)라 불리워지는 비교적 공정수가 많고 자동화를 막고 있는 노동집약적 작업에 대한 합리적인 대책이 급선무로 되고 있다. 이처럼 절삭가공에서 생성되는 버어는 작업에서 기준면을 얻는 데 방해가 되며, 측정상 문제가 되기도 하고, 또한 공구수명을 단축시키며 제품의 미간상 좋치 않을 뿐만 아니라 공작기계의 운동부분에 개입하여 마멸을 촉진시킨다. 따라서 절

* 경상대학교 해양과학대학 선박기계공학과
** 동아대학교 공과대학 기계공학과

삭가공에서 버어생성을 적게하고 가능한한 버어발생을 방지하거나 최소한의 크기로 생성되도록 하는 것이 바람직하다. 그러나 생산성 향상을 위한 버어 제거작업과 억제기술은 아직도 합리적으로 개선되지 못하고 있고 대부분 작업자가 현장에서 수작업으로 제거하는 것이 보통이다.

일반적으로 버어의 생성은 기계가공 및 전단작업에서 재료의 소성유동으로 발생하는 버어와 성형작업시 작용압력으로 발생되는 버어의 생성은 궁극적으로 피할 수 없는 실정이며, 이를 위하여 버어에 관한 기술적 과제는 주로 생성한 버어를 제거하는 기술과 버어생성 그 자체를 극히 적게하는 억제기술로 나눌 수 있다.[1~2] 이에 따라 버어에 관한 연구는 종래의 버어제거 기술에 관한 연구가 주로 진행된 것과는 달리 최근에는 버어생성 기구를 규명하는 동시에 그 억제기술에 대한 연구가 주로 행해지고 있다. 미국에서 버어의 제거작업에 소요되는 비용이 일년에 약 60억$에 달하며 이와 같은 비용은 대부분 기업의 직접 생산비의 약 1~5%를 차지한다고 한다.[3] 소성가공에서 생성되는 버어의 성질에 관해서는 주로 펀칭에 의해 생성되는 버어의 높이에 대한 연구가 진행하여 왔다. 절삭가공의 경우에 대하여는 Zaima[4]는 drilling가공에 발생하는 버어를 연구하였으나 일반론의 한계에 지나지 않았으며, Pekelharing[5~6]은 밀링에서 이탈각이 버어의 높이와 함수관계가 있다고 보고하였고, 또한 新井[7]의 버어의 생성기구에 관한 보고가 있으나 역시 일정 한계를 넘지 못하는 실정에 있으며, 양과 고 등[8]은 2차원 clay 절삭실험을 통하여 최소에너지 원리와 변이점에서 에너지보존 법칙을 이용하여 버어의 생성기구를 해석하였다.

이상에서와 같이 버어생성 기구에 대하여는 많은 연구는 진행되어 왔고, 버어생성은 많은 변수에 의하여 형성과정이 다름을 알 수 있지만, 절삭가공의 관점에서 버어에 대한 대책으로는 버어를 생성하지 않는 가공기술을 개발하기 위해서는 풍부한 데이터 뱅크(data bank)의 준비가 필요하며 다양한 절삭조건의 변화에 따른 버어생성 감소와 버어발생을 최소화할 수 있는 대책이 절실히 필요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 순알루미늄(A1050)를 이용하여 공구각, 절삭조건 및 디스인게이지각(disengage angle)과 에지각(edge angle)에 의한 시험편 형상을 변화시켜 무단변속에 의한 선삭가공에서 발생되는 버어크기를 컴퓨터 영상처리로 고정도의 측정을 행하여 버어생성을 감소 및 최소화를 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험재료 및 형상

본 실험에 사용한 실험재료는 시판되는 두께 5mm, 직경 105mm의 순도 99.5% 이상인 알루미늄(A1050) 판재를 사용하였다. 그리고 절삭공구는 초경합금(P20)을 사용하였으며, 공구인선 반경은 0mm 및 4mm로 하였다. Table 1과 Table 2에는 이들 피삭재의 화학성분 및 기계적 성질을 나타내었다. 절삭가공시 버어의 크기는 피삭재의 형상에 크게 좌우되기 때문에 본 연구에서는 시험편의 형상을 변화시키기 위하여 시험편 원주방향에 디스인게이지각과 에지각을 주어 이를 변화시켰다. Fig. 1은 디스인게이지각을 30°, 60° 및 90°되게 홈 가공한 시험편 형상을 나타낸 것으로서 0°의 경우에는 홈 가공을 하지 않고 외경 선삭한 그대로이며, 그림에서 화살표는 시험편의 회전방향을 나타낸다. Fig. 2는 에지각 α를 -45°, 0°, 45° 및 80°되게 가공한 시험편 형상을 나타내었다. 이들 시험편의 형상은 각각 시험편을 달리 가공하여 이들 각을 주었다. 그리고 Fig. 3에는 본 연구에 사용한 공구각을 나타낸 것이다.

Table 1. Chemical composition of workpiece(wt. %)

	Si	Cu	Mn	P	S	C	Al	Fe
Al	0.093	0.125	0.021	-	-	-	R	0.155

Table 2. Mechanical properties of workpiece.

	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Vickers hardness (100gf)	Elongation (%)
Al	205.8	193.1	70	14

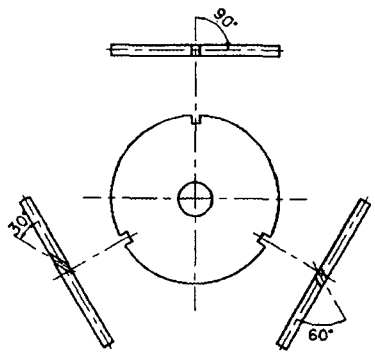

Fig. 1 Disengage angle of workpiece.

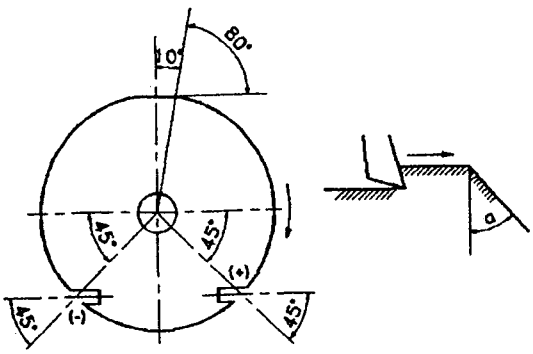

Fig. 2 Edge angle of workpiece.

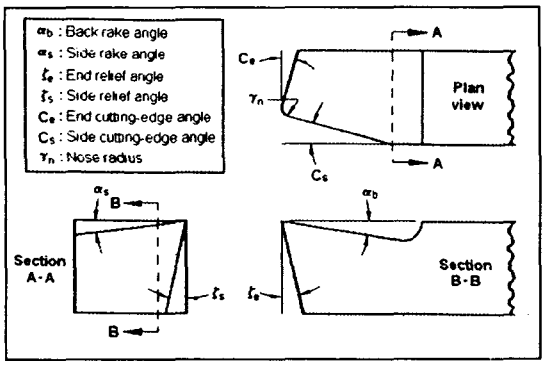

Fig. 3 Tool geometry.

2.2 실험방법

본 실험에 사용한 실험장치는 주축 회전수의 범위가 25~1,600rpm으로 DC모터가 부착된 무단변속이 가능한 정밀선반을 이용하여 3차원 선삭실험을 행하였으며, 공구각은 앞면절삭각 10°, 여유각을 10°로 고정하고, 윗면경사각 -5°, 0° 및 20°와 옆면절삭각 0°, 20° 및 40°로 변화시켰다. 그리고 절삭조건으로 이송량을 0.1mm/rev로 일정하게 하고, 절삭깊이를 0.1, 0.2 및 0.3mm, 절삭속도를 15~600m/min로 변화시켜 공구각, 절삭조건 및 시험편 형상의 변화에 따른 버어크기를 조사하였다. 가공 후의 버어크기의 측정은 피삭재의 버어가 생성된 부위를 채취하여 이를 마운팅 처리한 후, 각 디스인게이지각과 에지각도에 대하여 90°되게 절단하여 버어의 길이, 두께 및 단면적을 측정하였다.

Fig. 4의 (a)는 발생된 일반적인 버어의 사진을, 그리고 실험 후 버어의 크기는 컴퓨터 영상처리 시스템을 사용하여 이를 측정하였으며, Fig. 4의 (b)는 버어의 측정부위를 표시한 것으로서 버어길이 L, 두께 B 및 단면적 S를 나타내었다. 컴퓨터 영상처리 시스템은 Fig. 5에 나타낸 바와같이 광학현미경은 투과조명 및 낙사조명의 2가지 할로겐램프를 가지며 관측된 영상은 상부의 color CCD카메라에 의하여 PC의 프레임 그래브(frame grabber)에 저장된다. Fig. 4의 (a)에서 L 및 B는 영상에서 점유하는 길이를, 단면적 S의 측정은 버어가 점유하는 부분의 경계선 추적을 위하여 현재 경계점 위치의 8근방에서 왼쪽에 인접한 배경화소에서 시작하여 반시계방향으로 차례로 화소의 값을 조사해 나간다. 이때 처음에 만난 화소를 다음의 경계화소로서 추적을 진행하며, 최초의 경계점에 도달하면 경계추적을 완료하여[9] 버어가 점유하는 화소수를 카운팅하여 측정하였다. 본 연구에 사용한 프레임 그래브는 화소수 640x480, 정방형 1 화소(pixel)의 길이는 0.426㎛이다. 버어크기의 측정은 현미경 영상에서 버어가 점유하는 화소를 카운팅하여 측정하였으며, 이를 위하여 C언어의 측정 프로그램의 알고리듬을 자체 개발하여 행하였다.

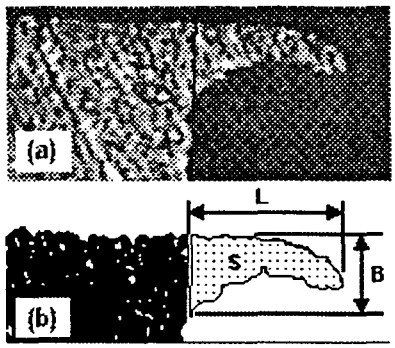

Fig. 4 (a)Photo. of burr and (b)Diagram of burr size.

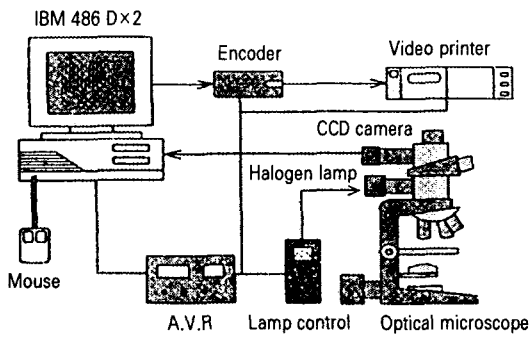

Fig. 5 Schematic diagram of image processing system.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공구각의 영향

Fig. 6은 공구각으로 옆면절삭각 0°, 공구인선 반경을 0mm, 디스인게이지각을 0°로 하고, 절삭조건으로 절삭깊이 0.3mm, 절삭속도 100m/min으로 일정하게 한 경우, 윗면경사각을 -5°, 0° 및 20°로 변화시켰을 때의 버어의 길이 L, 두께 B 및 단면적 S를 동시에 나타낸 것이다. 그리고 공구인선 반경의 영향을 알기 위하여 윗면경사각이 0°인 공구의 인선반경을 0.4mm되게 공구연삭기로 연삭하여 동일한 절삭조건으로 실험한 결과를 같이 나타내었다. 그림과 같이 윗면경사각이 증가할수록 L, B 및 S는 전반적으로 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 절삭시 칩이 받는 전단변형율이 적으면 이에 따른 버어크기도 작게 되는 것[7]과 같이 윗면경사각이 증가할수록 칩의 유출이 용이하여 지고, 절삭력 합력의 방향은 상승하여 피삭재의 절삭점 근방에서의 전단변형율이 적게 되기 때문이라고 생각된다. 그리고 윗면경사각 0°인 공구의 인선반경을 0.4mm로 하여 절삭하면 역시 공구인선 반경의 영향으로 그림과 같이 버어크기는 작아진다는 것을 알 수 있다.

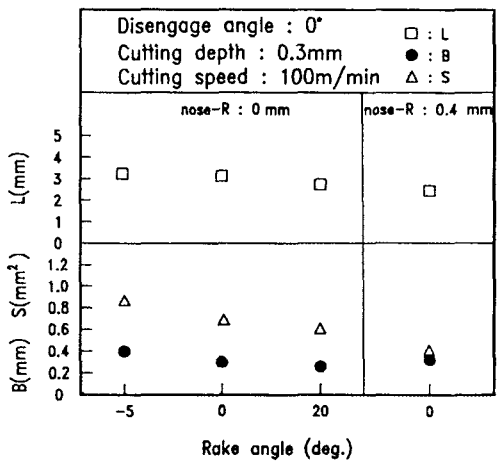

Fig. 6 Relation between burr size and back rake angle.

Fig. 7은 버어크기에 미치는 옆면절삭각의 영향을 검토하기 위하여 디스인게이지각을 0°, 공구각으로 윗면경사각 0°및 공구인선 반경을 0mm로 하고, 절삭조건으로 절삭속도 100m/min 절삭깊이 0.3mm로 일정하게 한 경우 옆면절삭각을 0°, 20° 및 40°로 변화시켰을 때와 공구인선 반경을 0.4mm로 하였을 때의 L, B 및 S를 나타낸 것이다. L 및 S는 옆면절삭각이 크게 됨에 따라서 크게 감소하며, B는 L에 비하여 완만하게 감소하고 있다. 이것은 옆면절삭각이 증가할수록 칩의 유출이 생크축 방향에 가깝게 되어 피삭재 두께방향의 압축응력의 변화가 길이방향 압축응력의 변화보다 작기 때문이라고 생각된다. 또한 공구인선 반경이 0.4mm의 경우 버어두께가 가장 작게 나타나는 것은 공구인선반경이 0.4mm의 경우는 절삭깊이가 0.3mm이므로 절삭은 주로 인선반경부에서만 절삭이 행하여 지므로 절삭두께는 선단으로 갈수록 작고, 선단에 가까운 인선의 영향은 적기 때문이라고 생각된다. 그리고 실제 버어길이 L은 옆면절삭각 20°와 40°의 중간정도의 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

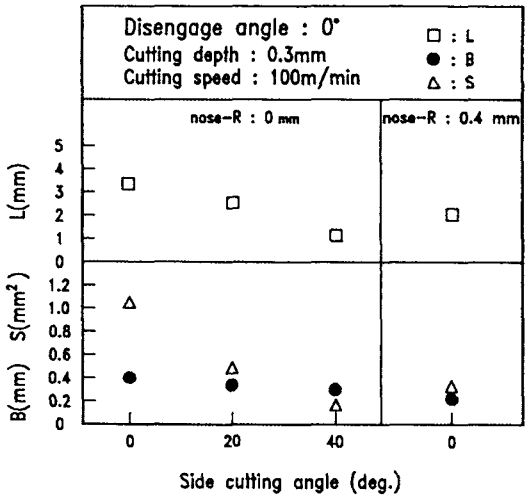

Fig. 7 Relation between burr size and side cutting angle.

이상과 같이 버어크기를 작게 하려면 옆면절삭각을 크게 하는 것이 좋으며, 또한 공구인선에 적당한 인선반경을 주게 되면 다듬질 절삭의 경우에서는 주로 인선반경 부분에서 절삭이 행하여 지므로 옆면절삭각을 크게 하는 것과 같은 효과를 가진다고 생각된다.

3. 2 절삭조건의 영향

Fig. 8은 버어의 크기에 미치는 절삭속도의 영향을 알기 위하여 디스인게이지각을 0°, 공구각으로 옆면절삭각 20°, 윗면경사각 0°및 공구인선 반경을 0mm로 하고, 절삭조건으로 절삭깊이 0.3mm로 일정하게 한 경우 절삭속도를 15~600m/min로 변화시켰을 때의 L, B 및 S를

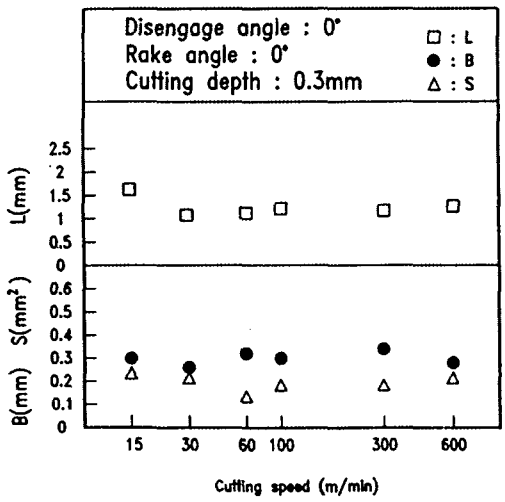

Fig. 8 Effect of cutting speed on the burr size.

나타낸 것이다. 그림과 같이 L, B 및 S는 전반적으로 절삭속도의 영향은 거의 받지 않는다는 것을 볼 수 있다. 절삭속도가 증가하면 절삭력은 감소하여 버어의 크기는 작게 되리라 생각되지만 오히려 피삭재 절삭점 부근의 온도상승으로 소성영역이 확대되고[10] 이에 따른 소성변형의 결과로서 시험편 끝부분에 생성되는 버어는 오히려 크게 된다고 생각된다. 따라서 절삭속도가 증가하면 절삭력의 감소로 인한 영향과 피삭재의 온도상승에 의한 가소성의 영향이 상호작용하여 버어의 크기에 뚜렷한 변화가 나타나지 않는다고 생각된다.

Fig. 9는 버어크기에 미치는 절삭깊이의 영향을 알기 위하여 디스인게이지각을 0°, 공구각은 Fig. 9와 동일한 조건으로 하고, 절삭조건으로 절삭속도 100m/min로 일정하게 한 경우 절삭깊이를 0.1mm, 0.2mm 및 0.3mm으로 1회 절삭한 경우와 0.1mm를 3회 반복 절삭한 경우의 L, B 및 S를 나타낸 것이다. 그림에서 절삭깊이가 증가하면 버어의 크기도 증가하는 것은 절삭가공시 가공면의 표면하방에 소성영역이 형성될 때 절삭면적이 클수록 버어의 크기가 크게 된다는 것을 나타내 주고 있다고 생각된다.

한편 절삭깊이 0.1mm를 3회 반복하여 절삭한 체적과 0.3mm를 1회 절삭한 경우 실질적으로 절삭한 체적은 동일하지만 0.1mm를 3회 반복하여 절삭하였을 때의 버어 크기가 0.3mm를 1회 절삭한 경우보다도 훨씬 작으며, 이것은 0.1mm를 1회 절삭한 경우와 거의 비슷한 값을 가진다는 것을 볼 수 있다. 이 결과로부터 L, B 및 S는

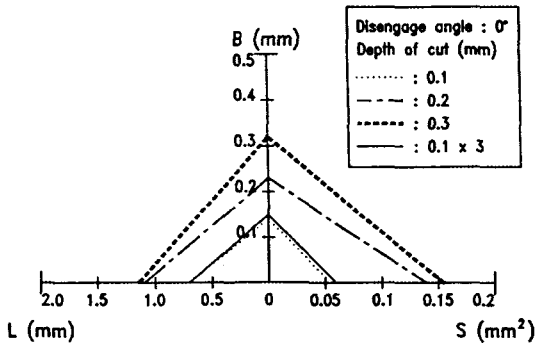

Fig. 9 Effect of depth of cut on the burr size.

가공반복 횟수에 비례하여 누적되어 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다.

3.3 시험편 형상의 영향

시험편의 형상변화에 따른 영향을 알기 위하여 시험편에 디스인게이지각과 에지각을 변화시켰다. Fig. 10은 공구각으로 공구 윗면경사각을 0°, 옆면절삭각 0°, 공구인선 반경을 0mm로 하고, 절삭조건으로 절삭깊이 0.3 mm, 절삭속도 100m/min으로 일정하게 한 경우 디스인게이지각을 0°, 30°, 60° 및 90°로 변화시켰을 때의 버어의 길이 L, 두께 B 및 단면적 S를 동시에 나타낸 것이다. 그림과 같이 디스인게이지각이 증가할수록 L, B 및 S는 감소하여 특히 디스인게이지각이 90°에서는 가장 작게 나타난다는 것을 볼 수 있다. 이것은 디스인게이지각이 증가할수록 공구인선과 피삭재 사이의 접촉면적이 감소되어 전단변형에 의한 소성영역이 감소되기 때문이라고 생각된다.

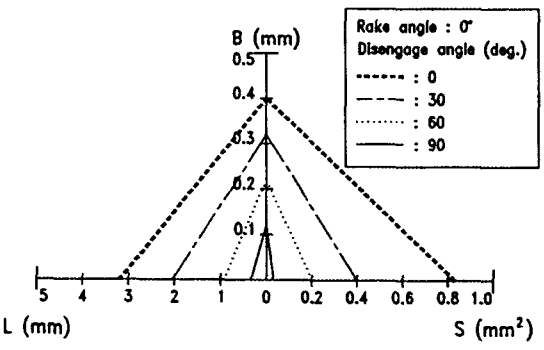

Fig. 10 Influence of disengage angle on the burr size.

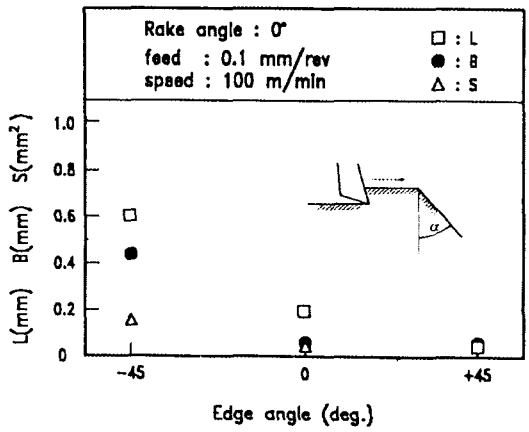

Fig. 11 Influence of edge angle on the burr size.

이상에서 처럼 디스인게이지각이 0°에서 가장 큰 버어가 생성되며, 버어길이 L은 절삭깊이 0.3mm의 약 10배 정도에 달하고 있지만 디스인게이지각이 90°에서는 극히 작은 버어가 생성된다는 것을 알 수 있다. 이 결과로 부터 버어크기는 Fig. 6의 윗면경사각의 변화보다는 디스인게이지각의 변화에 대한 영향이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 발생된 버어형상은 디스인게이지각이 0°인 경우에는 공구인선의 접촉부에 직각 방향인 측면부에서 소성유동 저항에 의한 밀림현상으로 발생된 것이고, 90°의 경우에는 rollover의 형태를 가지고 있었다.

Fig. 11은 버어크기에 미치는 에지각의 영향을 검토하기 위하여 공구각으로 윗면경사각 0°, 옆면절삭각 20°로 하고, 절삭조건으로 절삭속도 100m/min, 절삭깊이를 0.3mm로 일정하게 한 경우 에지각을 -45°, 0°, 45° 및 80°로 변화시켰을 때의 L, B 및 S를 나타낸 것이다. 그림과 같이 에지각이 + 각에서 - 각으로 감소함에 따라 L, B 및 S 모두 급격히 증가하고 있다. 일반적으로 기계부품에서 에지는 직각으로 에지각 α = 0°이다. 에지각 α가 0°인 일반적인 경우와 -45°의 예각부분을 절삭가공하는 경우에는 반드시 버어가 생성되므로 2차가공을 고려할 필요가 있다는 것을 나타내 주고 있다. 이것에 대하여 그림에는 나타내지는 않았지만 α가 80°의 경우에는 버어는 전혀 발생되지 않았다. 이러한 현상은 에지각이 증가할수록 피삭재 에지 선단부의 저항이 현저히 증가되어 버어발생이 억제되기 때문이라고 생각된다. 그리고 α가 45°의 경우에도 버어 길이 L 및 단면적 S는 극히 작으며, 특히 버어두께 B는 α = 0°의 경우와 유사하지만 작업자가 손으로 잡을 때 상해를 일으킬 정도는 아니고, 또한 기계의 조립부에 사용될 때 탈락하여 마찰면 사이에 침입하여 고장의 원인으로 될 정도는 아니라고 생각된다.

4. 결 론

알루미늄 시험편(A1050)의 절삭가공에서 발생되는 버어생성을 감소 및 최소화하기 위한 가공조건을 선정하기 위하여 공구각, 절삭조건 및 디스인게이지각과 에지각에 의한 시험편형상을 변화시켜 버어크기를 컴퓨터 영상처리로 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 가공조건과 시험편 형상에 따라 발생된 버어길이, 두께 및 단면적의 정량적인 크기를 컴퓨터 영상처리로 측정이 가능하였다.

(2) 윗면경사각과 옆면절삭각이 증가하면 발생하는 버어크기는 감소하며, 공구인선 반경을 주게 되면 절삭은 인선반경 부분에서 행하여 지므로 옆면절삭각을 크게 하는 것과 같은 효과를 가진다

(3) 절삭속도는 실험범위 내에서 발생하는 버어크기는 영향을 주지 않으며, 절삭깊이가 증가하면 버어크기도 커지지만, 이것은 가공반복 횟수에 비례하여 누적되어 증가하지 않는다.

(4) 버어크기는 디스인게이지각과 에지각이 증가할수록 감소하며, 윗면경사각의 변화보다는 디스인게이지각의 변화에 대한 영향이 훨씬 크다. 또한 에지각이 45°가 되면 버어의 크기는 극히 작으므로 다듬질 절삭의 경우에는 에지각이 45°이상이면 좋다.

참 고 문 헌

1. 岩田一明, 上田完次, 奥田孝一, "走査電子顕微鏡直接觀察によるバリ生成機構解の解析," 精密機械, 第48卷, 第4號, pp. 510-515, 1982.
2. T. Miyake, A. Yamamoto, W. Kishimoto, K. Yamanaka and K. Takano, "Study of Burr Formation in Face Milling(1st Report)," JSPE, Vol. 53, No.1, pp. 98-104, 1987.
3. L. K. Gillespie and P. T. Blotter, "The Formation and Properties of Machining Burr," ASME, Journal of Engineering for Industry, pp. 64-74, 1976.
4. S. Zaima, A. Yuki and S. Kamo, "Drilling of Aluminium Alloy Plates with Special Type

Point Drill," Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. No. 5, May, pp. 269-276, 1968.

5. A. J. Pekelharing, "The Exit Failure of Cemented Carbide Face Milling Cutters, Part Ⅰ-Fundamentals and Phenomenae," CIRP. Vol. 33, pp. 47-50, 1984.
6. A. J. Pekelharing, "The Exit Failure of Cemented Carbide Face Milling Cutters, Part Ⅱ -Testing of Commercial Cutters," CIRP. Vol. 33, pp. 51-54, 1984.
7. 新井 實, 中山一雄, "切削バリの生成機構に關する研究(第1報)," 精密工學會誌, 第53卷, 第7號, pp. 33-38, 1987.
8. 양 균의, 고 성림, "Clay가공에 있어서 Burr생성 기구에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제7권, 제4호, pp. 73-84, 1990.
9. 日本工業技術センタ "コンピュータ畵像處理入門," 總研出版, pp. 83-85, 1985.
10. Z. C. Lin and W. C. Pan,"A Thermo-Elastic-Plastic Model with Special Elements in a Cutting Process with Tool Flank Wear," Int., Mach,Tools Manufact, Vol.34, No. 6, pp. 757-770, 1994.