

절삭날을 고려한 절삭가공면의 기계적 성질에 관한 연구

김주현*, 우희선**, 장윤상***

A Study on the Mechanical States of Machined Surface by Considering Cutting Edge

Joo-Hyun Kim*, Hee-Sun Woo**, and Yoonsang Chang***

ABSTRACT

Cutting edge plays an important role in generating machined surface. In order to consider the geometric effects of the cutting edge on mechanical states, the concept of ploughing force and stagnation point was introduced which explains the generating mechanism of machined surface during cutting. The effects of edge radius and nose radius of cutting tool on the distribution of residual stresses of the machined surface having several hardness were studied. Good machined surface having high compressive residual surface stresses can be achieved if cutting tools having large edge radius and small nose radius are used for cutting work materials having high hardness with high depth of cut. The magnitude of edge radius and the hardness of work material also affected the shape of the chip in orthogonal cutting.

Key Words : Cutting edge(절삭날), Nose radius(노즈 반경), Machined surface(절삭면), ploughing force(경작력), Residual stress(잔류응력)

1. 서론

절삭가공면에 대한 대부분의 논문들이 완전하게 뾰족한 절삭날을 가진 공구에 의한 절삭을 모델링하고 있지만 실질적으로 절삭날 가공상의 한계 및 공구마모에 의하여 절삭날은 어느 정도 무딘 형태, 다시 말해서 정해진 절삭날 반경을 가진 공구날에 의하여 절삭이 이루어진다고 볼 수 있다. 이러한 절삭날 반경의 크기에 따라 절삭메커니즘이 달라지기 때문에 절삭날 반경의 크기에 따른 절삭가공면의 기계적 성질을 분석하는 것은 양질의 절

삭면을 생산하는데 있어서 매우 중요한 의미가 있다.

최근에 와서는 경화강의 마무리 가공을 위하여 연삭 공정을 생략하고 절삭 공정으로 대신하는 경우가 많아지고 있다. 절삭가공이 마무리 가공으로 이용됨에 따라 절삭가공이 절삭면에 미치는 영향을 무시할 수 없게 되었다. 절삭 과정에서 공구와 공작물 사이에는 심한 마찰작용이 발생하고 공작물은 소성변형을 받아 표면이 변형되어 새로운 가공변질층이 생긴다. 이러한 가공변질층은 내부에 잔류응력을 가지며, 경도변화, 부식, 소성유동 등 공작물의 피로강도에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 연

* 국민대학교 기계자동차공학부

** 국민대학교 대학원 기계설계학과

*** 수원대학교 기계공학과

구가 매우 중요시되고 있다.

잔류응력을 비롯한 가공면의 기계적 상태를 최종 결정짓는데 있어서 절삭날의 형상은 매우 중요하다. Albrecht⁽¹⁾는 최초로 절삭날의 크기를 정확히 측정하고 절삭날 반경의 크기가 절삭현상에 미치는 영향을 연구하였으며, Okushima와 Kakino⁽²⁾는 절삭면의 상태는 절삭날에 의하여 직접 영향을 받는 절삭날 주변의 물질유동에 주로 의존한다고 하였다. Kim⁽³⁾은 취성재료를 절삭할 때 절삭날 뒷부분의 공작물에 나타나는 인장응력으로 인하여 절삭면에 많은 표면균열이 생성된다고 하였다. Matsumoto와 Barash⁽⁴⁾는 AISI 4340 강을 절삭할 때 공작물의 경도가 낮을 때에는 인장잔류응력이 나타나고 공작물의 경도가 증가하게 되면 압축잔류응력으로 변화된다고 하였으며, Koening 등⁽⁵⁾은 경화강의 선삭 실험에서 이송을 증가시키면 압축잔류응력이 증가되며 잔류응력 영역이 더 깊어진다고 하였다.

지금까지 절삭가공면의 잔류응력 분포에 관하여 많은 논문들이 발표되었지만 절삭날의 크기가 잔류응력의 크기 및 분포에 미치는 영향은 고려하지 않았다. 또한 대부분의 논문들이 연강을 절삭할 경우의 절삭면의 잔류응력을 측정하였다. 경화강을 절삭할 때는 절삭작업시 발생하는 열 때문에 넓은 범위에 걸쳐 소성유동이 일어날 수 있다. 이러한 소성유동은 잔류응력뿐만 아니라 칩 형태에도 많은 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

2. 절삭 모델

일반적으로 절삭공구는 정해진 절삭날 반경을 가지고 있기 때문에 Fig. 1에 나타난 바와 같이 공구에 작용하는 총 절삭저항은 공구 경사면에 작용하는 힘 Q와 등근 절삭날에 작용하는 힘 P의 합력으로 볼 수 있다. 일반적으로 힘 P를 경작력(ploughing force)이라 하며 절삭면의 형성에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 다시 말해서 공구에 작용하는 대부분의 힘은 칩 생성에 소모되지만 일부는 절삭날에 작용하여 절삭면을 생성하는데 중요한 역할을 한다.

절삭날이 둥글다고 가정할 때 절삭날에 존재하는 정체점(stagnation point)에 의하여 절삭날 근처의 물질유동은 두 가지로 나눌 수 있다(Fig. 2). 칩 형태로 절삭날의 경사면을 따라 정체점 위로 올라가

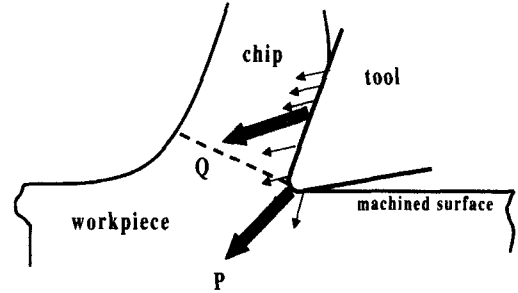


Fig. 1 Forces on the round cutting tool

는 유동과 정체점 아래로 유동하면서 절삭날의 뒷부분에 의하여 절삭면을 형성하는 유동이다. 절삭날의 앞부분으로 접근하는 물질유동은 큰 압축응력을 받게 되고 큰 전단변형률의 영향으로 수많은 미소균열을 생성하게 되어 칩 형태에 영향을 미치게 된다. 절삭날이 둥글다는 사실과 정체점에 대한 개념 도입은 절삭날 끝에 작용하는 경작력의 존재와 함께 절삭가공면의 기계적 성질을 연구하는데 있어서 중요한 역할을 한다.

잔류응력은 주로 표면의 불균일한 열에 의한 열응력이나 기계적 변형에 의하여 생성된다고 볼 수 있다. 잔류응력에 영향을 미치는 힘의 원인으로는 절삭가공면의 표면에 작용하는 경작력에 그 근거를 들 수 있다. 또한 잔류응력은 가열된 표면층의 상변화에 따라 표면층과 중심층의 부피 불일치에 의하여 생길 수도 있다. 상변화에 영향을 미치는 요소는 굉장히 많다. 예를 들면 절삭 과정에서 일어나는 급속한 온도 강하로 인하여 표면층에서는 마르텐사이트가 생성되어 경도가 증가될 수 있다. Liu와 Barash⁽⁶⁾는 날카로운 절삭날로 저탄소강을 절삭하면 상변화를 일으키지 않는다고 하였다. 따라서 상변화에 의하여 잔류응력이 생기는 것이 아니

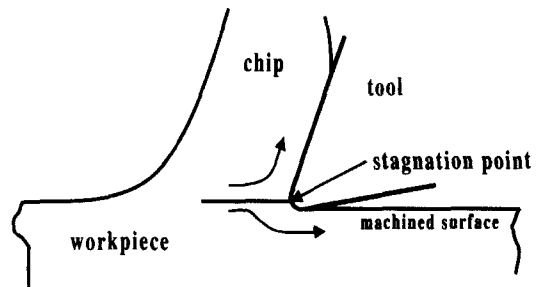


Fig. 2 Metal flow around the round cutting edge

고 기계적인 변형에 의하여 잔류응력이 생성된다고 하였다. 그러나 Okushima와 Kakino⁽⁷⁾는 절삭속도가 50m/min보다 클 경우에는 주로 열응력에 의하여 잔류응력이 생성된다고 하였다.

연삭에서는 연삭 에너지의 대부분이 열로 나타나기 때문에 열응력이 잔류응력을 일으키는 주요인자라고 볼 수 있지만 절삭에서는 오직 10~15%만이 열로서 흡수되고 그나마 공작물의 빠른 이동 때문에 정작 공작물에 흡수되는 열은 별로 많지 않다고 본다. 따라서 절삭에서는 열응력이 잔류응력을 발생시키는 주된 요인이 된다고 볼 수는 없을 것 같다. 그러나 절삭시의 기계적 변형은 표면에서 인장잔류응력이나 압축잔류응력을 일으킬 수 있다. 따라서 절삭날 반경과 공작물 경도에 따라 잔류응력의 변화를 측정하여 보면 잔류응력을 일으키는 주된 원인을 알 수 있다.

3. 실험

절삭날 반경의 크기가 절삭면의 기계적 성질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 여러 가지 크기를 가지는 절삭날로 절삭 실험을 하였다. 절삭 실험을 위하여 단면절삭에 사용된 공구 재료로는 초경을 사용하였으며 정해진 절삭날 반경을 얻기 위해 먼저 인서트의 끝 부분을 연삭기로 1mm 정도 연삭하여 노즈 반경을 제거하였다(Fig. 3). 그런 다음 연한 사포로 연마하고 공구현미경으로 측정하여 원하는 절삭날 반경을 만들었다. 준비된 절삭날 반경의 크기는 0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm이다. 공구마모의 영향을 배제하기 위하여 절삭시간을 되도록 짧게 하고 수시로 공구현미경으로 공구날을 측정하여 항상 정해진 절삭날 반경을 유지하도록 하였다. Fig. 3에서 절삭날(cutting edge)이라고 표시된 부분

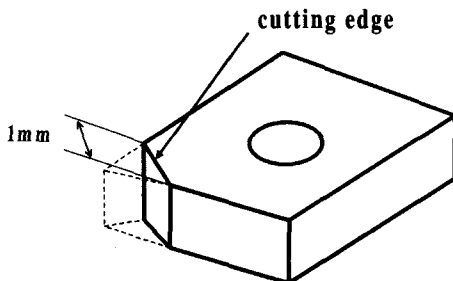


Fig. 3 Shape of insert

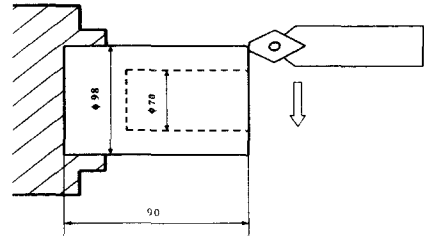


Fig. 4 Cutting experiment

이 정해진 절삭날 반경을 가지고 실제 절삭을 수행할 부분이다. 이 인서트를 공구홀더에 고정하여 절삭하게 되면 경사각 -6° , 여유각 6° 의 공구 형상이 된다. 절삭날 반경뿐만 아니라 노즈 반경의 크기가 잔류응력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 노즈 반경이 0.4mm, 0.8mm인 공구 인서트를 준비하였다. 공작물 재료로는 기계부품으로 많이 사용되는 합금강인 SCM440을 사용하였다. Fig. 4에 단면절삭 실험을 나타내었는데 절삭속도는 100m/min로 하였고, 직교절삭 실험을 위하여 절삭깊이에 비하여 이송속도를 상대적으로 크게 하였다.

절삭날의 기하학적 형상이 절삭 특성에 미치는 영향을 고려하기 위하여 절삭날 반경과 노즈 반경의 변화에 따른 절삭력과 잔류응력의 변화를 측정하였다. 공작물의 경도가 절삭면의 기계적 성질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 서로 다른 경도를 가지는 공작물 시편을 준비하였고, 절삭면을 형성하는데 있어서 많은 영향을 미치는 경작력의 특성을 알아보기 위하여 절삭깊이에 따른 절삭력의 변화를 분석하였다. 또한 절삭날 반경과 경도 변화가 칩 형태에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 칩을 수거하여 SEM으로 관찰하였다.

잔류응력의 측정을 위하여 X-선 회절법을 사용하였다. 절삭 표면에서 절삭방향(원주방향)과 절삭방향에 수직한 방향(원주수직방향)의 두 방향에 대하여 잔류응력을 측정하였다. 정확한 측정을 위하여 가공이 완료된 공작물의 가공표면층을 15초간 전해 연마하여 표면을 깨끗이 한 다음 잔류응력을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 절삭날 반경의 영향

절삭날 반경의 영향을 알아보기 위하여 절삭깊이 0.2mm로 단면절삭하여 절삭력과 잔류응력을 측

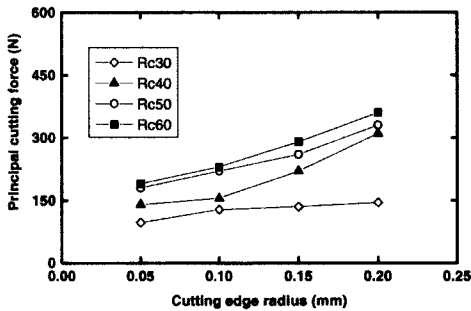


Fig. 5 Effect of edge radius on principal cutting force

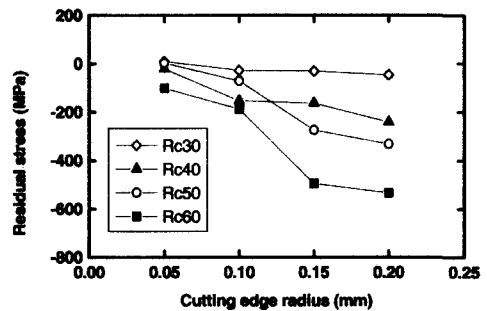


Fig. 7 Effect of edge radius on residual stress in cutting direction

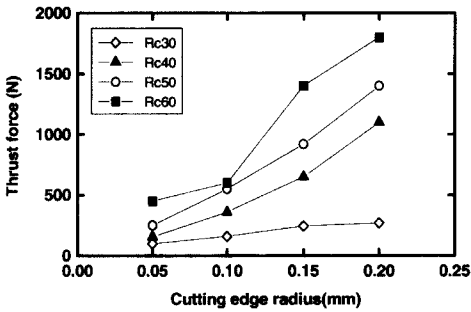


Fig. 6 Effect of edge radius on thrust force

정하였다. Fig. 5와 Fig. 6에 경도별로 절삭날 반경에 따른 절삭저항의 변화를 나타내었는데 일반적으로 공작물의 경도가 클수록 또한 공구의 절삭날 반경이 커질수록 주분력과 배분력이 커짐을 알 수 있다. 2차원 직교절삭 실험에서 이송분력은 무시할 수 있을 정도로 작게 나타났기 때문에 고려하지 않았다. 절삭날 반경이 커짐에 따라 주분력보다는 배분력의 변화가 더 크게 나타났으며, 주분력은 비교적 공작물의 경도와 절삭날 반경에 비례하여 일정하게 증가하였으나 배분력은 경도가 높을 때 절삭날 반경의 변화에 따라 매우 크게 증가하는 것으로 나타났다. 특히 Rc60에서 절삭날 반경의 변화로 인한 배분력의 크기가 가장 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 경도별로 절삭날 반경에 따른 잔류응력의 변화를 절삭방향(원주방향)과 절삭방향

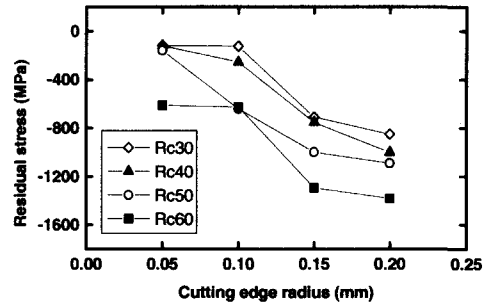


Fig. 8 Effect of edge radius on residual stress in the direction perpendicular to cutting

에 수직인 방향(원주수직방향)으로 측정된 결과를 나타내고 있다. 절삭방향으로는 공작물의 경도가 높아지면 인장응력이 압축응력으로 변화였다. 절삭방향에 수직인 방향으로서는 주로 압축응력이 나타나며 공작물의 경도와 절삭날 반경이 커질수록 압축응력의 크기가 증가하였는데 절삭방향일 때보다 증가하는 정도가 크다는 것을 알 수 있다. 경도가 큰 공작물일수록 잔류응력의 크기가 절삭날 반경의 변화에 많은 영향을 받으며, 절삭방향보다는 절삭방향에 수직인 방향으로 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 절삭날 반경 및 공작물의 경도가 커짐에 따라 공작물에 작용하는 절삭저항이 커지면서 생기는 공작물의 가공표면층 변화로 인한 것으로 생각된다.

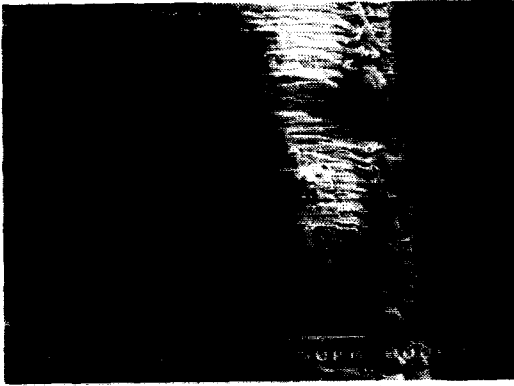


Fig. 9 Chip surface when Rc 30 & $r=0.05\text{mm}$

잔류응력의 원인으로는 상변태, 표면층의 불균일한 가열 및 냉각에 의하여 발생하는 열응력, 기계적 변형이 있다. 절삭깊이가 0.2mm 로 비교적 작기 때문에 절삭날 반경이 상대적으로 작은 날카로운 절삭날로 절삭 실험하였을 경우에는 상변태에 의한 잔류응력 발생 가능성에 대해서 고려하지 않아도 될 것 같다. 그러나 절삭날 반경이 커지게 되면 절삭깊이가 작더라도 절삭날에 작용하는 절삭저항이 커지게 되어 높은 열에 의한 상변태 가능성을 고려하여야 하지만, 잔류응력 분포를 보게 되면 절삭날 반경이 커짐에 따른 급격한 잔류응력의 변화가 나타나지 않기 때문에 절삭날 반경이 커지더라도 상변태에 의한 잔류응력 발생 가능성은 거의 없다고 볼 수 있다.

열응력에 의한 영향을 고려하여 보면 건 절삭일 때에는 오직 표면층만 가열되기 때문에 표면층이 표면아래층보다 더욱 팽창하게 된다. 절삭 후에도 표면층은 여전히 높은 온도를 유지하고 있고 오히려 공작물 내부보다 더욱 온도가 높다. 그러므로 표면층이 팽창하게 되어 표면아래층에 의하여 압축응력을 받게 된다. 이 압축응력이 항복점을 벗어나면 표면 온도가 내려감에 따라 인장잔류응력으로 표면층에 남게 된다. 따라서 열응력에 의한 잔류응력은 주로 인장잔류응력이 된다. 본 실험에서는 Fig. 7과 Fig. 8에서 보듯이 잔류응력이 거의 대부분 압축잔류응력으로 나타나고 있다. 따라서 절삭면에 존재하는 잔류응력은 열응력에 의한 것이 아님을 알 수 있다.

기계적 변형에 의한 잔류응력은 인장잔류응력이 될 수도 있고 압축잔류응력이 될 수도 있다⁽⁴⁾.

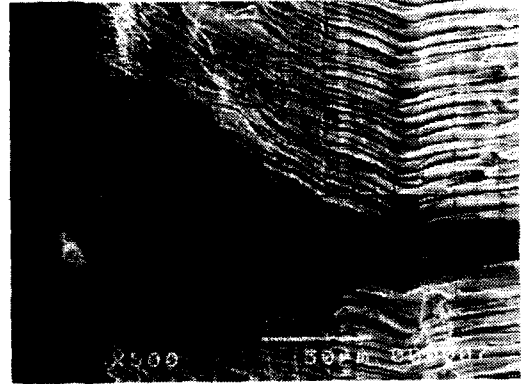


Fig. 10 Chip surface when Rc 30 & $r=0.15\text{mm}$

절삭날에 의하여 절삭면에 작용하는 경작력의 존재로 인하여 절삭날 끝의 앞쪽에는 압축응력이 작용하고 절삭날 끝의 뒤쪽에는 인장응력이 작용한다⁽³⁾. 따라서 절삭 과정으로 절삭날 끝이 표면을 지나감에 따라 절삭 표면층은 복잡한 loading-unloading을 겪게 되어 기계적 변형에 의한 잔류응력이 발생하게 된다. 특히 절삭날 반경이 크게 되면 경작력의 효과가 크게 되어 Fig. 7과 Fig. 8에서 보인 바와 같이 압축잔류응력이 커지게 된다.

칩을 수거하여 칩 형상을 관찰하였는데 절삭속도가 충분히 크기 때문에 구성인선을 포함하고 있는 칩은 발견되지 않았다. Fig. 9와 Fig. 10은 0.05mm 와 0.15mm 의 절삭날 반경으로 Rc30의 경도를 가지는 공작물을 절삭하였을 때의 칩 형상을 SEM으로 관찰한 사진을 나타내고 있다. Fig. 9와 Fig. 10을 비교하여 보면 경도가 Rc30인 공작물을 절삭한 경우에 절삭날 반경이 커지게 되면 양쪽 끝이 찢겨진 연속형 칩을 가지는 것을 볼 수 있다. 절삭날 반경이 커지게 되면 절삭면에 작용하는 경작력이 커지면서 절삭온도가 높아지게 되어 절삭날 근처에 높은 소성유동이 발생하게 된다. 또한 절삭날 반경이 커짐에 따라 공작물이 받는 하중 분포가 달라지게 되고 이에 따라 칩 두께를 따라 변형률의 분포가 불균질해지기 때문에 결국 칩의 양쪽 끝에 발생하는 응력이 한계값을 초과하게 되어 칩의 가장 약한 부분에서 찢어짐이 발생하는 것이다.

높은 경도의 공작물을 절삭날 반경이 큰 공구로 가공하면 칩이 잘게 부서진 형태를 하였다. 공작물의 경도가 높아지게 되면 재료의 연성이 감소하고 취성이 증가하게 된다. 이러한 취성을 가진 재

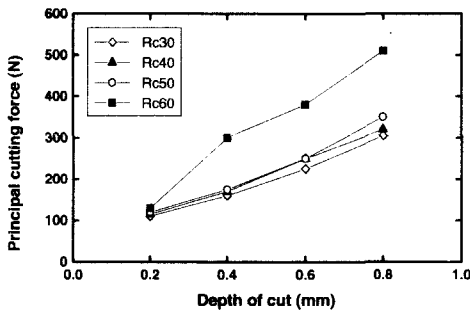


Fig. 11 Effect of depth of cut on principal cutting force

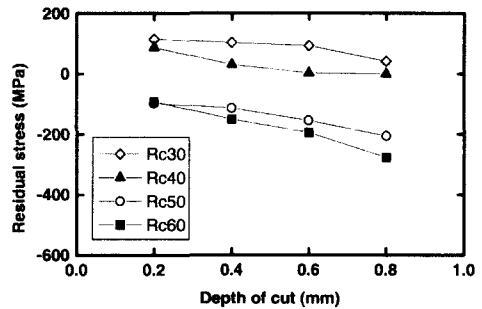


Fig. 13 Effect of depth of cut on residual stress in cutting direction

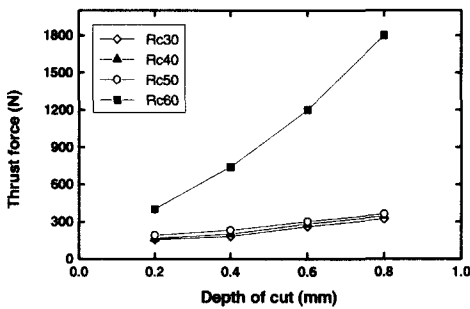


Fig. 12 Effect of depth of cut on thrust force

료는 표면의 특성에 매우 민감하게 반응한다. 즉 경도가 높아서 취성이 증가된 재료를 절삭하게 되면 절삭날에 의한 높은 압축응력에 의하여 소성유동보다는 자유표면에 균열이 생성된다. 특히 공작물 표면에 항상 존재하는 불규칙성이 균열 생성의 원인이 된다. 이렇게 생성된 균열이 절삭날 쪽으로 성장하면서 잘게 부서어진 칩을 나타내게 된다.

4.2 절삭깊이의 영향

공작물의 경도에 따라 절삭깊이의 변화가 절삭 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 노즈 반경 0.4mm인 인서트를 가지고 절삭 작업을 수행하여 절삭력과 잔류응력을 측정하였다. Fig. 11과 Fig. 12에 나타난 바와 같이 절삭깊이가 증가하고 공작물의 경도가 높을수록 절삭저항이 증가하였다. 주분력과 배분력 모두 경도와 절삭깊이에 비례하여

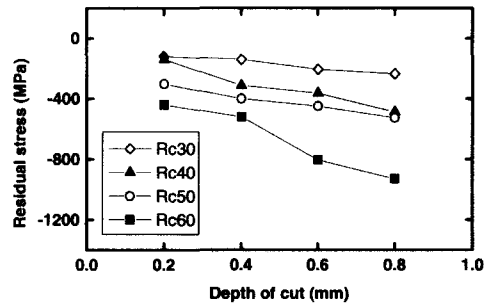


Fig. 14 Effect of depth of cut on residual stress in the direction perpendicular to cutting

증가하였으며, 특히 경도가 Rc60일 때 주분력과 배분력이 크게 증가하였다. 이와 같은 현상은 공구 마모의 영향을 배제하기 위하여 절삭력을 단면절삭이 시작될 때 초기에 측정하였음을 감안할 때, 공작물의 경도가 높고 절삭깊이가 크면 매우 빠른 공구손상, 즉 치핑이 발생되어 절삭저항이 급격히 증가하는 것으로 생각된다.

절삭날 끝에 작용하는 경작력의 크기가 전적으로 절삭면의 생성을 위하여 작용하고, 그 힘의 크기가 절삭깊이에 상관없이 항상 일정하다고 가정하고 외삽법을 이용하여 경작력의 크기를 구할 수 있다⁽⁸⁾. 즉 절삭깊이가 영이 됨에 따라 절삭날의 경사면에 작용하는 힘이 영이 되고 이에 따라 공구에 작용하는 모든 힘은 경작력이 된다고 가정하는 것

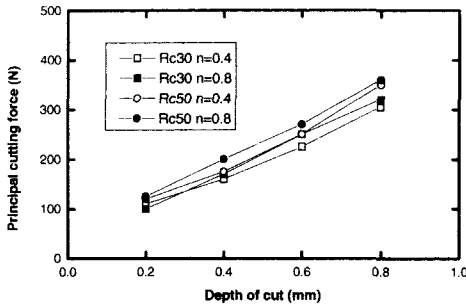


Fig. 15 Effect of nose radius on principal cutting force

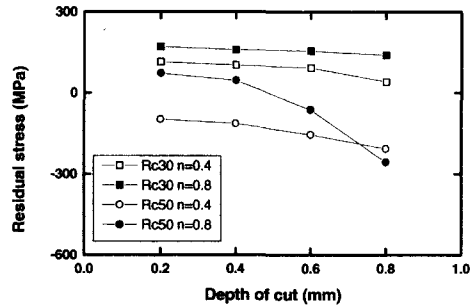


Fig. 17 Effect of nose radius on residual stress in cutting direction

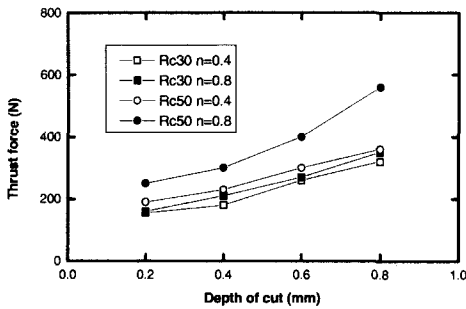


Fig. 16 Effect of nose radius on thrust force

이다. 이와 같은 방법으로 경작력을 구하게 되면 Fig. 11과 Fig. 12에 나타난 바와 같이 주분력과 배분력에 대한 경작력의 값들이 대체적으로 경도에 상관없이 일정하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 13과 Fig. 14에서 보듯이 잔류응력은 절삭 방향으로는 경도가 작을 때는 주로 인장응력이 나타나던 것이, 공작물 경도 및 절삭깊이가 커질수록 절삭방향과 절삭방향에 수직인 방향 모두에서 압축응력이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 공구와 공작물 사이의 마찰에 의하여 높은 온도 상승이 야기되지만 발생한 열이 칩에 의하여 다량으로 소멸되어 공작물의 내부로 깊이 침투하지 못하기 때문에, 절삭깊이가 증가할수록 열응력보다는 기계적응력이 가공표면에 더 크게 작용함으로 생기는 결과로 판단되어진다.

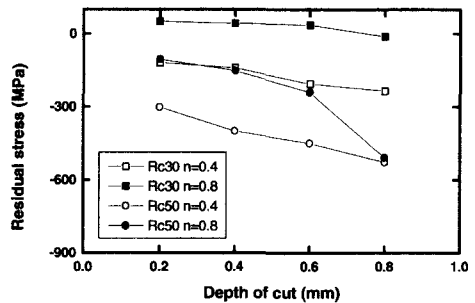


Fig. 18 Effect of nose radius on residual stress in the direction perpendicular to cutting

4.3 노즈 반경의 영향

노즈 반경이 0.4mm와 0.8mm인 두 종류의 공구를 사용하여 공작물의 경도별로 절삭특성의 변화를 측정하였다. Fig. 15와 Fig. 16은 Rc30과 Rc50의 공작물을 절삭할 때 절삭깊이의 변화에 따라 노즈 반경이 절삭력에 미치는 영향을 나타내고 있다. 일반적으로 노즈 반경의 크기는 절삭력의 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 반면에, 절삭깊이가 증가할수록 주분력과 배분력이 비례적으로 증가하였다. 특히 Fig. 16에서 보듯이 노즈 반경의 변화보다 절삭깊이의 변화가 배분력에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 경도가 증가함에 따라 노즈 반경의 차이에 따른 배분력의 변화가 뚜렷이 나타났다.

Fig. 17은 절삭방향의 잔류응력 변화를 나타내고 있는데 경도가 작을 때는 사용된 두 가지의 노즈 반경을 가지는 공구에 대하여 모두 인장잔류응력이 절삭깊이에 상관없이 거의 일정하게 나타나는 것을 알 수 있다. 경도가 증가하게 되면 절삭깊이가 증가할수록 인장잔류응력이 압축잔류응력으로 나타난다. Fig. 18을 보면 절삭방향에 수직한 방향의 잔류응력의 분포는 주로 압축잔류응력으로 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 17과 Fig. 18에서 경도가 Rc 50일 때는 절삭깊이가 증가할수록 노즈 반경이 잔류응력에 미치는 영향이 감소하는 것으로 나타나는데 이는 경도가 커지면서 절삭깊이의 증가로 인한 공구손상에 의해 노즈 반경의 영향이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

피로 수명의 관점에서 볼 때 절삭면의 표면에 존재하는 압축잔류응력이 인장잔류응력보다 제품의 피로 수명을 향상시킬 수 있다. 따라서 Fig. 17과 Fig. 18의 결과를 놓고 볼 때 상대적으로 높은 경도의 공작물을 가공할 때 향상된 피로 수명을 가지는 절삭면을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 노즈 반경이 작은 공구로 가공하는 것이 큰 공구로 가공하는 것보다 높은 압축잔류응력을 얻을 수 있기 때문에 피로 수명의 관점에서 더 좋은 절삭면을 얻을 수 있다.

5. 결 론

- (1) 절삭날 반경을 증가시키면 절삭저항이 대체로 비례적으로 증가하였으며 특히 단면절삭에서의 배분력이 매우 크게 증가하였으며 경도가 높은 공작물일수록 그 경향이 뚜렷하게 나타났다.
- (2) 잔류응력의 크기는 경도가 높은 공작물일수록 절삭날 반경의 변화에 많은 영향을 받으며, 절삭방향보다는 절삭방향에 수직한 방향의 잔류응력의 크기가 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 잔류응력은 절삭날에 존재하는 경작력의 존재로 인하여 공작물 재료의 기계적 변형으로 생성된다.
- (3) 낮은 경도의 공작물을 절삭날 반경이 큰 공구로 절삭하면 양쪽 끝이 찢어진 연속형 칩이 되고, 높은 경도의 공작물을 절삭하게 되면 취성이 증가하기 때문에 절삭날 반경의 크기에 상관없이 잘게 부서진 형태의 칩이 된다.
- (4) 상대적으로 높은 경도의 공작물을 절삭날 반경

이 크고 노즈 반경이 작은 공구로 절삭깊이를 크게 하여 가공하는 것이 높은 압축잔류응력을 얻을 수 있기 때문에 피로 수명의 관점에서 더 좋은 절삭면을 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME97-E-04)에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Albrecht, P., "A new development in the theory of metal cutting - the ploughing process in metal cutting," J. Eng. Ind., Vol. 82, pp. 348-358, 1960.
2. Okushima, K., and Kakino, Y., "Study on the generating process of machined surface," Bull. JSME, Vol. 12, pp. 141-148, 1969.
3. Kim, Joo-Hyun, "The influence of cutting edge radius on the machined surface of brittle materials in simulated orthogonal machining," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 36, No 9, pp. 971-983, 1996.
4. Matsumoto, Y., and Barash, M. M., "Residual stress in the machined surface of hardened steel," High Speed Machining, Presented at the winter annual meeting of the ASME, New Orleans, Dec., pp. 193-204, 1984.
5. Koenig, W., Berkold, A., and Koch, K. F., "Turning versus grinding - A comparison of surface integrity aspects and attainable accuracies," Annals of CIRP, Vol. 42, pp. 39-43, 1993.
6. Liu, C. R., and Barash, M. M., "The mechanical state of the sublayer of a surface generated by chip-removal process, Part 1: Cutting with a sharp tool," J. Eng. Ind., Vol. 98, pp. 1192-1201, 1976.
7. Okushima, K, and Kakino, Y, "The residual stress produced by metal cutting," Annals of CIRP, Vol. 20, pp. 13-14, 1971.
8. 김주현, "취성재료의 가공시 절삭날이 표면거칠기에 미치는 영향," 한국정밀공학회지, 제13권, 제1호, pp. 53-61, 1996.