한국공작기계학회 2001년도 추계학술대회 논문집 pp.355~359

세라믹 재료의 연삭성능 평가

정을섭*(산자부 기술표준원), 김성청(충북대), 김태봉(법무부 제12직업훈련소), 소의열(충청대), 이근상(세인Eng)

Evaluation for Grinding Performance of Ceramics

E.S.Jeong*, S.C.Kim, T.B.Kim, E.Y.So, K.S.Lee

Abstract

In this study, experiments were carried out to investigate the characteristics of grinding and wear process of diamond wheel grinding *ceramic materials*. Normal component of grinding resistance of Al_2O_3 was less then that of Si_3N_4 and ZrO_2. It is because the resistance for grain shedding is less then that for layer formation. For the case of Si_3N_4 and ZrO_2, as the grain mesh number of wheel increases, the surface roughness decreases. For the case of Al_2O_3, the surface roughness does not decreases. For the case of Si_3N_4 and ZrO_2, grinding is carried out by abrasive wear processes. For the case of Al_2O_3, grinding is carried out by grain shedding process.

Keyword : ceramic(세라믹) Si_3N_4(질화규소) Al_2O_3(알루미나) ZrO_2(지르코니아)

Ⅰ. 서론

최근 세라믹스는 우수한 기계적 특성을 가지는 신소재로서 고부가가치의 첨단산업 전반에 걸친 부품의 소재로서 많은 각광을 받고 있다. 그러나, 세라믹스는 금속이나 고분자 재료 등에 비하여 높은 강도와 경도 및 취성으로 효율적인 가공이 힘든 단점이 있다. 기계, 전자 등의 각 분야에서 세라믹스를 부품 및 재료로서 사용할때 생산 단가 측면에서 문제점 중의 하나가 기계가공 공정이라 할 수 있다. 취성 특성 때문에 가공면에 있어서 칩핑(Chipping)이나 미소결함(Crack)발생 등과 같은 가공결함에 대한 배려가 필요하다. 이러한 가공상의 어려움으로 인하여 세라믹스 특히 구조용 세라믹스의 기계가공은 효율이 저하되고 그에 따른 비용상승의 문제점을 안고 있는 것이 일반적이라고 할 수 있다.[1]

많은 우수한 성질을 갖고 있는 각종 세라믹스를 다양하게 이용해 나가기 위해서는 기계가공 기술을 발전시켜, 고 능률화와 저 비용 달성이 필수조건이라 하겠다. 따라서 현재 기계구조용 소재로 간주되고 있는 세라믹스의 경우, 가공 정도가 좋고 가공능률을 높일 수 있는 적절한 가공 공구의 개발과 최적의 가공조건이 필요하다. 이들은 고강도 세라믹스의 가공에 있어 다이아몬드 지석에 의한 연삭이 주류라고 일반적으로 생각되고 있지만, 부품제조에 적용될 수 있는 구체적인 가공조건이나 공구특성 등은 아직 명확하게 밝혀져 있지 않다. 이러한 가공 특성을 규명하고 데이터화 함으로서 고강도 세라믹스를 통한 다양하고도 널리 사용할 수 있는 토대를 마련코자 한다.[2]

본 연구에서는 평면연삭기에서 세라믹재료를 다이아몬드 휠(Diamond wheel)로 연삭 가공할 때 각각의 연삭조건에 따른 연삭저항과 가공면의 표면거칠기 변화를 검토·고찰하고 가공면의 상태를 주사전자현미경(SEM)으로 촬영하여 이를 분석하고, 이 때의 데이터를 분석하여 세라믹스 재료의 연삭 성능 평가를 위한 자료를 제시하고자 한다.

Ⅱ. 세라믹의 재료 및 연삭 특성

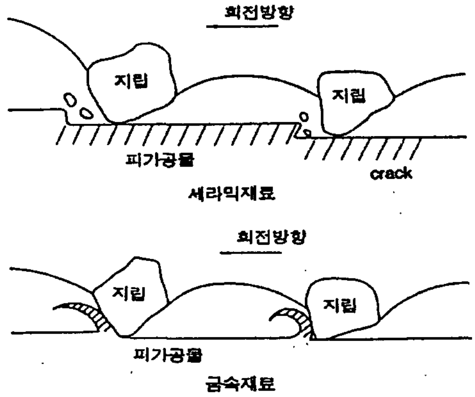


Fig. 1 Grinding mechanism of ceramic and metal

세라믹스는 산화물계와 비산화물계로 분류되며 산화물계는 지르코니아(ZrO_2)와 알루미나(Al_2O_3), 비산화물계는 질화규소(Si_3N_4)로 세분한다. 지르코니아(ZrO_2)는 인성이 크고 강도가 높기 때문에 공구, 다이스 등에 사용되고 알루미나(Al_2O_3)는 열팽창이 커서 내열 충격성이 작지만 산화물 중에 경도가 가장 높고 기계적 강도도 우수하기 때문에 절삭공구로서의 사용도 증가하고 있다. 또한 질화규소(Si_3N_4)는 열팽창이 작기 때문에 내열 충격성이 우수하여 고온강도가 요구되는 재료에 많이 사용된다.

피삭재로서 세라믹스의 특징은 전형적인 취성이 있고, 이 취성 때문에 금속재료에 대한 가공과 비교하면 현저한 상이점이 나타난다. 소결 후의 세라믹스에서는 종래의 금속재료에 있어 널리 사용되는 소성가공법의 적용은 전혀 불가능하고, 절삭가공에서는 피가공물의 표면상태가 문제점으로 나타나는 경우가 많다. 이와 같이 금속재료와 크게 다른 세라믹스의 연삭기구 모델은 Fig. 1과 같다. 금속재료는 지립 절삭날에 의한 전단작용에 의해 Fig. 1에서 보이는 것처럼 리본 모양의 칩을 생성시키는 데 비해서 세라믹스의 경우에는 지립 절삭날의 충돌 순간에 재료 내부에 크랙이 발생되고, 연속되는 이들 크랙에 의해 칩이 형성된다.[(3)-(4)]

Ⅲ. 실험

1. 시험편과 다이아몬드 휠

본 실험에 사용된 시험편은 3종의 세라믹 재료인 질화규소(Si_3N_4), 알루미나(Al_2O_3) 그리고 지르코니아(ZrO_2)를 사용하였고, 시험편의 규격은 60(L)×13(W)×18(H)㎜이며, 스틱(Stick)형으로 제작하였으며, 다이아몬드 휠은 본드를 레진(Resinoid)과 비트리파이드(Vitrified)를 사용하고 입도(Mesh)를 100, 200, 400으로 하고 집중도(Concentration)를 100으로 제작하여 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험은 주축의 회전수가 변속이 가능하도록 인버터(Inverter)를 부착하고, 절입량이 1㎛까지 가능하도록 디지털 장치를 부착한 평면 연삭기(HGS-515XA, Hwacheon)를 사용하였으며, 실험에 사용한 실험기기는 Fig. 2과 같으며, 연삭조건은 Table 1과 같다.

연삭저항을 측정하기 위하여 공구동력계(AST-MM, Satowo)를 연삭테이블 위에 설치하고, 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 엠프(UCAM-70A, Kyowa)에서 증폭된 후 A/D 변환기를 거쳐 출력장치인 프린터를 통해 출력이 되도록 하였다. 공작물의 표면상태를 측정하기 위하여 촉침식 조도계(Surftest-301, Mitutoyo)를 이용하여 측정하였으며, 연삭 후에 공작물의 표면을 전자주사현미경(PSM-75, Rjlee)으로 촬영하여 영상을 획득하였다

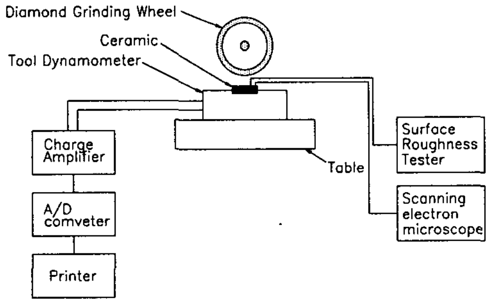


Fig. 2 Block diagram of Experimental apparatus

Table 2 List of grinding conditions

Item	Conditions
Rotation speed of spindle(rpm)	1500, 2000, 2500, 3000
Feed rate(m/min)	1, 2, 3, 4
Depth of cut(mm)	0.01, 0.02, 0.03, 0.04

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 세라믹 재료별 연삭저항의 변화

Fig. 3~Fig. 6은 3종의 세라믹 재료를 각각의 다이아몬드 휠로 연삭깊이를 0.01㎜, 이송속도를 3m/min으로 선정하고 주축의 회전수를 1500, 2000, 2500 그리고 3000rpm으로 변화시키면서 연삭 가공을 실시하였을 때의 연삭저항의 법선분력 변화관계를 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 주축의 회전수를 증가시키면 연삭저항의 법선분력이 모두 감소되는 경향을 나타내고 있다.

알루미나의 연삭저항은 질화규소나 지르코니아에서의 연삭저항보다 작다. 이는 입자 탈락에 대한 저항이 결(빗살무늬)의 형성에 대한 저항보다 작음을 의미하는 것이다. 다이아몬드 휠을 사용하는 세라믹스 연삭가공시 가공면에 결이 발생되어짐을 알 수 있는바, 이는 상호 고경도의 공구와 공작물간에 발생되어지는 세라믹재료 특성에 기인한 것으로 볼 수 있다.

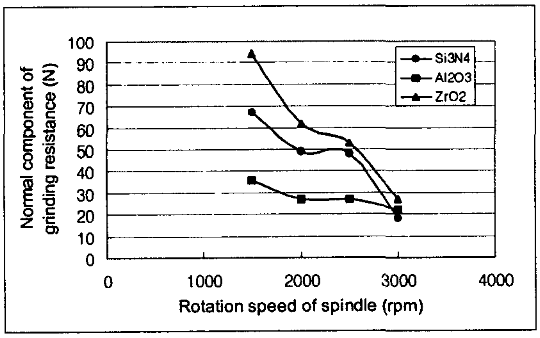


Fig. 3 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 100, bond : resinoid)

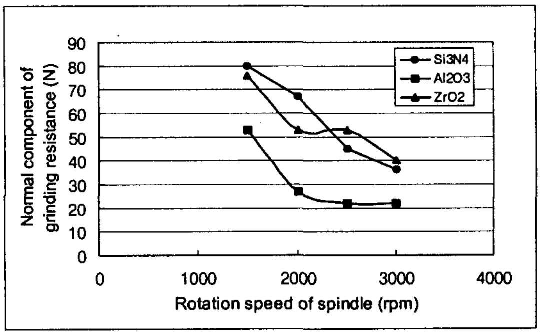


Fig. 4 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 100, bond : vitrified)

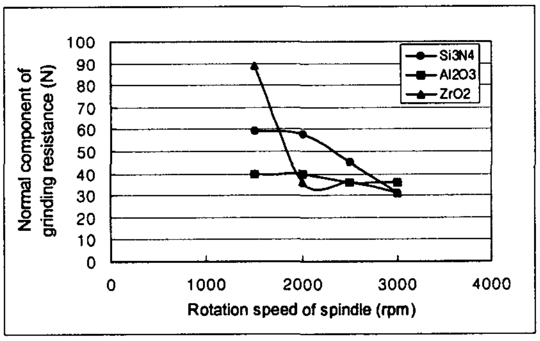


Fig. 5 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 400, bond : resinoid)

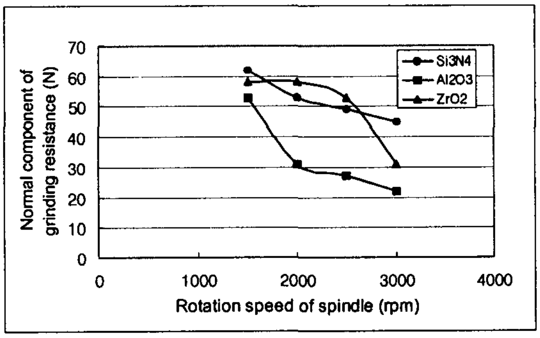


Fig. 6 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 400, bond : vitrified)

2. 세라믹 재료별 표면 거칠기의 변화

Fig. 7~Fig. 10은 3종의 세라믹 재료를 각각의 다이아몬드 휠로 연삭깊이를 0.01㎜, 이송속도를 1m/min으로 선정하고 주축의 회전수를 1500, 2000, 2500 그리고 3000rpm으로 변화시키면서 연삭가공을 실시하였을 때의 표면거칠기의 변화관계를 도시한 그림이다.

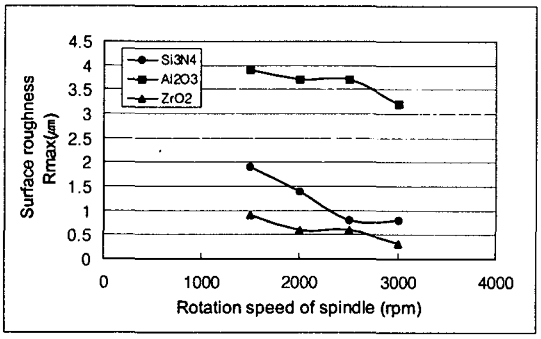


Fig. 7 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 100, bond : resinoid)

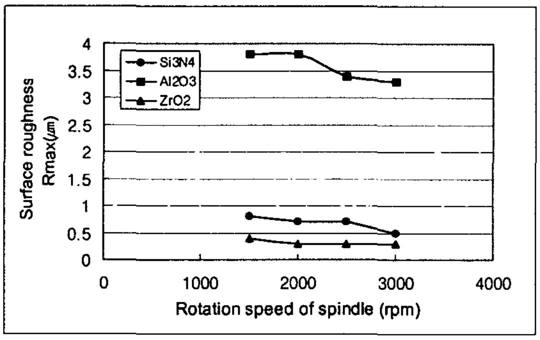


Fig. 8 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 100, bond : vitrified)

세라믹 재료라 하더라도 종류에 따라서 그 연삭 특성이 다르다. 따라서 같은 휠과 같은 조건을 사용하여 연삭한다 하더라도 재료에 따라서 연삭저항이 다르며 표면거칠기가 다르다. 질화규소 및 지르코니아에서는 휠의 입도가 커질수록 표면이 고우나, 알루미나에서는 표면이 그리 곱지 않으며, 표면거칠기는 감소하지 않는다. 이와 같이 다른 재료에서와는 달리 알루미나의 표면거칠기 변화가 없는 것은 연삭기구가 다르기 때문이다.

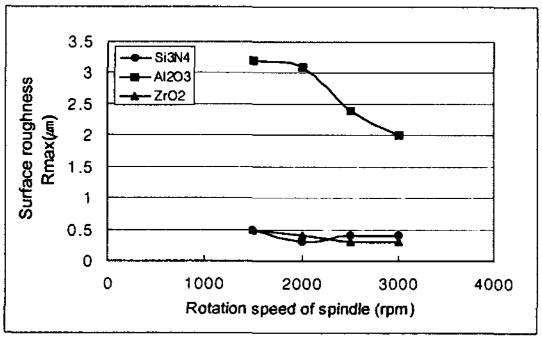


Fig. 9 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 400, bond : resinoid)

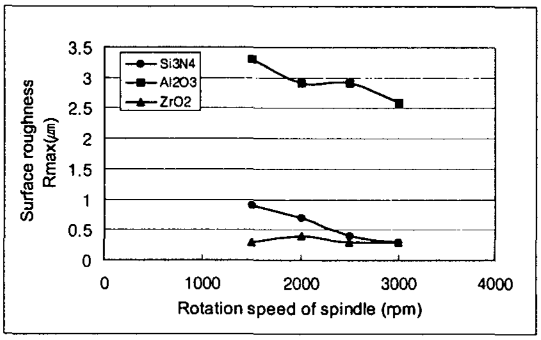
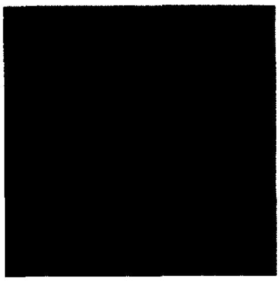


Fig. 10 Variation of normal components of grinding resistance for rotation speed of spindle (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm, grain size : 400, bond : vitrified)

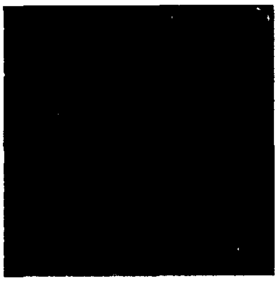
3. 세라믹 재료의 가공면 비교

Fig. 11은 질화규소, 알루미나 및 지르코니아를 비트리파이드 본드 휠 400번으로 각각 연삭하였을 때의 연삭 가공면을 촬영한 주사전자현미경 사진을 나타내고 있다. 사진에서 보는바와 같이 질화규소 및 지르코니아에서는 결들이 많이 형성되어 있다. 이 결들은 경도가 높은 다이아몬드

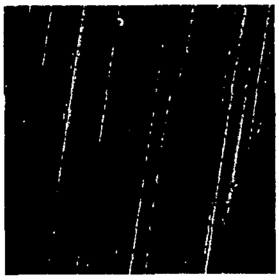
지립에 의하여 갈리는 이른바 어브라시브 마모(abrasive wear)에 의하여 연삭이 일어나기 때문에 형성된다. 따라서 이러한 재료에서는 지립의 크기가 작을수록 표면이 고와진다. 알루미나에서는 결들의 형성보다는 입자들이 떨어져 나오는 이른바 입자탈락에 의하여 연삭이 일어난다. 이 입자탈락은 지립의 크기가 작아져도 일어난다. 이러한 재료에서는 휠의 번호가 증가하여도 표면은 고와지지 않으며 표면의 최대거칠기는 단순히 재료의 입자크기에 비례하게 된다.



(a) Si_3N_4



(b) Al_2O_3



(c) ZrO_2

Fig. 11 Photos of scanning electron microscope on the surface of the ceramics after grinding with 400 grit wheel

Ⅳ. 결론

본 연구는 세라믹 재료를 다이아몬드 휠로 연삭가공할 때 연삭특성 및 가공면의 상태를 분석하고 연삭성능을 평가하기 위한 실험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 알루미나의 연삭저항의 법선분력은 질화규소나 지르코니아보다 작게 나타나는 경향이 있다. 이는 입자탈락에 대한 저항이 결 형성에 대한 저항보다 작다고 생각된다.
2. 질화규소 및 지르코니아에서는 휠의 입도번호가 커질수록 표면이 고우나, 알루미나에서는 표면 거칠기는 감소하지 않았다.
3. 질화규소 및 지르코니아에서는 어브라시브 마모(abrasive wear)에 의하여 연삭이 진행되고 알루미나에서는 입자탈락에 의하여 연삭이 일어남을 알 수가 있다.

참고 문헌

1. 유재상 외 " 세라믹 형상 가공 " 요업기술, Vol.11 No.2 pp73-82 1996
2. 中川平三郎 " グラインディングセンタによるセラミックスの正面研削加工 " 機械技術, 第40巻 第4号 pp77-83 1992
3. 杉田忠彰, "セラミックスの機械加工", 養賢堂, pp.33, 1985
4. 조성래 외 "세라믹 재료의 연삭" ,요업기술, Vol. 11, No. 2, pp. 63, 1996