

U₃Si 분말제조에서 chip 가공조건이 분말의 입도분포에 미치는 영향

이 돈배, 박 희대, 장 세정, 조 해동, 이 종탁, 김창규, 국 일현
한국원자력연구소

요 약

Chip machining에 의한 U₃Si 분말제조시 절삭가공조건이 분말 입도 분포에 미치는 영향을 조사하기 위하여 U₃Si ingot를 선반에서 초경공구를 사용하여 절삭속도 및 이송속도를 변화시키면서 chip을 가공하였고, 가공된 chip의 형상을 광학현미경으로 관찰하고 칩의 크기를 측정하였다. 모든 절삭조건에서 톱니모양의 칩(saw toothed chip)이 형성되었으며, 일정한 절삭속도에서 공구의 이송속도를 변화시켰을 때 이송속도가 증가함에 따라 칩두께의 증가와 함께 chip segment의 폭도 증가하여 chip segment의 크기가 뚜렷이 증가함을 보였다. 또한 chip segment의 크기는 절삭속도 보다는 공구의 이송속도에 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었고 분말의 입도 분포에도 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

1. 서 론

한국원자력연구소에서는 aluminium 기지 내에 U₃Si 입자를 분산시킨 형태의 핵연료를 제조하여 다목적 연구로인 하나로에 사용할 예정이다. U₃Si는 취성(brittleness)이 크기 때문에 직접 소성가공으로 핵연료를 제조하기 곤란하므로 용해 주조한 ingot을 일정한 크기로 분쇄한 후 Al 분말과 혼합하여 핵연료 심재로 압출하여야 한다. U₃Si 분말 제조방법은 먼저 선반이나 밀링머신에서 절삭가공을 통하여 칩을 제조한 다음 hammer mill 또는 shatterbox mill로 칩을 분쇄하는 방법이 주로 이용되고 있다. 이러한 방법으로 U₃Si 핵연료 분말을 제조할 때 분말 입자의 크기는 주로 절삭가공에서 생성된 칩의 두께에 의존하는 것으로 보고되었다[1]. 핵연료 분말입자의 크기는 핵연료 조사시에 핵연료의 팽윤(swelling)거동에 영향을 미치며, 핵연료 입자의 크기는 대체로 44~150 μ m 범위가 적당한 것으로 알려져 있다[2]. 일반적으로 금속 칩의 분쇄 결과는 모재의 물리적 성질 뿐 아니라 칩의 형태, 기하학적 치수, crack 구조 및 notch, 분쇄기에 작용되는 힘의 종류와 입력된 에너지의 양에 따라 결정된다. 따라서 본 논문에서는 U₃Si ingot를 선반에서 coated insert(CNMG120408) 초경공구로 절삭할 때 절삭속도 및 이송속도의 변화가 생성된 chip의 형태에 미치는 영향을 금속현미경으로 관찰하고, 각 절삭 조건에서 생성된 칩을 미분쇄기인 shatterbox mill에서 동일한 분쇄 조건으로 분쇄하였을 때, 분말입자의 크기를 측정하여 적정 크

기의 분말 수율을 최대로 할 수 있는 절삭 조건을 찾고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 U₃Si 합금제조

U-Si 합금을 제조하기 위하여 사용한 원료는 고순도 감손 우라늄과 순도 99.9999%인 Si을 chip형태로 파쇄하여 사용하였다. 합금의 배합비는 감손 우라늄 96.0 wt%와 Si 4.0의 wt%의 중량비로 하였으며, 불순물의 혼입을 방지하기 위하여 Zirconia가 주성분인 slurry를 도가니와 주형의 내부에 도포(coating)하였다. 용해로는 발전주파수 3 KHz 최대출력 100 Kw인 고주파 진공 유도로를 사용하였고, 1.0×10^{-4} torr의 진공 분위기에서 용해 및 주조하였다. 주조된 U-Si합금을 U₃Si로 상변태 시키기 위하여 포석열처리를 수행하였다. 열처리로는 tube 형 진공열처리로를 이용하였으며 5×10^{-4} torr의 진공분위기에서 800℃까지 온도를 올린 뒤 72시간동안 항온 유지하였다.

2.2 칩 제조 및 형상 관찰

칩 제조에 사용한 절삭공구는 NC225 coated insert 인 throw-away tip으로서 경질 피막층은 Al₂O₃ + TiC + TiN 으로 형성되어 있으며, 공구홀더는 PCLNR 2525 M12를 사용하였다. 본 연구에 사용된 시편은 주조한 U₃Si 합금 ingot의 표피를 절삭하고 직경 25 mm 길이 25mm로 가공하여 사용하였다. 시편을 편심없이 정확히 고정하기 위하여 soft jaw 의 내경을 시편의 직경과 같은 25mm로 가공하였으며, 절삭조건을 변화할 때마다 절삭공구를 새것으로 교환하였다. 절삭가공에서 혼입된 절삭유 등의 불순물을 제거하기 위하여 초음파 세척기로 chip을 세척하였고, 세척액은 아세톤을 이용하였다. 세척한 칩에 잔존하는 유기물과 수분을 제거하기 위하여 진공 건조로를 이용하여 200 °C 에서 4시간 동안 칩을 건조시켰다. 각 절삭조건별로 제조된 칩의 sample 을 채취하여 연마후 172ml H₂O + 70ml HNO₃ + 1ml HF + 3.4g citric acid 용액으로 etching하여 현미경 시편을 준비하였다. 광학현미경을 사용하여 칩의 형상을 관찰하고 공구현미경으로 칩두께 및 segment 폭을 측정하였다.

2.3 분쇄 및 입도 분포 분석

선반 가공으로 제조한 U₃Si 칩을 분쇄할 때 칩의 절삭조건이 분말의 입도 분포에 미치는 영향을 알아보기 위하여 동일한 분쇄조건으로 칩을 분쇄하였다. 분쇄는 SPEX Shatterbox laboratory mill을 사용하였으며, 배치당 110g의 칩을 grinding container에 넣고 5분 동안 분쇄하였다. 분쇄한 U₃Si 분말의 입도 분포를 알아보기 위하여 ASTM-B214-86에 규정된 체분석 방법에 따라 체분석을 하였다.

3 결과 및 고찰

3.1 절삭조건에 따른 칩 형상의 변화

Fig. 1은 U_3Si 시편을 CNC 선반에서 절삭하여 생성된 칩의 횡단면 형태를 나타낸 현미경 사진이다. 칩의 형태는 톱니모양의 칩(saw toothed chip)이 형성되었음을 볼 수 있으며 이러한 형상은 모든 절삭조건에서 발견할 수 있었다.

연성이 큰 재료를 절삭할 때의 칩 형성은 전단영역(shear zone)에서 매우 심한 소성변형을 동반하지만 연성이 부족하고 취성(brittleness)이 있는 재료를 절삭할 때는 전단영역의 소성변형은 유체정력학적 압력(hydrostatic pressure)이 존재하지 않는 공구 앞쪽의 공작물 표면에서 균열(crack)이 시작되므로 제한을 받는다. 이러한 재료를 절삭할 때 칩의 길이방향 단면 모양이 톱니모양으로 형성되는 것으로 알려져 있다[3,4]. Fig.1의 a)에서 보는 바와 같이 낮은 절삭속도에서도 톱니모양으로 전단된 칩이 생성되고 절삭속도가 증가함에 따라 칩은 더욱 심한 전단 변형을 일으키며 칩 segment 사이의 접촉 범위는 점점 감소하여 20 m/min에서는 칩 segment들이 거의 분리됨을 보이고있다. 이러한 현상은 공구 앞쪽의 공작물 표면에서 발생한 균열이 절삭속도가 증가되면서 급속히 전파되고 균열 부위에 인장응력이 집중되기 때문에 발생되는 것으로 생각된다. Fig 2는 절삭속도와 이송속도에 따른 칩두께와 칩 Segment 폭의 변화를 나타낸 것이다 Fig.2에서 보는 바와 같이 절삭속도 증가에 따라 칩두께는 다소 감소하는 경향이지만, 공구의 이송속도가 증가함에 따라서, 생성된 칩은 칩두께와 함께 칩 segment의 폭도 증가하고 있어, 이송속도의 증가에 따라 칩 segment들의 단면적이 뚜렷이 증가함을 알 수 있다. 또한 칩 segment의 크기는 절삭속도에 의한 영향은 경미한 반면, 공구의 이송속도에 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다.

3.2 U_3Si 칩의 분쇄 결과

핵연료 제조에서 요구되는 44~150 μ m의 분말의 질량 분율은 20 m/min의 절삭속도와 0.1 mm/rev의 이송속도로 절삭했을 때 83.2%로 가장 크게 나타났다. 또한 44~150 μ m의 중간 크기인 100 μ m크기의 분말은 2 m/min의 절삭속도와 0.08mm/rev의 이송속도로 절삭했을 때의 질량 분율이 44%로 가장 큰 것으로 나타났다. Fig. 3 은 칩의 절삭조건에 따른 분말의 입도 분포를 누적적으로 나타낸 것이다. Fig. 3의 a)는 절삭속도를 20m/min로 일정하게하고 이송속도를 변화시켰을 때 생성된 칩을 분쇄한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3 a)에서 볼 수있는 것처럼 이송속도를 크게 할 수록 150 μ m 이하의 누적분율이 감소하는 것을 알 수있으며, 이것은 칩 segment의 크기가이송속도가 증가함에 따라 커지기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 3 b)는 이송속도를 0.1mm/rev으로 일정하게 하고 절삭속도를 변화 시켰을 때 생성된 칩을 분쇄한 분말의 입도 분포를 나타낸 것이다. 칩가공시 이송속도에 비하여 절삭속도는 분말의 입도 분포에 영향을 적게 미치는 것으로 나타났으며 이것은 절삭속도가 증가함에 따라 칩 segment의 폭은 증가하지만 두께

는 감소하여 각 segment의 부피의 변화가 작기 때문인 것으로 생각된다. 한편 절삭속도가 증가함에 따라 150 μ m 이하의 분말의 누적분율은 다소 증가함을 알 수 있었다.

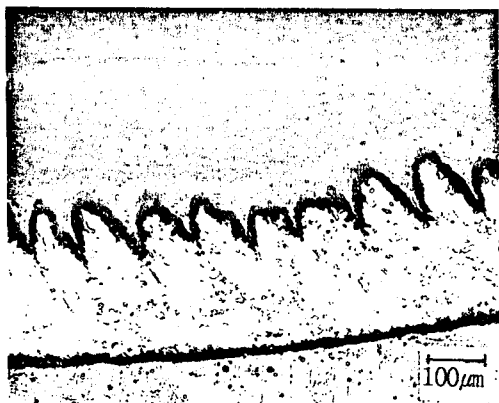
4. 결 론

U₃Si ingot를 CNC 선반에서 초경 inset 공구를 사용하여 절삭속도 2~20m/min, 이송속도0.08~0.2mm/rev로 가공한 칩을 shatterbox mill에서 동일한 조건으로 분쇄한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

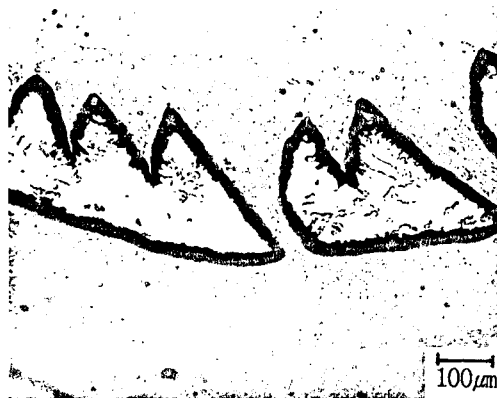
1. U₃Si 분말을 제조하기 위하여 1차 크기 축소 방법으로 선반에서 칩을 가공할 때 생성되는 칩의 형상은 톱니모양의 칩이 형성되고 이때 형성된 칩 segment의 크기가 shatterbox에서 분쇄 후 분말의 크기에 영향을 미치는 것으로 생각된다.
2. 이송속도를 증가함에 따라 칩 segment의 폭과 함께 두께도 증가하였으며, 칩 segment의 크기와 분말의 분포 변화는 절삭속도 변화 보다도 공구 이송속도의 변화에 더욱 큰 영향을 받는다.
3. 하나로에서 사용하는 핵연료 제조에 요구되는 44~150 μ m 크기의 분말은 20m/min의 절삭속도와 0.1mm/rev의 이송속도로 가공하였을 때 가장 많이 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

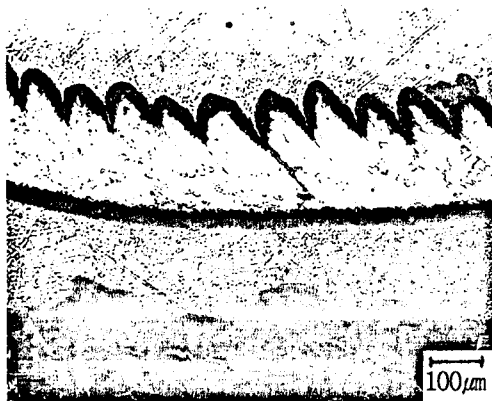
1. J.C.Wood,M.T.Food, L.C.Berthiaume,L.N.Herbert and J.D.Schafer, "Advanced in the Manufacturing and Irradation of Reduced Enrichment Fuel for Canadian Research Reactor" , JARI-M84-073
2. D.F Sear,L.C.Berthiaume, L.N. Herbert,"Fabrication and Irradation Testing of LEU Fuels at CRNL Status as of 1987 September",in proceedings of International Meeting on Reduced Enrichment for Research and test Reactors,Buenos Aires, Sept.28-Oct.2,1987.
3. Kazuo Nakayama,"Machining Chacteristics of Hard Mterials", Annals of the CIRP Vol.37/1/1988
4. M.C.Shaw,"Chip Formation in the Macining of Hardened Steel",Annals of CIRP Vol. 42/1/1993 P29-33



(a)
cutting speed=2m/min,
feed rate 0.1=mm/rev



(b)
cutting speed=20m/min,
feed rate=0.1mm/rev



(c)
cutting speed=10m/min,
feed rate=0.08mm/rev



(e)
cutting speed=10m/min,
feed rate=0.2mm/rev

Fig 1. Optical micrographs showing the longitudinal midsection of U_3Si chips obtained at different cutting condition, where tool rake angle = -5° , depth of cut = 2mm

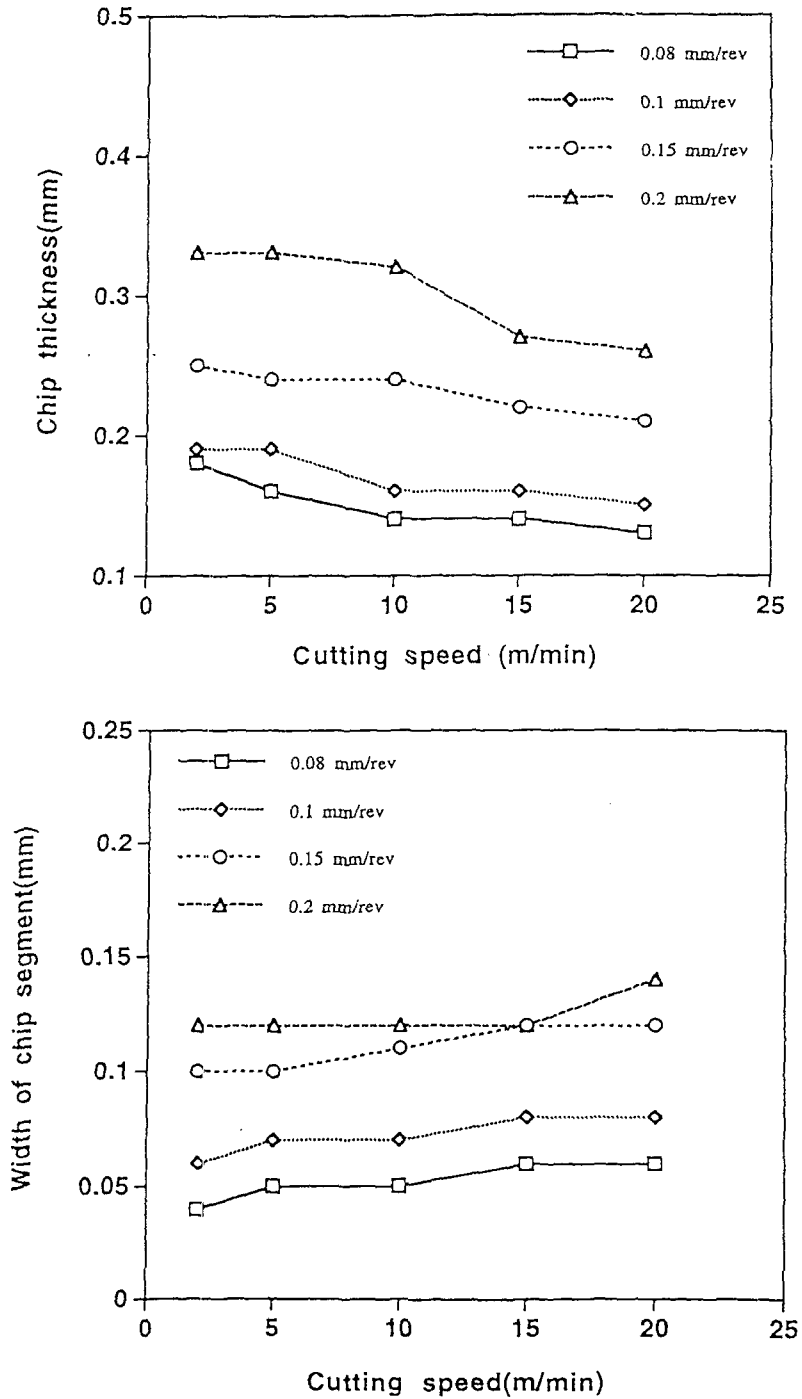
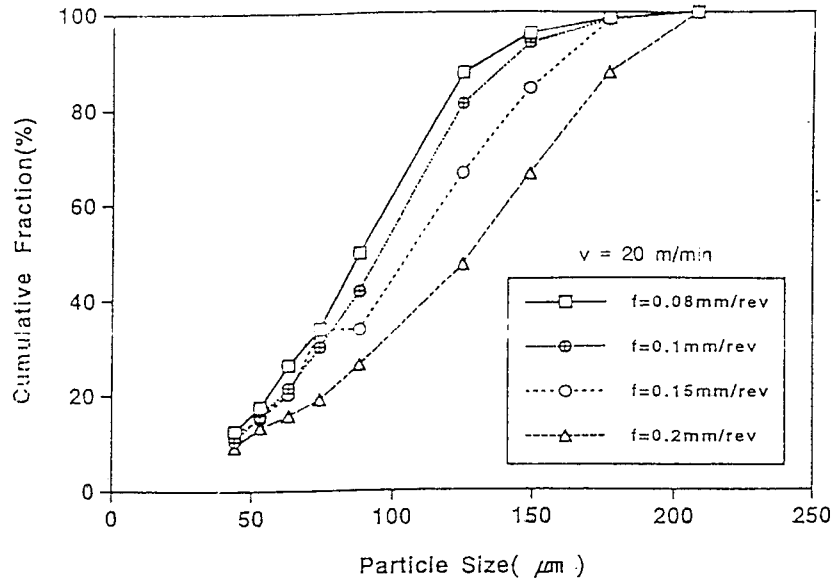
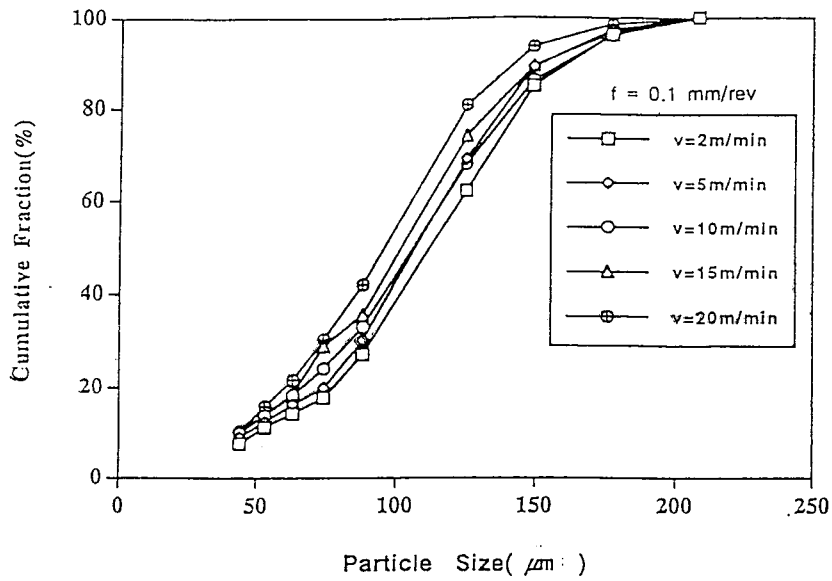


Fig. 2 Variation of chip thickness and segment width on cutting speeds



(a) Effect of feed rate when cutting speed is constant (20 m/min)



(b) Effect of cutting speed when feed rate is constant (0.1 mm/rev)

Fig. 3 Size distribution of U_3Si pulverized