

미세박판을 이용한 마이크로 성형기술

이 글에서는 수 μm 크기의 미세박판을 이용한 마이크로 성형기술인 마이크로 홀 펀칭, 마이크로 홀-어레이 펀칭, 마이크로 채널 성형 기술과 이들 기계적 금속 성형 기술을 이용한 미세박판의 최소 성형 한계에 관한 연구를 소개하고자 한다.

최근 초소형 기계, 전자 장비의 수요가 급격히 증가하면서 마이크로 부품의 가공에 더욱 많은 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 세계적으로, MST(Micro System Technology) 및 MEMS (Micro Electromechanical System) 기술 등을 이용한 마이크로 부품 가공에 많은 연구가 이루어지고 있는 추세이다. 기존의 LIGA 공정과 같은 MEMS 기술로 생산되는 마이크로 부품의 경우 생산 비용이 매우 높고 또한 적용 가능한 성형 재료에 한계를 갖는 단점이 있다. 이에 반해 금속 성형(metal forming) 기술을 이용한

마이크로 부품의 가공은 공정을 단순화시킬 수 있는 장점과 대량 생산에 큰 이점을 가지고 있어, 마이크로 부품의 가공 기술에서 매우 중요한 위치를 차지한다.

마이크로 스케일의 금속 성형은 오랜 기간에 걸쳐 다양한 방법들이 제안되었고 이와 관련된 많은 데이터를 축적하고 있다. 그러나 마이크로 스케일의 가공방법을 수 μm 스케일의 성형에 적용하기에는 소재의 물성과 변형 메커니즘이 마이크로 스케일과는 크게 다르다는 어려움이 존재한다. 일례로 성형품의 크기가 작아질수록 금속 박판의 그레인(grain) 크기는 마이크로 부품과 유사한 크기

를 갖는다. 두께 $1\mu\text{m}$ 의 금속 박판의 경우에는 두께 방향으로 단지 1~2개의 그레인이 존재한다. 또한 마이크로 스케일에서는 미세 금형의 강성 및 내마모성의 중요성과, 미세 금형과 소재간의 정렬 정밀도가 마이크로 스케일의 성형에 비하여 매우 높다. 이에 마이크로 스케일에서의 다양한 금속 성형 기법에 대한 연구가 절실히 필요하다.

수 μm 크기의 미세 금속 박판에 대한 마이크로 홀 펀칭, 마이크로 홀-어레이 펀칭, 마이크로 채널 성형의 연구를 통하여 미세 박판에 대한 금속 성형 기반 기술 및 장비를 확보하고 이를 이

마이크로 홀 펀칭은 직경 수 십에서 수 백 μm 의 마이크로 홀을 초정밀 미세 금형을 이용하여 가공하는 기술로 생산성이 높고 우수한 홀 형상 반복 정도를 갖는다.

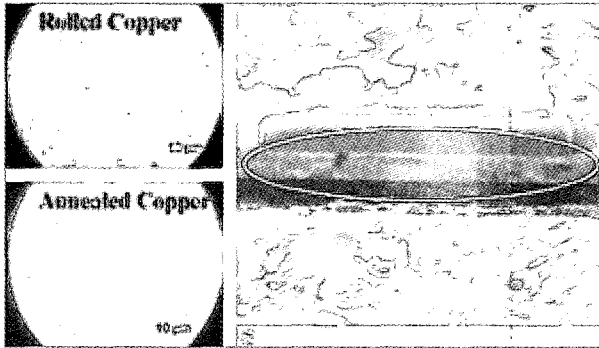


그림 1 구리 박판의 그레인 구조(grain structure)

용하여 최소 성형 크기의 한계까지 연구를 진행하고 있다. 또한 OTS SAM을 이용한 마이크로 스케일의 윤활 방법과 이를 통한 성형성 향상에 대한 연구도 함께 진행되고 있다.

마이크로 홀 펀칭

마이크로 홀 펀칭(micro hole punching) 기술은 직경 수 십에서 수 백 μm 의 마이크로 홀을 초정밀 미세 금형을 이용하여 가공하는 기술이다. 마이크로 펀칭을 이용한 홀 가공은 여러 산업 분야에서 응용되는데 잉크젯 프린트헤드 노즐, IC 패키징에서 필요한 비아 홀(Via hole), 연료 분사 노즐, 각종 센서와 필터 등

의 미세 홀 등이 대표적인 예이다. 이러한 마이크로 홀을 가공하는 방법은 마이크로 홀 펀칭 기술 이외에도 미세 드릴 가공, 레이저 가공, 미세 방전 가공, 미세 초음파 가공 등 여러 가공법이 있지만 생산성과 비용 절감 그리고 가공 홀의 형상 반복 정도 등에서 볼 때 마이크로 홀 펀칭 기술은 큰 이점을 갖고 있다.

현재 최소 직경 $15\mu\text{m}$ 의 마이크로 홀을 두께 $10\mu\text{m}$ 의 금속 박판에 펀칭 가공할 수 있는 마이크로 홀 펀칭 시스템을 개발하였다. 이는 기계적인 펀칭 방법을 이용한 직경 수 μm 홀 가공의 가능성을 보여준다. 개발된 시스템을 이용하여 $10\sim 25\mu\text{m}$ 두께의 황동과 스테인리스스틸 박판에 직경 15,

25, 50, $100\mu\text{m}$ 의 마이크로 홀을 성공적으로 가공하였다. 이와 더불어 마이크로 홀 펀칭 과정 중에 발생하는 마이크로 균열(micro crack)과 층밀림띠(shear band)를 분석하여 μm 스케일에서 미세 금속 박판의 전단 메커니즘에 대한 연구도 진행되고 있다.

마이크로 홀 펀칭 시스템의 미세 펀치는 초정밀 선형 가이드에 의해 서브마이크로 정밀도로 수직 이동을 하고 다이 플레이트는 초정밀 이송장치를 이용하여 수평 방향으로 $1\mu\text{m}$ 이내의 보정이 가능하다. 이와 같은 펀치와 다이 홀의 능동적인 정렬 방법을 통해 시스템의 유연성을 극대화하였다. 또한 펀치의 정밀 가이드와 펀칭 전후 가공 소재를 고정하기 위해서 스트리퍼 금형을 이용하였다.

마이크로미터 스케일의 펀칭에서 미세 펀치와 다이 홀의 동심 정렬 제어는 필수적이며 서브마이크로의 정밀도가 요구된다. 이를 위해 $5\times 5\times 5\text{mm}$ 의 큐브 타입 빔 스플리터(beam splitter)를 이용하여 펀치 팁과 다이 홀을 동시에 관찰할 수 있는 상하 영상 획득 시스템(two-way imaging system)이 개발되었다.

미세 펀치와 다이 플레이트는 텅스텐-카바이드 초경 합금 소재로 제작되었다. 일반적으로 미세 금형의 재질로는 텅스텐 카바이드 초경합금이 많이 쓰이는데, 이는 금형이 미세화됨에 따라 금형

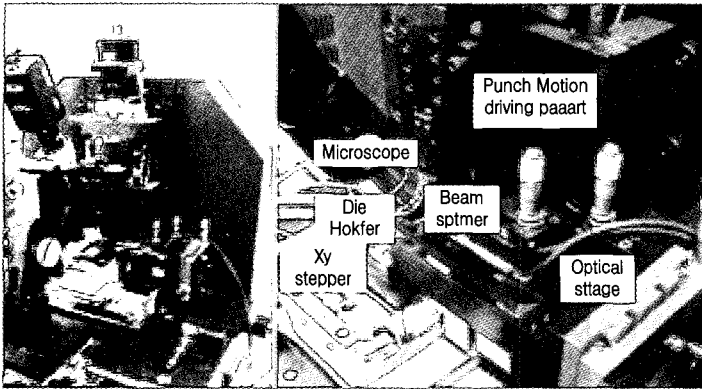


그림 2 마이크로 홀 펀칭 시스템

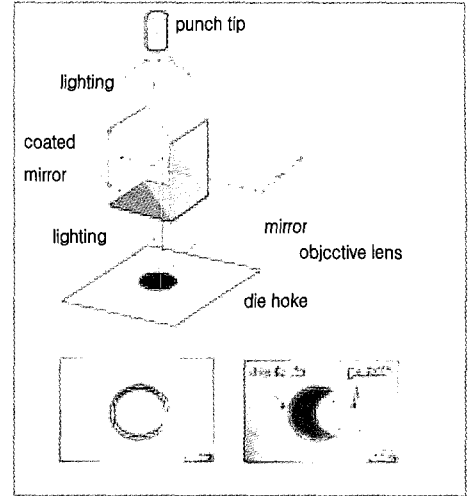


그림 3 다이-홀 정렬 시스템

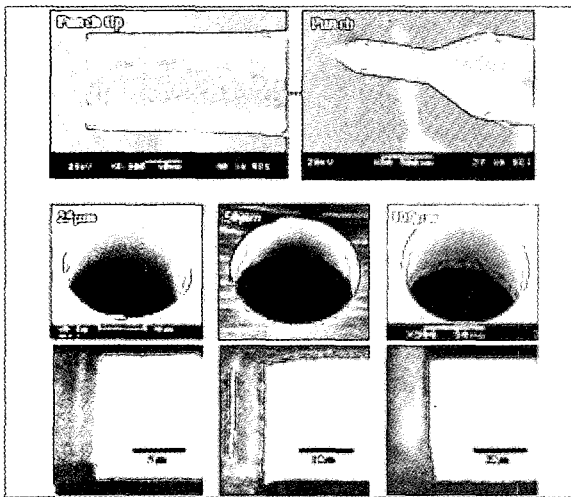


그림 4 직경 25µm 펀치 및 SUS 마이크로 홀 펀칭 결과

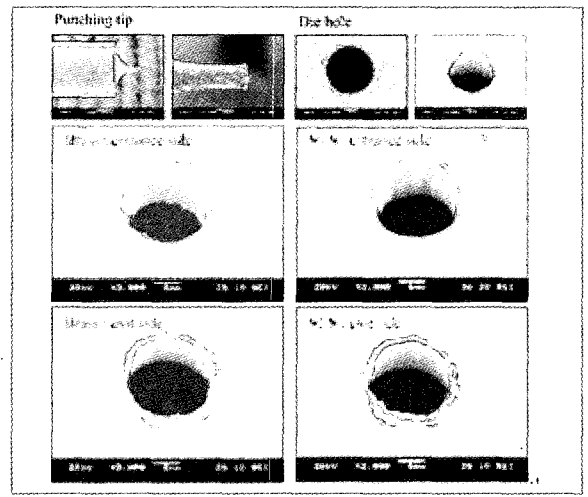


그림 5 직경 15µm 펀치 및 Brass, SUS 마이크로 홀 펀칭 결과

의 강성 및 내마모성이 중요하기 때문이다. 직경 25µm 이상의 미세 펀치는 다이아몬드 공구를 이용한 센터리스 그라인딩 공정으로 가공되었다. 미케니컬 그라인딩의 가공한계보다 작은 직경 15µm의 미세 펀치는 마이크로 방전가공을 이용하여 서울대학교 기계항공공학부 정밀공학실험실에

서 가공되었다.

마이크로 홀-어레이 펀칭

마이크로 홀-어레이 펀칭(micro hole array punching)은 실리콘 폴리머 펀치를 이용하여 여러 개의 홀을 동시에 가공하는 방법이다. 이 방법은 일반적

인 기계적 펀칭으로 수 µm 직경의 홀을 가공할 때 발생하는 미세 금형의 제작, 펀치와 금형의 정렬 제어와 같은 어려움을 플렉시블 펀치(flexible punch)를 사용함으로써 쉽게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 더 나아가 직경 10µm 이하의 홀을 동시에 여러 개 가공할 수 있어 생산성

을 높일 수 있다.

현재 직경 $2\mu\text{m}$ 인 초미세 홀-어레이를 두께 $3\mu\text{m}$ 구리 박판에 가공하는 데 성공하였다. 성형 공정은 밀폐된 공간에 실리콘 웨이퍼 금형 - 금속 박판 - 폴리머 펀치 순으로 적층한 후에 일반적인 프레스 시스템으로 가압하는 순으로 진행된다. 이와 같은 마이크로 홀-어레이 펀칭 공정을 이용하여 $1.5\mu\text{m}$ 의 티타늄 박판과 $3\mu\text{m}$ 의 구리 박판에 직경 $10\mu\text{m}$ 이하의 다수의 홀을 각각의 위치 배열에 상관없이 한 번의 공정으로 모두 가공할 수 있다. 또한 $10\mu\text{m}$ 정도 크기의 다양한 형상에 대해서도 펀칭 가공이 가능하다.

홀-어레이 금형은 4인치 실리콘 웨이퍼에 MEMS 공정을 이용하여 가공하였다. 임의의 직경과 간격을 갖는 홀 배열을 구성하여 크롬 마스크를 제작한다. 이 크롬 마스크를 이용하여 스프인 코팅 (spin coating), 감광(exposure), 현상(development) 등의 공정을 거쳐 실리콘 웨이퍼 위의 감광층(photo resist layer)에 패턴을 전사한 후 DRIE(Deep Reactive Ion Etching) 공정을 이용하여 원하는 깊이와 형상을 갖는 실리콘 웨이퍼 금형을 제작한다.

폴리머 펀치의 사용으로 인해 발생하는 문제점도 있다. 설계된 금형에 비해 작은 직경의 홀이 생성되고 홀의 형상 반복 정도가 떨어진다. 또한 가공 후에 금형의

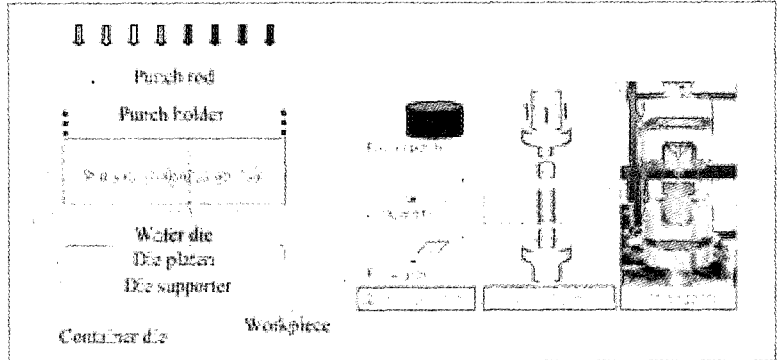


그림 6 마이크로 홀 어레이 펀칭 시스템

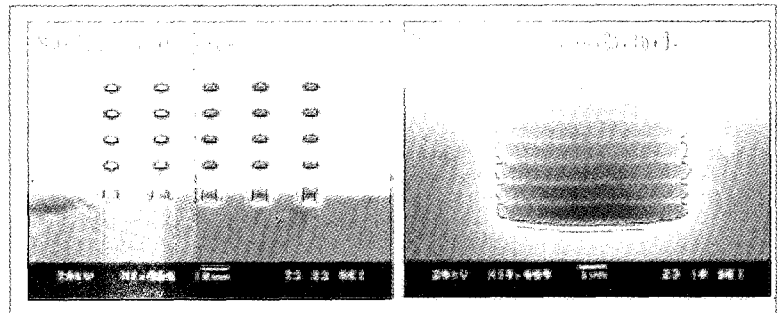


그림 7 직경 $5\mu\text{m}$ 의 실리콘 웨이퍼 금형

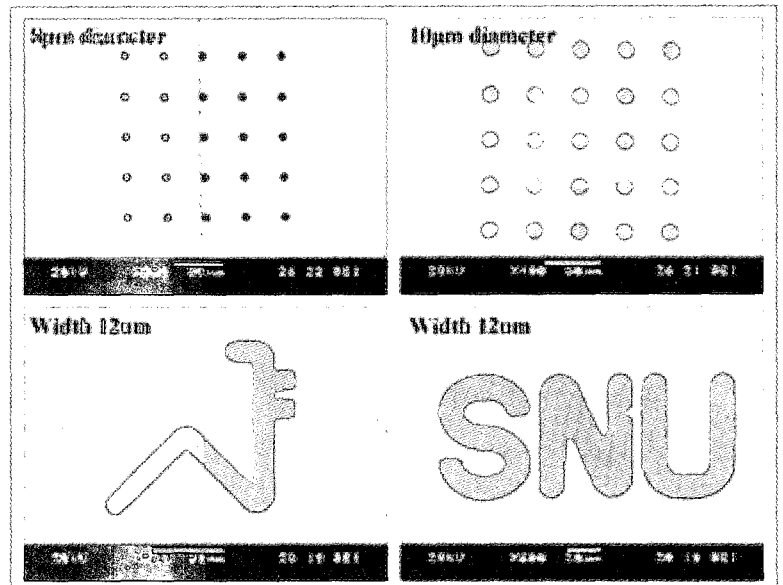


그림 8 $1.5\mu\text{m}$ 티타늄 박판의 마이크로 홀-어레이 펀칭 결과

재사용을 위해 금형의 손상이 없는 스크랩의 효율적인 제거 방법이 필요하다.

마이크로 채널 성형

마이크로 채널 성형(micro channel forming) 공정은 실리콘 다이의 마이크로 형상을 CIP(Cold Isostatic Press) 장비의 정수압을 이용하여 금속 박판에 패턴을 전사하는 방법이다. 이 마이크로 성형 공정은 마이크로 부품을 보다 쉽고 빠르게 제작할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

현재 최소 폭 $6\mu\text{m}$, 최대 깊이 $6\mu\text{m}$ 의 채널 패턴을 $1\mu\text{m}$ 의 구리 박판에 전사하는 데 성공하였다. 이와 같은 방법으로 두께 $2.5\mu\text{m}$ 스테인리스 스틸 박판과 두께 1m , $3\mu\text{m}$ 구리 박판에 수 μm 의 폭과 깊이를 갖는 다양한 채널 형상을 성형할 수 있다. 구리 박판의 경우 250MPa 이하의 압력에서 표면이 매우 평평하고 우수한 성형이 이루어진다.

정수압을 이용한 성형을 위해서 실리콘 다이와 금속 박판을 방수 처리된 폴리머 주머니를 사용하여 진공 포장한다. 유체의 압력을 금속 박판으로 균일하게 전달하기 위해 압력 전달 매체로 플라스틱인(plasticine)을 이용한다. 진공 포장된 다이-박판-압력 전달매체 구성의 포밍스택은 250MPa 의 정수압에 의해 가압

마이크로 채널 성형은 μm 스케일 패턴을 정수압을 이용하여 수 μm 두께의 금속 박판에 전사하는 방법으로 마이크로 부품을 보다 쉽고 빠르게 제작할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

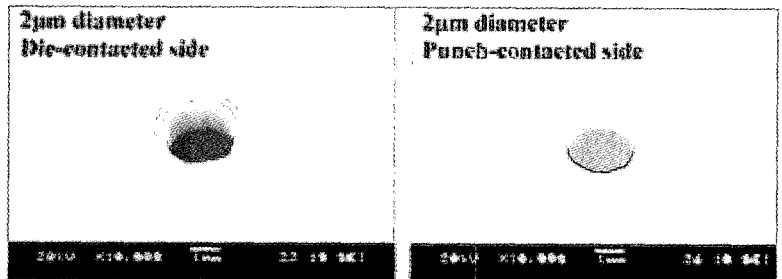


그림 9 $3\mu\text{m}$ 구리 박판의 마이크로 홀-어레이 펀칭 결과

성형 공정을 거친다.

마이크로 홀-어레이 펀칭에서 사용된 DRIE를 이용하여 만든 금형의 형상은 모서리가 매우 날카롭고 패턴 내부 벽면의 물결 무늬들로 인해 박판 성형에 적합하지 않다. 이러한 문제점은 isotropic etching과 thermal oxidation의 후처리 공정을 이용하면 물결 무늬의 제거는 물론 실리콘 금형의 코너 반경을 서브 마이크로 스케일에서 조절이 가능하다.

이와 더불어 소재의 성형성을 향상시키기 위해 금속 미세 박판의 열처리에 관한 연구도 함께 진행되었다. 열처리 시간의 증가는 재료의 연성의 변화와 함께 결정의 성장과도 관계가 된다. 결정이 너무 크게 성장하면 소재의

성형에 나쁜 영향을 끼칠 수 있으므로 적절한 열처리 시간을 선택하는 것은 중요하다. 구리 박판의 경우 385°C 에서 두께 $3\mu\text{m}$ 는 1분, 두께 $1\mu\text{m}$ 는 20분이 가장 좋은 성형성을 보여준다.

마이크로 성형에서의 윤활

기존의 마이크로 채널 성형 공정에서 두께 $3\mu\text{m}$ 의 구리 박판과는 달리 두께 $1\mu\text{m}$ 의 구리 박판 성형의 경우 파단과 같은 결함들이 다수 발견된다. 이는 성형 공정에 사용된 금형의 날카로운 코너 반경과 더불어 실리콘 웨이퍼의 높은 표면 마찰이 주요 원인이다. 이에 OTS(Octadecyl-TrichloroSilane) SAM(Self-

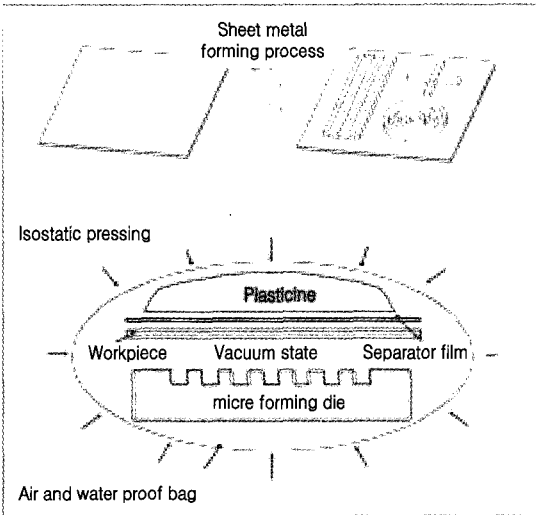


그림 10 마이크로 채널 성형

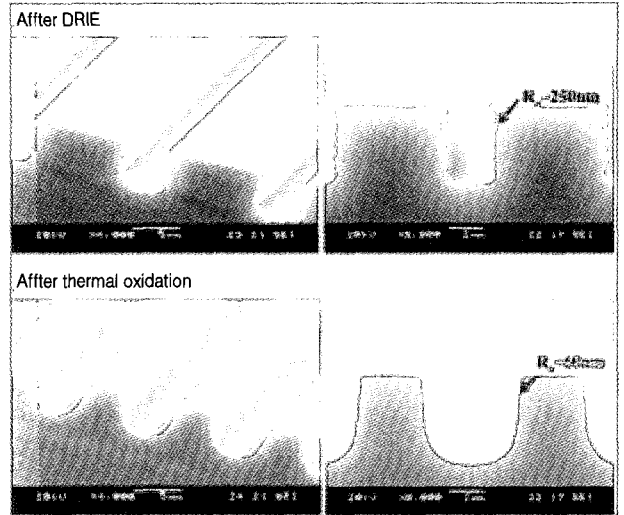


그림 11 실리콘 금형의 코너 반경 조절

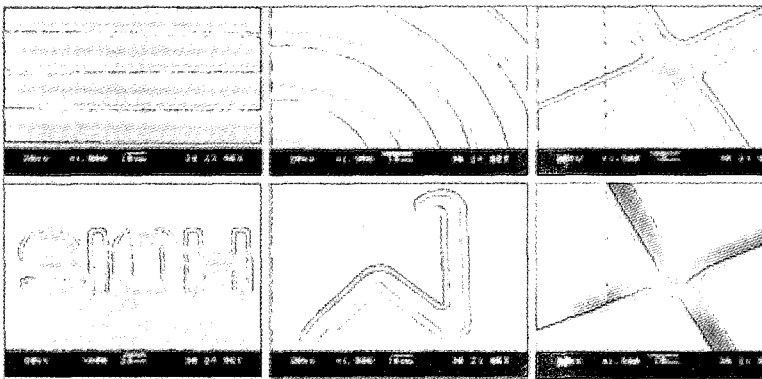


그림 12 3µm 구리 박판의 마이크로 채널 성형

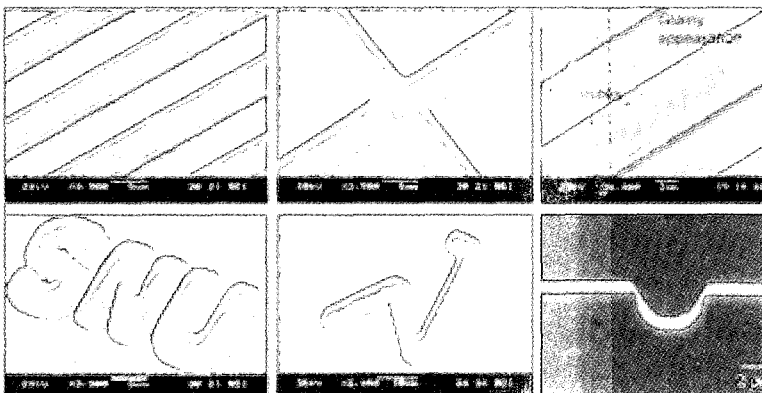


그림 13 1µm 구리 박판의 마이크로 채널 성형

Assembled Monolayers)을 마이크로 스케일의 고체 윤활제로 도입하여 박판의 성형성을 증가시켰다. OTS SAM의 경우 소재와의 점성 또한 낮아 금형과 소재의 분리에도 용이한 장점을 가지고 있다.

수 µm 패턴 성형에서의 윤활 방법은 마크로 스케일과는 전혀 다른 개념으로 접근해야 할 필요성이 있다. 마크로 스케일의 윤활 방법을 마이크로 성형에 적용할 경우 윤활층의 두께가 소재 두께 및 금형의 패턴의 크기와 비슷하게 되는 문제점이 발생한다. 따라서 마이크로 스케일 성형에 사용되는 윤활제는 성형 소재와 금형의 패턴과 비교하여 두께가 충분히 얇고 표면에 균일하게 배열되어야 한다.

OTS SAM으로 코팅이 되어 있는 실리콘 금형을 이용한 성형

의 경우 코팅되지 않은 경우와 비교하여 구리 박판의 두께 감소가 패턴을 따라서 전체적으로 균

일한 분포로 성형되는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 두께 $1\mu\text{m}$ 의 구리 박판의 경우에도 결함이 없

는 매우 좋은 성형성을 보였다.

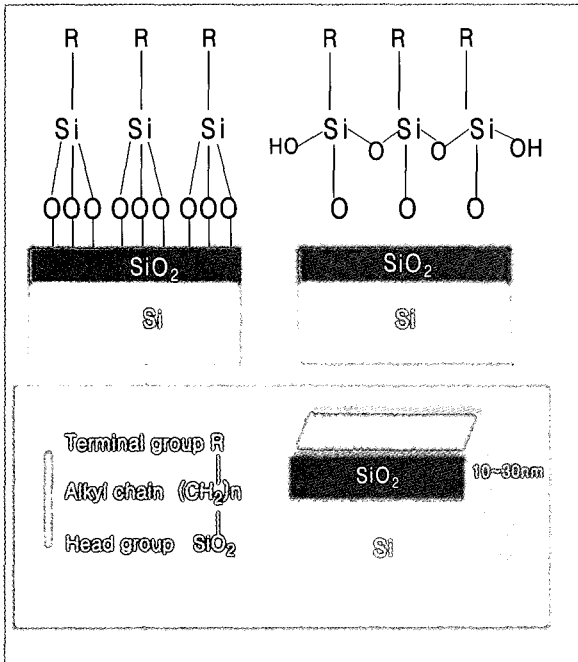


그림 14 OTS SAM 코팅

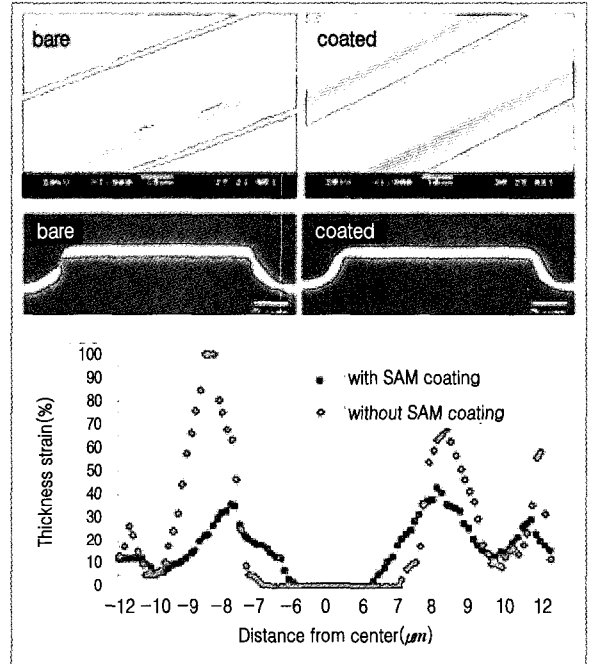


그림 15 SAM을 윤활제로 이용한 성형성 평가

기계용어해설

빌드업 기법(Build-up Technique)

국가표준을 기준 계측기(유량계)를 이용하여 소급한 다음 이를 이용하여 측정범위를 확장하는 방법.

확산화염(Diffusion Flame)

연료와 공기가 물리적으로 분리된 상태에서 발생하는 화염으로 제한적 mixing process에 의해 반응이 결정되는 화염으로 반응대에는 공기와 연료가 존재하며 공기는 내부로 연료를 외부로 확산되며 화염을 형성하게 된다.

바코드(Invisible Barcode)

최근 한화종합화학에서 눈에 보이지 않는 바코드가 인쇄된 바닥재를 만들었다. 이 바닥재에 인쇄된 바코드는 몇 가지 정보를 가지고 있고 위치인식을 하는 데 이용할 수 있다.