

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. (45) 공고일자 2006년11월10일
B24B 13/00 (2006.01) (11) 등록번호 10-0644144
 (24) 등록일자 2006년11월02일

(21) 출원번호 10-2001-7006900 (65) 공개번호 10-2001-0108000
 (22) 출원일자 2001년06월01일 (43) 공개일자 2001년12월07일
 번역문 제출일자 2001년06월01일
 (86) 국제출원번호 PCT/GB1999/004014 (87) 국제공개번호 WO 2000/32353
 국제출원일자 1999년12월01일 국제공개일자 2000년06월08일

(81) 지정국 국내특허 : 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바베이도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 캐나다, 스위스, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그루지야, 헝가리, 이스라엘, 아이슬란드, 일본, 케냐, 키르기스스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 슬로베니아, 슬로바키아, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 우크라이나, 우간다, 미국, 우즈베키스탄, 베트남, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 아랍에미리트, 코스타리카, 도미니카, 탄자니아, 남아프리카, 인도, 가나, 감비아, 크로아티아, 인도네시아, 세르비아 앤 몬테네그로, 짐바브웨, 시에라리온, 그라나다,

AP ARIPO특허 : 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 우간다, 시에라리온, 가나, 감비아, 짐바브웨, 탄자니아,

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르기스스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스,

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고, 기니 비사우,

(30) 우선권주장 9826369.2 1998년12월01일 영국(GB)
 9826371.8 1998년12월01일 영국(GB)
 9826372.6 1998년12월01일 영국(GB)

(73) 특허권자 유니버시티 칼리지 런던
 영국, 런던 WC1E 6BT, 고위 스트리트

(72) 발명자 빙햄,리차드
 영국,캠브리지CB39HW,밀링턴로드29

릴리,데이비드,찰스
 영국,노팅햄NG122HT,레드클리프온트렌트,토마스애비뉴6

(74) 대리인 한양특허법인

심사관 : 김성민

(54) 폴리싱 기계 및 방법

요약

부재 연마기 또는 폴리싱 기계는 상기 공작물을 유지하는 유지면, 회전축에 관하여 회전하도록 상기 회전축을 따라 배치된 헤드부재, 상기 헤드부재에 의해 상기 회전축에 관하여 회전을 위한 상기 회전축 상에, 상기 헤드부재에 상기 공작물을 연마 혹은 폴리싱하기 위한 면이 배치된 작업부재, 상기 헤드부재 및 이에 장착된 상기 작업부재를 상기 회전축에 관하여 회전하도록 구동하는 제1 구동수단, 상기 헤드부재를 장착하기 위한 헤드 장착수단, 상기 회전축과 교차하는 세차운동 축에 대해 상기 헤드부재의 상기 회전축을 경사지게 하도록 상기 헤드 장착부재를 구동하며, 상기 회전축이 상기 세차운동 축에 관하여 세차운동된 상태에서 상기 헤드부재를 경사된 위치로 이동시키는 제2 구동수단, 및 상기 유지면을 횡단하여 상기 헤드 장착수단을 상대적으로 이동시키는 제3 구동수단을 포함하고 있다.

대표도

도 1

명세서

기술분야

본 발명은 공작물(workpiece)을 연마(abrading) 또는 폴리싱(polishing)하기 위한 폴리싱 기계 및 폴리싱 방법에 관한 것이다.

본 발명은 또한 공작물을 연마 또는 폴리싱할 때 사용하기 위한 공구 및 공구에 대한 부속품으로서의 연마 컵에 관한 것이다.

공작물 표면의 연마 또는 폴리싱은 반도체 장치 및 광학 구성요소의 제조를 포함하는 다양한 분야에 적용되는 기술이다. 특정 표면 윤곽 및 특정 표면 마무리, 즉 평탄성을 가지는 표면을 제공하는 것이 요구된다. 광학 폴리싱 분야에서는 두 가지의 상이한 기술이 있는데, 이 중 어느 하나는 공작물의 사이즈에 비교할 만한 사이즈를 가지는 폴리싱 공구를 이용한다. 이러한 기술의 제한점은 이 공구가 특정 공작물에 대하여 고안되어야 하며, 범용으로 사용될 수 없다는 점이다. 이러한 제한을 감소시키기 위해, GB 2163076과 같이, 다양하게 연마 또는 폴리싱하기 위해, 압력분포가 공작물에 걸쳐 변화하는 액티브 회전식 원반 연마기(active lap)가 개발되어 있다.

두번째 기술에서는, 공구가 실질적으로 공작물보다 작고, 연마 및 폴리싱 공정을 수행하기 위해 공작물에 걸쳐 이동한다. 이러한 기술은 US 4128968 에 기재되어 있다. 이 기술에서는, 두 개의 패드가 공작물의 표면에 접촉하여 유지되고, 이 공작물의 표면 주위에서 나선형 경로로 상대적으로 회전 및 이동한다. WO 97/00155에 기재된 또 다른 기술은 가요성 작업 표면을 가져, 공작물과의 유효 접촉 영역이 제어될 수 있는 공구를 사용한다. 이것은 폴리싱 사이클 중 어느 일정 시점에서 폴리싱되는 면적도 제어될 수 있다는 장점을 제공한다.

이러한 종래의 기술들에서, 공구는 일반적으로 공작물에 수직하는 축 주위를 회전한다. 이러한 기술의 제한점은 축에서는 상대적 이동이 0이 되어, 연마율이 0이 된다는 점이다. 따라서, 이러한 제계 프로파일을 가지는 공구를 이용하면 자동 폴리싱 또는 연마 기술을 이용할 때 원하는 목표 프로파일을 얻기 어렵게 된다.

WO 97/00155의 기술에서, 공작물에 대한 공구의 착수 각도는 공작물의 표면상에 "가상 피벗"을 제공하는 장치를 이용함으로써 가변적이다. 이것은 공구가 기울어질 때, 공작물에 접촉하는 공구의 중심의 횡방향 또는 수직방향 이동이 없게 하는 장점이 있다. 그러나, 개시된 기계장치는 복잡하고 크다.

미국 특허 4958436은 탄성 작업 부재가 공작물의 표면에 평행한 축 주위로 회전하여, 작업 부재와 공작물의 표면 간의 상대적 횡방향 이동을 제공하는 상이한 기술을 개시한다. 이 작업 부재는 장착 부재 내에서 회전하도록 유지된다. 이 작업 부재를 장착하는 장착 부재는 또한 공작물의 표면에 대해 수직방향으로 회전된다. 이러한 기술은 접촉 영역의 중심에서 재료가 제거되지 않는 단점을 겪지 않는 반면, 두 개의 회전축을 제공하기 위해 두 개의 모터의 사용하는 것을 포함하는 복잡한 장치가 요구된다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 제 1 특징에 따라, 공작물을 연마 또는 폴리싱하기 위한 방법 및 기계가 제공된다. 공작물은 이 기계의 유지면상에 유지되고, 공작물을 연마 및 폴리싱하기 위한 표면을 가지는 헤드는 공작물을 폴리싱 또는 연마하기 위해 면수정 패턴(figuring pattern)으로 공작물에 걸쳐 이동된다. 이 헤드의 면수정 이동에 부가하여, 연마 및 폴리싱을 수행하는 헤드의 면(face)은 헤드를 기울이거나 회전시킴으로써 공작물의 표면상에서 횡방향으로 움직이도록 배치된다. 이 면의 횡이동 방향은, 공작물 표면에 대해 수직인 세차운동 축(precession axis) 주위로의 경사진 헤드의 세차운동인 복수의 위치로, 헤드를 움직임으로써 회전된다.

따라서, 본 발명의 이러한 특징에 따라, 공구 접촉 영역의 중심에서 0인 제거 프로파일을 갖는 대신에, 공작물에 대해 비해 횡방향으로 이동되는 면을 이용하도록 헤드를 기울여, 어느 시점에서나 비-축대칭인 제거프로파일을 제공하는 것이 가능하다. 그러나, 축대칭 제거 프로파일은 결정적인 자동 폴리싱(deterministic automatic polishing)이 요구될 때 유리하다. 일정 시간에 걸친 평균적인 제거 프로파일을 대칭으로 하기 위해서는, 공구 표면의 횡이동 방향이 회전하도록 헤드가 공작물의 표면에 대하여 세차운동되는 위치로 이동된다. 따라서, 한 번의 횡방향 이동에 의해 공작물의 표면상에 발생하는 어떠한 패턴도 복수의 회전각에서 발생되므로, 결점을 감소시키고 축대칭인 프로파일을 제공할 것이다.

본 발명의 이러한 특징에서의 또 하나의 장점은 연마면(abrading face)의 이동이 자기 가습성(self-wetting)이라는 점이다. 연마 표면과 공작물 사이에 사용되는 냉각/윤활 유체 또는 슬러리는, 폴리싱 작용에 의해 공구 아래에 유지될 것이다. 대조적으로, 공작물의 표면에 수직하는 공구의 축방향 회전을 이용하는 종래 기술에서, 냉각/윤활 유체는 구심력에 의해 폴리싱 영역의 외주로 이동하는 경향이 있을 것이다.

본 발명의 이러한 특징은, 공작물과 연마면 사이의 상대적 횡방향 이동을 제공할 수 있고 횡방향 이동의 방향을 회전하도록 세차운동될 수 있는 어떠한 형태의 경사진 회전 공구, 예컨대 축방향 회전가능한 원뿔형 공구에도 적용될 수 있다.

평균화를 달성하기 위해, 세차운동은 적어도 360°에 걸쳐서 일어나는 것이 바람직하다. 이것은 세차운동을 증분시킴으로써 달성된다. 바람직하게는, 이러한 증가는 하나를 초과하는 세차운동 사이클 이상이어야 한다. 일 실시예에서, 세차운동의 증분은 360°를 정수로 나눈 것이 아니어서, 상대 횡이동의 방향이 각 사이클에 대해 다르다. 또 다른 구체예에서, 이러한 증분은 상기 360° 세차운동 사이클에 대해 대칭이다.

바람직한 실시예에서, 면은 헤드로부터 연장되는 유연한 구형부분(compliant bulbous portion)을 포함한다. 이 유연한 부분이 그 경사진 축 주위로 회전됨에 따라, 이 구형부분은 공작물과의 접촉 영역을 형성하고 여기서 상대적인 횡방향 이동이 일어난다.

연마면은, 연마 장착된 슬러리, 예컨대 다이아몬드 페이스트가 놓이는 천 또는 피치를 포함한다. 또는, 연마면에 바운드 연마제(bound abrasive)가 사용될 수 있다. 이러한 바운드 연마제가 사용될 때는, 단지 냉각/윤활 유체만이 요구된다.

본 발명의 제2 특징은, 연마 또는 폴리싱용 면을 유지하는 헤드가 기계장치에 의해 유지되어 공작물의 면수정을 허용하는 폴리싱 또는 연마 기계 또는 방법을 제공한다. 상기 기계장치는 피벗 주위로 헤드를 기울여 공작물에 대해 경사가능하게 하도록 배치된 경사 기구(tilting mechanism)를 포함한다. 이러한 방식으로, 헤드는 공작물의 윤곽을 따를 수 있을 뿐만 아니라, 표면을 따르거나 또는 표면에 대해 요구되는 각도로 경사지도록 기울어질 수 있다. 헤드가 기울어질 때 피벗이 공작물 상에 없기 때문에, 공작물을 향해 또는 공작물로부터 멀어지도록에 걸친 헤드 표면의 위치이동이 있다. 이는 횡방향 및 수직방향으로의 이러한 위치이동을 따라잡도록 기계장치를 제어하기 위해 요구되는 보상값을 계산 또는 검색(looking-up)함으로써 보상된다.

본 발명의 이러한 특징은, 예컨대 어떠한 고정각도로 기울어지는 것을 허용하는 직교 아치형 트랙 장치를 이용함으로써, 보다 단순한 피벗팅 장치가 제공될 수 있다는 점에서, WO97/00155에 기재된 종래기술과 상이하다. 그러나, 이러한 단순한 피벗팅 장치를 이용할 수 있기 위해서는, 고정 기울임 각도를 결정하여 이에 따라 횡방향 및 수직방향 위치이동을 보상

하는 제어기에 의해 연마면의 위치이동이 보상되어야 한다. 또한, WO97/00155에 개시된 바와 같이 가상 피벗이 사용되고 있기는 하나, 예를 들어, 유연한 재료와 같은 연질면이 사용되면, 헤드가 공작물상에 눌림에 따른 유연한 재료의 위치이동에 대해 보상하는 것이 필요하다.

본 발명의 제1 특징 또는 제2 특징 모두 컴퓨터 제어하의 폴리싱 장치를 사용하여 실행될 수 있다. 본 발명의 이들 관점은 폴리싱 장치를 제어하도록 프로세서를 제어하는 컴퓨터 프로그램과 이를 저장하는 운반 매체에 의해 구체화될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 인터넷과 같은 네트워크를 통해 전달될 수 있기 때문에, 이러한 관점에서의 본 발명은 폴리싱 또는 연마 장치를 제어하도록 프로세서를 제어하는 컴퓨터 프로그램을 운반하는 신호로서 포함될 수 있다.

본 발명의 제3 특징은 WO 97/00155의 연질 공구에 대한 개선물을 제공한다. 이 연질 공구에는, 연질 공구에 탈착가능한 부속품으로서 연마 컵이 제공되는데, 여기서 시트가 폴리싱을 위해 사용되는 연질 공구 표면의 형상으로 예비 성형(preform)되며, 이는 연마 또는 폴리싱 동안 이 연질 공구의 가압에 따른 변형을 허용하도록 충분히 가요성이다. 시트는 연질 공구의 홀더에 탈착가능하게 장착될 수 있는 캐리어 부재에 의해 외주에서 유지된다.

시트는 폴리싱 또는 연마 공정중에 마모될 것이기 때문에, 공구로부터 제거가능하다. 폴리싱에 사용될 공구의 표면은 유연하기 때문에, 막은 가요성 공구의 유연함에 따르도록 가요성이어야 한다.

연질 공구의 유연성 및 시트가 이 유연성에 따라 구부러져야 하는 필요성 때문에, 시트와 유연한 공구의 표면 사이에서 상대적인 횡방향 이동을 허용하기 위한 수단이 제공된다. 이것은 연질 공구와 시트의 표면 사이의 상이한 곡률 반경을 감안하여 필수적이다. 일정한 상대적인 횡방향 이동을 허용할 수 있는 적절한 수단은, 윤활제 또는 비고정 접촉제(unset lubricant)를 포함한다.

비고정 접촉제의 사용은, 시트가 연질 공구 표면에 접촉되어 이에 의해 지지의 이익을 얻는다는 장점을 제공한다. 다시 말하면, 연마 또는 폴리싱 작업중, 시트가 겪게 되는 횡방향 힘의 일부는 연질 공구에 전달될 수 있다. 만일 다른 한편으로 윤활제가 사용되면, 시트는 그 외주로부터 기계적으로 구동되기 때문에, 공구가 공작물의 표면에 걸쳐 드래그됨에 따라 연마 또는 폴리싱 작업중 겪게 되는 힘을 이겨낼 수 있는 충분한 토션 힘을 시트가 가져야 한다.

본 발명의 제4 특징은, 유체 시일을 파괴할 필요없이 공구 보디로부터 탈착할 수 있는 유체 충전 챔버를 포함하는 연질 공구 헤드를 가지는, 공작물 연마 또는 폴리싱 방법 및 기계를 제공한다. 공구 보디는 회전 보디로서, 회전축을 따라 연장되고 그 말단에 공구 헤드의 유체 챔버로 압력을 전달하기 위한 압력 전달 수단을 갖는다. 공구 헤드는 공구 보디에 해제가능하게 장착되어 있고, 헤드 하우징, 헤드 유체 전달 수단 및 시일 유체 챔버를 형성하는 탄성 막을 포함한다. 헤드 유체 전달 수단은 유체 챔버의 헤드 내의 유체로 압력을 전달하도록 공구 보디의 압력 전달 수단과 협력하도록 배치된다. 탄성 막은, 연마 또는 폴리싱 중에 공작물로 압력을 가하기 위해 이로부터 만곡된 방식으로 연장하는 헤드 하우징에 의해, 그 외주에서 지지된다.

본 발명의 상기 특징은 탄성 작업 부재를 제공하는데, 이것의 탄성은 그 내부의 유체의 압력을 제어함으로써 제어할 수 있다. 이러한 장점으로부터 이익을 얻는 공구 헤드 역시, 마모 또는 상이한 공구 헤드 사이즈로의 교체 요구에 따라 필요시 용이하게 교환될 수 있다.

본 발명의 일 실시예에서, 공구 보디는 압력 전달 수단에서 종결되는 유체 충전된 유체 챔버를 가진다. 이것은 유체 압력이 유체 보디 챔버를 통해 각각 회전가능한 공구에 별개로 제공되는 액체 압력 제어 장치로부터 헤드 보디 챔버로 전달될 수 있도록 한다. 두 개의 별개의 유체 충전 챔버가 공구 헤드 및 공구 보디에서 사용되기 때문에, 공구 헤드는 유체 시일을 파괴함이 없이 이 공구 보디로부터 용이하게 제거될 수 있다.

일 실시예에서, 유체 압력은 공구 보디 및 공구 헤드 각각에 장착된 각각의 위치이동 장치를 통하여 보디 유체 챔버로부터 헤드 유체 챔버로 전달된다. 각각의 위치이동 장치는 서로 결합되어 압력 전달을 제공한다. 이것은 직접 물리적 결합일 수도 있고, 예컨대 공기와 같은 매개체를 통한 결합일 수도 있다.

본 발명의 제5 특징은 공작물의 연마 또는 폴리싱을 제어하기 위한 방법 및 장치를 제공한다. 공구의 영향 함수를 결정하는 데이터가 사용된다. 영향 함수는 공구의 소정의 체류 시간 또는 속도에 대한 공작물로부터의 재료 제거 패턴을 한정한다. 소망의 프로파일은 공작물에 대한 표면의 현재 프로파일과 비교되어, 이들간의 차이점이 결정된다. 공작물 표면상의 소정 위치에 대한 체류 시간 또는 공구 속도는, 비용 함수를 감소시키도록 영향 함수를 이용하여 소정의 위치에서의 체류 시간 또는 공구 속도를 수치 최적화하는 것을 이용하여 결정된다.

이 기술은, 실질적으로 원하는 프로파일을 얻기 위한 최적 체류 시간 또는 공구 속도와 관련된 최소 비용 함수를 찾을 때까지 다양한 체류 시간 또는 공구 속도에 대해 비용 함수가 반복적으로 결정되는, 반복적인 것이 바람직하다.

따라서, 이 기술을 위하여, 소정의 위치가 영향 함수의 적용을 위해 사용되고, 따라서, 이 기술은 단순히, 결과를 얻기 위한 한 세트의 수치를 최적화하는 것이 된다.

이러한 형태의 최적화를 위해 사용될 수 있는 많은 기술들이 있다. 이 기술은 목표 제거 프로파일 및 예상 제거 프로파일 간의 차이의 제곱의 합을 감소시킬 수 있다. 체류 시간 또는 공구 속도에 대한 후보 수치를 결정하기 위해 유전자 알고리즘(genetic algorithm)이 사용될 수 있다. 비용 함수가 계산되어 체류 시간 또는 공구 속도가 추정값이 "유전자(gene)" 풀(pool) 내에 유지할 수 있는 후보인지 아닌지를 결정할 수 있다.

일 실시예에서, 소망의 프로파일은 원형 공작물에 대한 소망의 반경방향 프로파일을 포함하고, 따라서 단지 2 차원 프로파일이다. 이러한 반경방향 함수는 모든 반경의 공작물의 표면에 동등하게 적용된다. 영향 함수 또한 2차 함수로 정의되고, 소망의 위치는 공작물의 표면에 걸친 반경방향 위치를 포함한다. 따라서, 수치 최적화 기술은, 얻어진 프로파일에서의 반경방향 오차를 고려한, 공작물의 표면에 걸친 반경방향 위치에 대한 체류 시간을 정의하는 일련의 수치들의 최적화를 포함한다

본 발명의 보다 복잡한 실시예에서, 소망의 프로파일은 공작물의 표면 영역에 걸쳐 정의되고, 따라서 3차원 프로파일을 포함한다. 따라서, 영향 함수는 반드시 3차 함수로 정의되거나 적어도 2차원 반경 함수의 3차원으로의 투영으로 정의된다. 영향 함수가 적용될 소망의 위치는 공작물의 표면에 걸친 위치들의 2차원 배열을 포함한다. 따라서, 본 발명의 실시예에서, 수치 분석 기술은 공작물의 표면에 걸친 위치의 2차원 배열에 대한 체류 시간 또는 공구 속도를 결정하여야 한다. 계산 시간을 줄이기 위해, 위치에 대한 체류 시간 또는 공구 속도를 결정하기 위해 배열 위치의 굵은 격자(coarse grid)를 사용할 수 있다. 그러면 중간 위치에 대한 체류 시간 또는 공구 속도는 필요한 경우 내삽(interpolation)에 의해 결정될 수 있다. 예를 들면, 헤드에 의해 추적되는 면수정 패턴이 원형 패턴을 포함할 때, 헤드에 의해 추적되는 원호를 따라 체류 시간 또는 공구 속도를 한정하기 위해 내삽이 행해진다. 면수정 패턴이 래스터 주사를 포함하는 경우, 면수정 작업중에 헤드에 의해 얻어지는 경로를 따르는 체류 시간 또는 공구 속도를 결정하기 위하여 선형 래스터링 패턴에 대한 내삽이 수행된다.

도면의 간단한 설명

본 발명의 실시예를 도면을 참조로 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 연질 공구를 이용한 폴리싱 장치의 사시도,

도 2는 턴테이블과 Z축 이동장치를 보다 상세히 도시하는 도 1의 폴리싱 장치의 부분도,

도 3은 헤드의 세차운동을 제공하기 위한 아치형 트랙 장치를 도시하고, 도 1의 폴리싱 장치의 부분도,

도 4는 도 1의 폴리싱 장치의 헤드를 관통하는 단면도,

도 5는 헤드의 회전부와 헤드의 고정부 사이의 연결부를 상세히 도시하는 부분 단면도,

도 6은 헤드 내의 스포트 부재의 사시도,

도 7은 작은 공구 헤드가 고정된 변형 공구 몸체의 단면도,

도 8은 고정된 큰 공구 헤드를 도시하는 도 7의 공구 몸체의 다른 도면,

도 9는 공구 헤드로의 연마 컵의 부착을 도시하는 도면,

도 10은 연마 컵의 구조에 사용되는 시트 재료의 도식도,

도 11은 연마 컵에 도 10의 시트 재료와 함께 선택적으로 사용되는 연마 시트 재료의 도식도,

도 12는 연마 컵의 제조시 수행되는 동작을 도시하는 일련의 도식도,

- 도 13은 연마 컵을 제조하는 단계를 도시하는 순서도,
- 도 14a는 연질 공구를 이용한 종래 폴리싱 방법을 개략적으로 도시하는 도면,
- 도 14b는 종래 기술에 따른 연질 공구와 본 발명에 따른 연질 공구의 제거 프로파일을 도시하는 그래프,
- 도 14c는 본 실시예에서 연질 공구를 사용하는 방법을 도시하는 도면,
- 도 15는 본 실시예에서 경사지게 사용된 연질 공구로 공작물로부터 재료를 제거하는 패턴을 도시하는 도식도,
- 도 16은 종래 기술을 이용하여 공작물로부터 재료를 제거하는 패턴을 도시하는 도식도,
- 도 17은 공작물에 대해 가압될 때 연질 공구의 직경을 가로지르는 압력 분포 그래프,
- 도 18은 세차각도(θ)의 헤드의 세차운동을 도시하는 도식도,
- 도 19는 세차운동 각도 계산을 도시하는 도식도,
- 도 20은 구체에 투영된 도 19의 정보를 도시하는 도식도,
- 도 21은 공구의 교차점과 공작물 표면을 도시하는 도식도,
- 도 22는 영향 함수의 단면도,
- 도 23은 공구의 영향 함수의 2차원 지도,
- 도 24는 만곡 렌즈에 투영된 영향 함수를 도시하는 도면,
- 도 25는 도 24의 일부 확대도,
- 도 26은 공작물에 형성된 홈 또는 절제 프로파일을 도시하는 도면,
- 도 27은 작업이 필요한 부분 제조된 렌즈의 프로파일,
- 도 28은 렌즈 폴리싱에 요구되는 체류 시간의 그래프,
- 도 29는 도 28의 체류 시간을 이용한 결과 프로파일의 예측,
- 도 30은 폴리싱 방법을 도시하는 순서도,
- 도 31a 및 도 31b는 공작물 표면에 맵핑된 동적 영향 함수를 도시하는 모식도,
- 도 32는 표면 거칠기를 도시하는 모식도,
- 도 33은 표면 거칠기를 감소하는 폴리싱 가공을 도시하는 모식도이며,
- 도 34는 변형 작업 부재를 도시하는 도면이다.

실시예

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 연질 공구를 사용한 폴리싱 기계의 모식도이다.

폴리싱 기계는 내진성(耐振性)의 견고한 테이블(1)을 구비하고 있다. 이 테이블(1) 위에는 x방향 이동용 X-슬라이드 기구(2)가 장착되어 있다. X-슬라이드 기구(2)에는 y방향 이동용 Y-슬라이드 기구(3)가 장착되어 있다. 이 Y-슬라이드 기구(3)에는 c방향 회전용 턴테이블(4)이 장착되어 있다. 이 턴테이블(4)은 z방향의 턴테이블(4) 이동용 z 이동기구(도시생략)를 통해 Y-슬라이드 기구(3)에 장착되어 있다. 턴테이블(4)은 폴리싱 또는 연마를 위해 공작물(workpiece)(5)이 장착되는 유지면을 구비하고 있다. 이처럼 이들 장치는 제3 구동수단을 구성하고, 폴리싱 헤드(7)에 대하여 4축, 즉 x, y, z 및 c 축으로의 공작물(5)의 이동을 제공한다.

폴리싱 기계는 또한 폴리싱 헤드(7)를 피벗이동시키는 피벗장치가 장착된 백부재(6)를 구비하고 있다. 폴리싱 헤드(7)는 축방향 회전을 위하여 배열되고 공작물(5)을 폴리싱 또는 연마하기 위해 축방향 하단부에 배열되어 모터(50, 51, 52)에 의해 구동되는 작업부재(8)를 포함하고 있다. 이처럼 작업부재(8)의 축방향 회전을 구동하는 모터(50, 51, 52)는 제1 구동수단을 구성하고, 제어를 위한 다른 축, 즉 h 축을 제공한다.

폴리싱 헤드 장착 수단은 백부재(6)에 장착된 피벗기구이며, 제1 피벗기구(700) 및 제2 피벗기구(800)로 구성된다. 제1 피벗기구(700)는 제1 평면에서 작업부재(8)의 피벗 포인트를 중심으로 폴리싱 헤드(7)를 피벗이동시키는 아암에 장착된다. 이 제1 피벗기구(700)는 아암에서 제1 피벗기구(700)의 피벗팅의 평면에 수직한 평면에서 피벗 포인트를 중심으로 폴리싱 헤드(7)를 피벗이동하는 제2 피벗기구(800)에 장착되어 있다. 이처럼 이들 두 개의 직교하는 피벗팅 기구는 제2 구동수단을 구성하고, 제어를 위한 두 개의 추가 축, 즉 a축 및 b축을 제공한다.

폴리싱 기계의 백부재(6)는 또한 디스플레이(10) 및 제어 입력판(11)을 구비한 컴퓨터 제어시스템(9)을 수용하고 있다. 이는 사용자가 공작물(5)과 작업부재(8)의 이동을 제어하기 위한 제어를 입력할 수 있게 하고, 폴리싱 또는 연마 가공에 관한 표시된 정보를 볼 수 있게 한다.

이동 축 각각(x, y, z, c, h, a 및 b)은 각각의 구동기구에 의해 구동되어, 축방향의 구동이동 뿐만 아니라, 폴리싱 또는 연마 공정을 제어하기 위해 컴퓨터 제어시스템(9)에 의해 사용하기 위한 위치 정보를 제공한다. 컴퓨터 제어시스템(9)은 또한, 헤드(7)상에 유지된 작업부재(8)의 회전시 구동기구에 의해 행해진 일, 및 작업부재(8) 내부에 가해진 압력에 대한 두 개의 추가 제어 축을 구비하고 있고, 이에 관해서는 이후 상세히 기술한다. 이처럼, 컴퓨터 제어시스템(9)은 평탄함과 같은 표면 품질 및/또는 소망의 표면 프로파일을 달성하기 위해 턴테이블(4)에 장착된 공작물(5)을 연마 또는 폴리싱하기 위하여 이들 아홉개 축을 제어하는 알고리즘(이에 관해서는 이후 상세히 기술함)을 동작한다. 이 장치는 오목 영역과 볼록 영역 모두를 포함하는 표면 프로파일을 포함하는 모든 소망의 표면 프로파일을 달성하는 데에 사용될 수 있다.

x 및 y 방향으로 공작물을 구동하는 x 및 y 슬라이드 기구의 구조는, 통상적이며, 즉 종래 선형 슬라이드를 포함한다. 따라서, 이들 기구의 구조에 관해서는 상세히 설명할 필요가 없다.

z 및 c 축 구동기구의 구조는 도 2를 참조로 보다 상세히 설명한다.

도 2는 x 슬라이드 기구(2)상에 유지된 관련 기구의 부분 도면이다. y 슬라이드 기구(3)에는 이 y 슬라이드 기구(3) 아래로 연장하는 장착판(12)이 장착되어 있다. 장착판(12)은 z 및 c 축방향으로 턴테이블(4)을 이동하기 위한 장치가 장착되어 있는 개방형 박스 섹션을 구비하고 있다.

장착판(12)의 배면에는 샤프트(16)를 통해 턴테이블(4)에 연결되는 모터(15)를 포함하는 모터 하우징(14)이 장착된 가이드기구(13)가 구비되어 있다. 모터(15)는 c 축방향으로 턴테이블(4)을 회전하기 위해 제공된다.

모터 하우징(14)은 y 슬라이드 기구(3)를 통과하여 z 방향으로 가이드기구(13)상에서 이동가능하게 배열되어 있다. 턴테이블(4)이 y 슬라이드 기구(3)의 상부면에 대하여 z방향으로 이동하기 때문에, 고무 벨로우즈(17)를 구비하여 기구로의 먼지 유입을 차단한다.

모터 하우징(14)은 받침대(20)에 의해 지지된 샤프트(19)를 구동하는 모터(18)에 의해 가이드 기구(13)를 따라 z방향으로 구동된다. 샤프트(19)의 상단부는 모터 하우징(14)에 고정 장착된 나사형성된 슬리브(22)와 협동하는 나사형성된 부분(21)을 갖도록 형성되어 있다. 이처럼 모터(18)에 의한 나사형성된 부분(21)의 회전은 z 방향으로 모터 하우징(14)의 이동을 유발하며, 이는 턴테이블(4)을 z방향으로 이동시킬 것이다.

헤드(7)를 피벗이동하기 위한 기구는 도 3을 참조로 보다 상세히 기술한다.

헤드(7)는 한 쌍의 평행 아치형 부재(23) 상의 상단부에 장착되어 있다. 아치형 부재(23)는 작업부재(8)를 장착하는 헤드(7) 부분의 중앙을 통해 연장하는 축 BX 에 중앙 정렬된 곡률 반경을 갖고 있다. 축 BX 는 작업부재(8)의 곡률반경 중앙에서 헤드(7)를 통해 연장한다.

헤드(7)는 아치형 부재(23) 상의 이(teeth)와 맞물리는 코그(cog, 25)를 구동하는 모터(24)를 포함하고 있다. 이 헤드는 또한 아치형 부재(23)에 헤드(7)의 축 각도를 유지하기 위해 아치형 부재(23)의 일 측면에 작용하는 가이드 휠(26)을 구비하고 있다. 이 배열은, 모터(24)가 방향 b로 헤드(7)의 단부를 구동함에 따라, 헤드(7)가 축 BX 를 중심으로 피벗이동하도록 한다.

모터(24) 부근 헤드(7)의 단부에는 이후 상세히 기술하는 바와 같이 유압을 헤드(7)를 통해 작업부재(8)로 전달하기 위한 유압 파이프(27)가 구비되어 있다. 또한, 헤드(7)에는 방향(h)으로 작업부재(8)를 회전하기 위한 모터가 구비되어 있다. 이에 관해서는 이후 상세히 설명한다.

아치형 부재(23)는 장착판(28)의 아암(7)에 장착되어 있다. 장착판(28)은 수직 평면에서 피벗이동하도록 단부에서 장착되어 있다.

장착판(28)은 단부의 하부에서 피벗관(29)상에 장착되어 있다. 피벗관(29)은 피벗 포인트(30)에 피벗이동가능하게 장착되어 있다. 이 피벗 포인트(30)는 장착판(31)의 하부에 장착되어 있다.

장착판(28)의 단부 상부는 모터관(32)에 장착되어 있다. 이 모터관(32)에는 코그(34)를 구동하기 위한 모터(33)가 장착되어 있다. 장착판(31)은 피벗 포인트(30)에서 곡률반경의 중앙을 갖는 아치형 부재(35)를 구비하고 있다. 이 아치형 부재(35)는 코그(34)와 맞물리는 이(齒)를 구비하여 작업부재(8) 부근 헤드(7) 부분에서 피벗 축(BX)와 교차하는 피벗 축(AX)를 중심으로 아암(7)을 피벗이동하도록 한다. 피벗 축(AX, BX)의 교차 포인트는 작업부재(8)의 곡률반경의 중앙이다. 모터관(32)은 또한 아암(7)의 피벗이동을 가이드하는 가이드 휠(36)을 장착하고 있다.

도 3에서 두 개의 직교 아치형 부재(23, 35)를 구비하는 것은 가상 피벗 포인트를 중심으로 헤드의 피벗이동을 제공한다는 것을 알 수 있다. 이 배열은 가상 피벗 포인트를 중심으로 헤드의 세차운동을 제공한다. 헤드의 세차운동은 단계별로 수행될 수 있고, 경사진 세차운동을 수행함으로써, 즉 원을 통해 헤드의 상부를 회전시킴으로써 수행될 필요는 없다. 대신, 아치형 부재(23)에 장착된 헤드의 상부는 대향된 세차운동 위치에 선형으로 이동할 수 있다. 헤드의 상부의 이동 패턴은 필요한 세차운동의 패턴에 의존한다. 헤드의 세차운동이 아치형 부재(33, 35)를 이용한 헤드의 상부의 상당한 이동을 필요하기 때문에, 바람직한 기계 동작 방법은 하나의 세차운동 위치를 이용하여 공작물 전체(또는 필요한 만큼의 공작물)의 면조정을 수행하는 것이다. 세차운동 위치가 변화될 수 있어 공작물의 면조정이 다시 수행된다. 이는 모든 필요한 증분된 세차운동 위치에 대해 반복될 수 있다.

헤드(7)와 작업부재(8)의 상세한 구조는 도 4 내지 도 6을 참조로 상세히 설명한다.

헤드(7)는 고정부(37)와 회전부(38)를 구비하고 있다. 이 회전부(38)는 작업부재(8)를 유지한다.

헤드(7)의 상부는 모터(24)가 고정되는 블록(39)을 포함하고 있다. 블록(39) 내에서 연장하도록 고정 샤프트(40)가 제공된다. 이 고정 샤프트(40)는 이 단면도의 평면의 세 포인트에서, 그리고 이 단면도에 직교하는 평면에서 등간격으로 이격된 네 포인트에서 장착되는 헤드(41)를 갖고 있다. 헤드(41)의 장착 포인트는 헤드(41)에 의해 경험하는 하중이 측정되도록 한다. 이를 제공하기 위해 세 개의 로드셀(42)(두 개는 이 단면도의 평면에 도시되고 하나는 직교방향으로 놓여 있다)을 구비하고 있다. 로드셀(42)이 예압되어(preloaded) 헤드(41)의 각 장착 포인트에 하나씩, 다섯 개 로드셀에 대한 필요를 제거한다. 헤드(41)는 존재하는 로드셀(42)을 통해, 지지판(43) 위에 각각의 포인트에 장착되어 있다. 이 지지판은 로드셀(42)에 의해 경험되는 임의의 횡방향 장력을 감소하기 위해 두 개의 잘룩한 부분을 포함하고 있다. 지지판(43)의 일 단부는 장착 포인트에서 헤드(41)와 맞물려 있다. 지지판(43)의 타단부는 스프링(46)에 의해 블록(39)에 대해 바이어스되는 컵(45)에 놓이는 스틸 볼(44)에 장착되어 있다. 이와 같이, 고정 샤프트(40)의 헤드(41)는 샤프트(40)에 의해 횡방향 힘과 수직방향 힘이 경험될 때 이동되도록 한다. 샤프트(40)상의 횡방향 하중과 수직방향 하중은 로드셀(42)에 의해 측정할 수 있다. 샤프트(40)상의 횡방향 하중은 작업부재(8)가 공작물(5)의 표면과 맞물릴 때의 마찰력에 의해 경험된다. 수직방향 힘은 공작물에 대한 헤드(7)의 위치와 작업부재(8) 내의 압력에 의존한다.

고정 샤프트(40)의 지지에 강성을 제공하기 위해, 고정 샤프트(40)는 탄성 벨로우즈(47)에 의해 블록(39)에 연결된다. 고정 샤프트(40)는 헤드(7)의 길이를 블록(39)으로부터 헤드(7)의 하단부에서 작업부재(8)에 의해 시일된 유체챔버(48)까지

연장한다. 고정 샤프트(40)는 속이 텅 비어 있고 유체챔버(48)에 유압을 전달하기 위해 유체를 함유하고 있다. 고정 샤프트(40)의 헤드(41) 내에는 유압관(27)에 연결된 2개의 대향하는 입구(하나만 도시)가 마련되어 헤드(7) 외부에서 유체챔버(48) 내부로의 유압 전달을 가능하게 한다.

블록(39) 아래에서, 헤드(7)의 고정부분은 고정자(51) 및 회전자(52)를 둘러싸는 모터 하우징(50)을 포함하고 있다. 고정자(51)는 모터 하우징(50)에 고정된다. 회전자(52)는 모터 하우징(50) 내에서 고정 샤프트(40) 둘레를 회전하는 회전 슬리브(53)에 고정된다. 회전 슬리브(53)는 모터 하우징(50)내의 상부 베어링(54) 및 하부 베어링(55)에 장착된다. 회전 슬리브(53)의 상단에는 회전 속도를 표시하는 신호를 제공하는 위치 인코더(56)가 마련되어 있다.

회전 슬리브(53)의 하단은 모터 하우징(50) 밖으로 뺀어 나와 고정 샤프트(40) 둘레에서 회전부(38)를 구동시킨다.

도 5는 고정부(37)와 회전부(38)간의 경계면을 보다 상세하게 나타낸다.

도 5에서 보다 명확히 알 수 있듯이, 하부 베어링(55)은 회전 슬리브(53) 하부의 외부 나사산과 맞물리는 내부 나사산을 가지는 베어링 링(57)에 의해 제자리에 유지된다. 회전 슬리브(53)의 하부는 스포크부재(58)를 유지한다. 스포크부재(58)는, 도 6에 보다 상세히 나타낸 바와 같이, 회전 슬리브(53) 하부와 맞물리는 내부 환형 링(58b)을 가지며 이것은 로킹 링(59)에 의해 제자리에 유지된다. 스포크부재(58)는 내부 환형 링(58b)에서 외부 환형 링(58c)으로 연장하는 스포크(58a)를 포함한다. 외부 환형 링(58c)은 회전부(38)와 맞물려 회전 구동시킨다. 스포크부재(58)의 용도는 회전 슬리브(53)와 회전부(38)간의 회전 결합을 제공하면서 회전부(38)에 의한 병진 및 수직력이 고정 샤프트(40)을 따라 전달되어 로드셀(42)에 의해 검출되도록 하는 것이다.

회전부(38)는 고정 샤프트(40) 상에서 베어링(61)에 의해 회전가능하게 유지되는 하우징(60)을 구비한다. 베어링(61)은 상부 로킹 링(62)과 하부 로킹 링(63) 사이에 유지된다. 하우징(60)과 작동하여 스포크부재(58)의 외부 환형 링(58c)을 클램프하도록 상판(64)이 마련된다. 상판(64)은 또한 하부 영역에 홀(66)이 각각 마련된 2개의 동심 슬리브(65)로 이루어진 먼지 진입 방지 배치의 설비가 있다. 슬리브(65)는 모터 하우징(50)의 하부에 마련된 환형 오목부까지 뺀어있다. 이러한 배치는 베어링(55, 61)으로의 먼지 진입에 대한 긴 경로 길이를 제공한다. 이전에 슬리브(65)에 들어온 먼지는 원심력에 의해 홀(66)로 나오기 쉬워진다.

하우징(60) 내에는 하우징(60)과 고정 샤프트(40)간에 시일을 제공하는 유체 시일(67)이 마련된다.

박막(69)이 장착되는 공구 하우징(68)은 하우징(60)에 고정된다. 박막(69)은 그 외주에서 공구 하우징(68)에 유지되는 구형이다. 박막(69)의 외주는 공구 하우징(68)의 원통형 오목부에 꼭 맞는 원통부를 포함한다. 공구 하우징(68)의 내면에 대해 박막(69)을 클램프하는 클램프 링(70)이 마련된다. 공구 하우징(68) 및 박막(69)은 함께 고정 샤프트(40)내의 통로와 연통하는 유체챔버(48)를 형성하여 유압이 유압관(27)을 통해 유체챔버(48)로 전달되게 한다. 유체챔버(48)내의 압력 제어는 탄성 작업부재(8)의 강성을 조절한다. 유체챔버(48)내의 유압은 기계의 폴리싱 또는 연마 작업 중에 조절되는 파라미터이다.

하우징(60)은 유체 유출로(71)를 마련하여 유체챔버 내의 공기 유출을 허용한다. 유체챔버는 수중유 에멀전 또는 글리콜 등의 비압축성 유체로 채워진다.

박막(69) 위에는 제거 연마 컵(101)이 마련되어 공작물을 폴리싱 또는 연마하는 작업면을 가진 작업부재(8)를 제공한다. 이것에 대해서는 도 9를 참조하여 뒤에 보다 상세히 설명한다.

이와 같이 도 4 내지 도 6으로부터, 이러한 배치가 유체챔버(48)내의 압력 제어를 제공할 뿐만 아니라, 작업 면에 대하여 회전할 때 작업부재(8)에 의한 병진 및 수직력의 측정을 가능하게 한다는 것을 알 수 있다.

도 4 내지 도 6에서 설명한 본 발명의 실시예에서는, 유체 시일이 파괴되기 때문에 작업부재(8)의 교체가 쉽지 않다.

도 7 및 도 8은, 하우징(60), 공구 하우징(68) 및 박막(69)이 다른 장치로 대체된 또 다른 실시예를 나타낸다. 본 발명의 이 실시예에서 하우징(80)은 공구 하우징의 교체를 가능하게 한다. 도 7에서 공구 하우징(81)은 소형 박막(82)을 수용한다. 도 8에서 공구 하우징(83)은 대형 박막(84)을 갖는다.

하우징(80)에는 나사형성된 축방향 오목부(85)가 마련되어 공구 하우징(81 또는 83)의 나사부(86a 또는 86b)를 수용한다. 하우징(80)은 오목부(85)내에 소형 유체챔버(88)에 걸쳐 연장하고 클램프 링(89)에 의해 제자리에 유지되는 압력 전달 박막(87)을 구비한다. 하우징(80)은 또한 챔버(88) 외부로 공기를 유출하는 유출부(90)를 구비한다.

따라서, 고정 샤프트(40)의 공동으로 전달된 유체 압력은 압력 전달 박막(87)에 압력을 전달하는 유체챔버(88)로 전달된다.

공구 하우징(81 또는 83)은, 클램프 링(92)에 의해 제자리에 수용된 압력 전달 박막(91)을 포함하는 서로 비슷한 대향하는 압력 전달 장치를 구비한다. 압력 전달 박막은 서로 접촉하게 배치되어, 유압이 박막으로 전달되게 하는 동시에 하우징(80) 및 공구 하우징(81 또는 83)이 유체 시일의 파괴 없이 분리되게 한다.

공구 하우징(81, 83)내에서, 각각의 박막(82, 84)은 각 유체챔버(93, 94)를 형성한다. 도 4에 나타난 이전 실시예에 관해서는, 박막(82, 84)이 각 공구 하우징(81, 83)의 오목부에 꼭 맞는 슬리브를 형성하는 외주를 갖는다. 각각의 박막(82, 84)은 각각의 클램프 링(95, 96)에 의해 제자리에 수용된다.

각각의 박막(82 또는 84)에 인접한 공구 하우징(81, 83)의 외부 영역은 박막(82, 84)과 떨어진 약간의 테이퍼(2°)를 가지는 원통형 표면(97, 98)으로 형성된다. 형성된 테이퍼면(97, 98)은 보다 상세히 후술하는 바와 같이 연마 컵을 수용하기 위한 것이다.

도면에서 알 수 있는 바와 같이, 박막(82, 84)은 공작물의 표면에 접촉하게 될 때 변형될 수 있는 박막으로 이루어진다. 이는 공작물의 표면에 맞을 수 있다. 박막(82 또는 84)과 공작물의 표면과의 접촉 영역은 공구 하우징(81 또는 83)이 공작물의 표면에 얼마나 근접하는가에 달려있다. 즉, 공구 하우징(81 또는 83)이 공작물의 표면에 가까워짐에 따라 박막(82 또는 84)이 압축되기 때문에 박막(82 또는 84)과 공작물의 표면과의 접촉 영역이 더 커지게 된다.

박막(82 또는 84)의 외주면이 공구 하우징(81 또는 83)의 안쪽 면에 클램프 되도록 내부에서 클램프 되기 때문에, 그 외부 치수는 클램프시 사용한 힘의 정도에 따라 변하지 않게 된다. 이것은 박막(82 또는 84)의 대체성을 고려할 때 작업 부재의 크기의 균일성을 확보한다.

교환 가능한 공구 헤드를 조립할 때, 유체챔버(93, 94)는 공구 헤드가 유체에 잠긴 상태로 조립함으로써 유체로 채워질 수 있고, 즉 공구가 유체에 잠길 때 압력 전달 박막(91)이 클램프될 수 있다.

박막(82, 84)의 곡률 반경은 박막이 공구 하우징(81 또는 83) 내에서 꼭 맞춰지는 구멍의 반경보다 크다. 이런 식으로 박막은 반구형 부분이 아닌 아치형 부분을 구성한다. 따라서, 박막(82, 84)의 부푼 부분의 전체 곡률은 크지 않다. 이것은 연마 시트 재료를 박막(82 또는 84)에 적용할 경우 중요하다.

다음에, 도 9를 참조하여 연마 컵을 공구 헤드에 맞추는 것에 대해 설명한다.

공구 헤드는 박막(100) 및 이 박막(100)으로부터 멀어지게 테이퍼 형성된 테이퍼진 원통형 표면(99)으로 이루어져 연마 컵(101)을 수용한다. 연마 컵(101)은 그 상단으로 절단된 슬릿(103)을 가진 원통형 슬리브(102)로 이루어진다. 슬리브(102)의 하단에서 작업재료(104)는 슬리브(102) 위에 배치되어 클램프(105)에 의해 슬리브 둘레로 클램프된다. 작업재료(104)는 또한 슬리브에서 분리되지 않도록 접촉체에 의해 고정된다.

연마 컵은 공구 헤드의 테이퍼된 원통형 표면(99)에 꼭 맞도록 배치된다. 클램프(106)로 슬리브(102)의 상부를 클램핑함으로써, 슬리브(102)가 수축되어 테이퍼된 원통형 표면(99)을 못 움직이게 할 수 있다. 이런 식으로 작업재료(104)가 박막(100) 위에 배치된다. 원통형 표면(99)은 테이퍼되어 있기 때문에 연마 또는 폴리싱 중에 느슨하게 작업할 수 없다. 이것은, 폴리싱 또는 연마 중에 링이 느슨해지면 공작물에 심각한 손상이 가해질 수 있기 때문에 중요하다.

작업 재료로는 연마 슬러리가 사용되는 종래의 폴리싱 직물 재료도 가능하다. 또는, 작업 재료는 연마 재료가 그 위에 부착되거나 그 안에 함침되어 폴리싱 시에 추가적인 연마 재료, 예를 들어 폴리싱 페이스트가 필요 없는 시트로 이루어질 수 있다. 이 후자의 실시예에서는, 공작물 및 공구를 냉각시키는 유체를 사용하고, 폴리싱 공정을 원활하며, 연마 입자를 폴리싱 영역에서 제거하는 것만이 필요하다. 부착될 연마 재료를 주의 깊게 선택하여 폴리싱 공정의 예측성을 높일 수 있다.

시트에 함침되는 공구에 부착되는 연마 재료의 선택은 적용분야에 따라 다르다. 예를 들어, 유리 폴리싱 시에 가장 우수한 광학적 마무리를 달성하는데 다이아몬드는 통상 적합하지 않고, 보통 산화세륨이나 산화알루미늄 등의 재료가 마무리에 사용된다. 그라인딩 또는 연마를 위해, 직물 또는 플라스틱 베이스의 니켈 부착된 다이아몬드 팔레트를 사용할 수 있고, 반면 유리 이외의 재료 및 유리의 최초 폴리싱을 위해 에폭시 부착 다이아몬드 시트를 에폭시-다이아몬드 팔레트의 형태로 사용할 수 있다. 부착된 연마 재료는 비드로서 시트에 적용되어 이와 같이 그 사이 공간에 집중된 폴리싱 영역을 제공할 수도 있다. 이것은 연마된 재료가 부착된 연마 재료의 비드 사이를 통과하도록 하여 연마된 재료의 제거를 돕고 필요한 탄성을 제공할 수 있게 한다.

보다 연질의 연마 재료가 필요한 경우에는, 폴리싱 작업에 사용할 수 있도록 충분한 속도로 떨어져나가 새로운 연마 재료를 노출하도록 설계된 접합재 상에 설치될 수 있다. 매트릭스 재료에 침식 촉진제가 부가되어 연마 재료를 접합하는데 함께 사용되어 매트릭스 접합 재료가 충분한 속도로 침식되어 연마 재료가 노출되도록 할 수 있다(B.E. Gillman et al entitled "Bound-Abrasive Polishers for Optical Glass" in Applied Optics Vol. 137 No. 16, 1988 pages 3498 to 3505).

양호한 폴리싱 공정을 위해서 고체 윤활 입자가 연마 재료 뿐만 아니라 매트릭스에 제공된다. 이것은 매트릭스 재료와 유리 사이의 마찰을 감소시키며 연마 작용의 윤활을 안정시킨다. 이러한 윤활 입자는 예를 들면 활석 입자(마그네슘 실리케이트)를 포함할 수 있다. 이러한 윤활제가 사용되면, 예를 들면 유리와 같은 공작물과 매트릭스 사이의 마찰이 감소되므로 매트릭스는 고무를 포함할 수 있다.

작업재료(104)(이하, "시트(104)"로 지칭됨)는 막(100)이 폴리싱 동안 치환될 때 구부러지기에 충분히 유연해야 한다. 시트(104)가 막(100)에서 분리되므로, 변형 없이, 예를 들면 주름(creasing) 없이 폴리싱 공정을 견디내기 위해서 양호한 비틀림 강도를 가져야 한다. 통상의 폴리싱 처리시, 3 킬로그램의 드래그(drag)가 폴리싱 시트(100)에 의해 경험될 수 있다.

시트(104)가 막(100) 보다 큰 곡률 반경을 가지므로, 폴리싱시, 막(100)이 부재의 압력에 의해 변형될 때, 시트(100)와 막(100)과의 사이에 횡방향 이동이 필요하게 될 것이다. 따라서 시트(104)의 내면 및/또는 막(100) 표면이 이를 제공해야 한다. 이것은 연마 컵(101)이 공구 헤드 유닛에 고정될 때 막(100)과 시트(104) 사이에 재료를 적용함으로써 제공될 수 있다. 예를 들면, 윤활제가 시트(104)와 막(100)과의 사이에 놓여질 수 있다. 그러나 이러한 윤활제의 사용은 시트(104)가 막(100)으로부터 비틀림 지지를 얻을 수 없어 그 위를 간단히 슬라이드하게 될 것을 의미한다. 대신에, 횡방향 이동을 허용하나 막(100)과 시트(104) 사이의 접촉성을 제공하는 비경화 또는 비고정 접촉제가 사용될 수 있다. 비고정 접촉제의 특성 때문에, 공구 헤드 유닛으로부터 연마 컵을 쉽게 제거할 수도 있다. 이것은 연마제가 막(100)에 직접 부착되거나 또는 슬러리가 사용되면 필요하게 되는 공구 헤드를 재생할 필요성을 제거한다. 또한, 연마제는 마모되므로 주기적으로 교환할 필요가 있다. 또한, 상이한 폴리싱 단계에서 상이한 등급의 연마제가 필요하므로 상이한 연마 컵이 쉽게 교환될 수 있다.

시트(104)는 도 10에 도시된 바와 같은 형태로 잘려진 기관 시트 재료로부터 형성될 수 있다. 시트 내에서 구멍이 잘려져 막(100) 위에 놓여지는데 필요한 곡면 형상으로 변형되도록 한다. 사용된 시트 재료는 연마 슬러리가 가해질 수 있는 폴리싱 직물 재료가거나, 또는 시트가 거기에 연마 재료가 결합된 시트 중 어느 하나 일 수 있다. 도 10에 도시된 시크를 단지 작업 재료에 탑재될 수 있는 기관으로서도 사용할 수 있다. 도 11은 시트(104)로 잘려져 형성될 수 있는 이러한 한 한편의 형상을 도시한다. 재삼 재료는 종래의 폴리싱 슬러리가 사용될 수 있는 종래의 폴리싱 직물을 포함 할 수 있거나, 또는 결합된 연마제를 갖거나 또는 시트에 함침된 시트 재료로 형성될 수 있다.

연마 컵을 형성하는 방법이 도 12 및 도 13을 참조하여 설명된다. 제1 단계(S1)에서 슬리브(109)는 볼록 단부를 갖는 원통형 형성자(cylindrical former, 111) 주위에 배열된다. 폴리싱 재료(110)의 시트가 형성자(111)의 볼록 단부위에 배열된다. 단계 S2에서 폴리싱 재료(110)의 시트의 가장자리는 슬리브(109)의 바깥면에 부착되어 클램프(112)를 사용하여 제자리에 고정된다. 그 다음에 단계 S3에서 폴리싱 재료(110)의 시트는 형성자(111)의 볼록면과 형성자(113)의 오목면 사이에서 가압된다. 이렇게 폴리싱 재료(110)의 시트에 필요한 볼록 형상이 달성된다. 그 다음에 단계 S4에서 두개의 형성자(111 및 113)이 빼내어져 연마 컵의 제거를 허용한다.

연마 컵은 그라인딩 또는 폴리싱에 사용될 수 있다. 또한, 연마 컵은 중간 공정 연성 모드 연마에 사용될 수 있다. 이 모드에서 공작물의 표면은 파인 스와프(fine swarf)의 형태의 바운드 연마 입자의 절단 작용에 의해 제거된다. 이것은 파괴 모드 연마에서 생성된 칩과 다르다. 연성 모드 연마는 적은 표면 아래의 손상을 가지는 양호한 마무리를 제공한다. 이 모드는 주어진 연마제에 대한 압력 및 속도의 선택에 의해 달성된다.

헤드 조립체가 공작물의 표면의 법선으로부터 경사지게 멀어지는 헤드 유닛(8)을 제공하도록 제어되는 폴리싱 기구의 동작이 이후 설명된다.

도 14a는 공작물(5)에 대한 작업 부재 유닛(8)의 적용을 도시한다. 연마 재료(110)로 형성된 연마 컵은 공작물(5)의 표면에 따른다. 도 14b의 점선은 공작물(5)의 수직에 기초하여 그 축에 대해 회전되는 작업 부재(8)를 사용하여 얻어진 제거 프로파일을 설명한다. 도 15는 공작물(5)에 대한 작업 부재(8)의 폴리싱 작용을 도시한다. 접촉 영역의 중심에서 0의 회전이 기 때문에 중심에서의 제거율이 0인 것을 알 수 있다. 이 제거 프로파일은 이러한 제거 프로파일을 사용하여 공작물에 걸쳐 원하는 프로파일을 달성하기 어려우므로 문제다. 따라서 발명자는 공작물(5)에 대한 법선에 θ 의 각도로 작업 부재(8)를 기울여 세차운동된 위치로 이동시킴으로써, 도 14b에 점선으로 도시된 제거 프로파일을 얻을 수 있는 것을 실현하였다. 변화없는 영역이 어디에도 없기 때문에, 즉, 막(100)의 회전의 중심이 공작물의 표면에 위치하고 있지 않기 때문에, 0의 제거 영역이 없다. 따라서 이 제거 프로파일은 바람직한 가우스 프로파일이다.

도 17은 본 실시예의 연결 공구에 의해 제공된 공작물에 걸친 압력 분포를 도시한다. 압력에 있어서 급격한 불연속이 없다는 것을 볼 수 있다. 그것은 공구의 연결의 본질 때문에 대부분의 접촉 영역에 걸쳐 균일하게 제공되며 가장자리에서 서서히 감소한다.

도 14b에서는 공작물에 대한 법선으로부터 멀어지게 공구의 회전 축을 기울여 세차운동 시키는 것이 보다 나은 제거 프로파일을 제공하는 것을 볼 수 있다. 제거의 방법은 도 16에 도시한 바와 같은 세차운동 없는 연마작용을 포함하고, 이 때문에 마찰 벨트의 작용과 같은 방식으로 부재에 스크래치 또는 흠이 형성된다. 이와 같은 스크래치 또는 흠이 잔류할 가능성을 피하기 위해서, 폴리싱 기계에 의해 수행된 폴리싱 작용은 표면에 대한 법선에 경사지게 작업 부재(8)를 기울임에 의해 단지 폴리싱하는 것 뿐 아니라, 법선 주위로 세차운동 경사로 부재를 폴리싱하는 것을 포함한다. 이것은 도 18에 도시되어 있다. N은 공작물(W)에 대한 법선 방향을 나타내고, P는 폴리싱 방향, 즉, 작업 부재의 회전 방향을 나타낸다. 따라서 작업 부재(8)는 법선(N)에 대해 각도(θ)로 폴리싱 방향 주위로 회전하나 폴리싱 방향(P) 또한 법선(N) 주위를 회전 또는 세차운동한다. 이것의 결과는 세차운동 주위의 각 위치에서 도 15에 도시된 폴리싱 작용이 세차운동 각도에 따른 회전 각도로 수행된다는 것이다. 따라서 벡터 P가 법선(N) 주위로 이동될 때마다 도 15에 도시된 각 폴리싱 효과는 그 각도에 의해 회전된다. 따라서 전체 세차운동이 발생하면, 도 15의 패턴이 모든 회전각에 적용되어 진다. 이것은 폴리싱의 패턴을 평균화하는 것에 영향을 미쳐 폴리싱 패턴에 의해 야기되는 결함 등을 감소시킨다.

폴리싱되는 공작물은 일반적으로 편평하지 않기 때문에, 도 18의 도면은 너무 단순화하였다.

도 19는 공작물 표면에 대한 법선이 폴리싱되는 공작물의 위치에 따라 연속적으로 변화하는 실제적인 위치를 도시한다. 물론, z 축으로 정의되는 공작물에 대한 수직선(V)은 일정하다. 따라서 폴리싱 각(θ_2)는 세차운동 각(ρ) 더하기 법선(N)의 수직선(V)에 대한 각(θ_1)을 합산한 것이다. 도 19에서 모든 각이 단일 평면으로 도시되었지만, 이들 각은 3차원 각이다.

도 20은 구에 투영된 동일한 정보를 도시한다. V, N 및 P는 도 19와 동일한 의미를 가진다. 이 도면은 공간에서 이들 3방향을 나타낸다. 세차운동할 때, 각(γ)는 변화하고 각(ρ)는 일정하다. 각(α 및 β)은 피벗 기구를 제어하기 위해서 변위(a 및 b)로부터 연산되는 피벗 기구에서의 2개의 구동되는 각이다.

임의의 지점에서의 공작물 표면의 경사는 이후 주어진 ϕ_1 및 θ_1 로 자세히 설명되는 바와 같이 연산될 것이다. 특별한 작업용 폴리싱 루틴은 주어진 데이터로서 ρ 및 γ 를 가진다(동작시 변화한다). 구동각(α 및 β)을 찾기 위해서, 먼저 θ_2 및 ϕ_2 를 찾을 필요가 있다.

$$\cos \theta_2 = \cos \rho \cdot \cos \theta_1 + \sin \rho \cdot \sin \theta_1 \cdot \cos \gamma \quad (1)$$

$$\sin(\phi_1 - \phi_2) = \sin \rho - \sin \gamma / \sin \theta_2 \quad (2)$$

$$\cos(\phi_1 - \phi_2) = (\cos(\rho) - \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_1)) /$$

$$\sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \quad (3)$$

식 2 및 식 3의 사용은 $(\phi_1 - \phi_2)$ 에 대한 해를 올바른 각 사분원에 놓여지게 한다.

θ_2 및 ϕ_2 를 갖고 우리는 김벌 구동각(gimbal drive angle, α 및 β)을 찾을 수 있다:

$$\alpha = \tan^{-1}(\cos\phi_2 \cdot \tan\theta_2) \quad (4)$$

$$\beta = \tan^{-1}(\sin\phi_2 \cdot \sin\theta_2) \quad (5)$$

각(α 및 β)의 분명한 신호는 피벗의 구동 시스템에 따라 것이고 검사에 의해 설정될 필요가 있다.

식 2에서 발생할 0으로 나누기를 다룰 일반적인 연산의 예방조치가 필요하다.

공작물의 경사면의 결정은 부재의 위치 및 표면 형태에 따른다.

광학에서 중요한 하나의 특정 형태는 "평탄한 비구면"이다. "평탄한 비구면"은 바로 중심에서의 구의 부분의 표면에 대하여 사용되나, 구형 곡면보다 높은 또는 낮은 가장자리를 가진다. 이와 같은 형상은 오목 또는 볼록일 수 있다.

x, y 및 z 축에서, z가 턴테이블의 평면으로부터 위쪽으로 이동함에 따라 양으로 증가하는 높이이면, 유리 공작물 상의 양의 z는 보다 유리에 항상 대응할 것이다. 따라서 x 및 y는 턴테이블의 평면에 수평하게 턴테이블의 축상의 중앙에 위치된다. 따라서 x, y 및 z는 오른손 축이다. 평탄한 비구면에 대한 공식은 x 및 y의 함수로서 높이 z 이다:

$$z = c \cdot r^2 / (1 + A) + a_2 \cdot r^2 + a_4 \cdot r^4 + a_6 \cdot r^6 + a_8 \cdot r^8 + \dots$$

$$\text{여기서 } r^2 = x^2 + y^2 \quad (6)$$

$$A = \sqrt{1 - (k + 1) c^2 r^2},$$

c, k, a^2 , a^4 , 등이 특정 공작물상에 요구되는 표면을 나타내는 상수이다. c는 중심 구면의 곡면 반지름의 역수이다. k는 코닉(conic) 상수라 하고, 이것은 이 식에 의해 나타내어 진다. 모든 상수가 0 이면, 표면은 편평하고, 단지 c가 0 이 아니면 표면은 구형이다. 각종 k 값이 회전 포물면, 타원면 및 쌍곡선면을 나타내기 위해 사용된다.

공구의 접촉점에서의 곡면의 경사 또는 기울기를 결정하기 위해서, 식(6)이 미분된다. 이것은 반경방향으로 요구되는 표면의 기울기를 제공한다:

$$dz/dr = c \cdot r / A + 2a_2 \cdot r + 4a_4 \cdot r^3 + 6a_6 \cdot r^5 + 8a_8 \cdot r^7 \dots \quad (7)$$

따라서 법선 N을 나타내는 각은

$$\phi_1 = \text{angle VP} = -\tan^{-1} dz/dr \quad (8)$$

접촉점에서의 경사각은 다음과 같이 주어진다:

$$\phi_1 = \tan^{-1} y/x \quad (9)$$

여기서 x, y는 접촉점이다. 이들 표면 법선의 각은 축대칭 렌즈에 대한 것이다. 비대칭 렌즈에 대하여는 그 표면 식이 θ_1 및 ϕ_1 을 찾기 위해서 대체되어야 한다.

각(θ_1 및 ϕ_1)은 식 1 및 식 2에서 연산되고 사용되어 렌즈에 대한 피벗 구동 각을 제공한다.

지금까지는 피벗 장치의 피벗 지점이 공작물의 표면 상의 접촉점의 중심이 아니라는 사실을 고려하지 않았다. 그것은 막의 곡면의 중심 또는 그 근처고 따라서 공작물의 표면으로부터 피벗 지점의 변위에 대해 보상하지 않으면 피벗 장치가 각(θ_1 및 ϕ_1)으로 회전될 때, 헤드 유닛은 x, y 및 z 방향으로 움직일 것이다. 따라서 본 발명의 본 실시예에서는 각(θ_1 및 ϕ_1)의 회전에 의해 생성된 x, y 및 z 좌표에서의 이동을 보상을함으로써 이 문제를 피한다. 보상은 이후 주어지는 식을 사용하는 실시간 연산의 형태로 발생하거나, 또는 연산이 미리 각(θ_1 및 ϕ_1)에 대해 수행될 수 있고 검색 테이블에 기억된다.

접촉 지점의 중심의 위치를 연산할 때 고려되어야 하는 다른 점은 연질 공구의 압축성이다.

피벗의 중심 지점은 공구가 압축되지 않을 때 공구 폴리싱 면의 중심로부터 거리(D)이다. 공구는 부재의 표면에 대해 법선인 방향에서 측정된 거리(d)에 의해 압축된다.

좌표 x, y 및 z는 압축 후의 공구 접촉 위치의 중심을 찾고 공구, 즉, 작업되어지는 영역의 중심을 기울인다.

θ_1 , ϕ_1 , θ_2 및 ϕ_2 는 표면 노멀 및 공구 스펀의 각이다.

x, y 및 z는 피벗기구의 중심을 나타낸다.

D는 피벗의 중심로부터 비압축된 공구 팁까지의 거리이다.

d는 공구 표면이 압축되는 양, 예를 들면 0.3 mm이다.

T는 구형 공구 팁의 곡률 반경 예를 들면 도 20에 도시된 바와 같은 30 mm이다.

피벗 기구의 중심을 나타내는 식은 다음과 같다:

$$X = x + (T - d) \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos\phi_1 + (D - T) \cdot \sin\theta_2 \cdot \cos\phi_2 \quad (10)$$

$$Y = y + (T - d) \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\phi_1 + (D - T) \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\phi_2 \quad (11)$$

$$Z = z + (T - d) \cdot \cos\theta_1 + (D - T) \cdot \cos\theta_2 \quad (12)$$

따라서, 상기 주어진 식을 이용하여, 세차운동에 의해 야기된 작업 부재(8)의 이동이 올바르게 될 수 있다.

상기 기술된 바와 같이, 상기 세차운동 때문에, 공구에 의해 경사지게 수행된 비-축대칭 제거(ablation)는 실질적으로 세차운동에 의한 축대칭 제거 패턴으로 평균화되었다.

세차운동 작업은 각 폴리싱 위치에서 실시될 수 있고, 작업 부재(8)는 공작물의 법선 주위로 적어도 360°로 세차운동되도록 배열된다. 그러나, 더 효과적인 방법은 어느 하나의 세차운동 각도를 사용하여 공구의 필요한 영역을 커버하고, 상기 세차운동 각도를 증분시켜 상기 영역을 다시 폴리싱하는 것이다. 이는 동일한 효과를 갖고 있으나, 필요한 피벗장치 이동의 정도를 감소시키고, 폴리싱 과정을 신속하게 진행한다. 요구되는 영역은 공구의 적용 및 공작물을 운반하는 턴테이블의 회전에 의해 발생하는 동심형 고리일 수 있다.

이 실시형태에서, 법선 주위의 세차운동 각도의 증분은 세차운동 각도의 대칭 분포를 제공하기 위해 360°를 정수로 나눈 값에서 선택된다.

종래 기술에서 실행된 공작물의 표면에 법선인 축으로 회전시키는 대신에 연질 공구의 세차운동을 사용하는 잇점은 공구가 자기-가습성이라는 점이다. 비-축대칭 제거 패턴 때문에, 예컨대, 연마 재료 또는 연마 슬러리를 가습하기 위해 사용된 물과 같은 유체가 횡방향 이동에 의해 공구 아래로 끌려간다. 대조적으로, 종래의 회전 공구를 사용하는 경우, 그 아래의 상기 폴리싱 재료는 규칙적으로 외부로 분출되는 경향이 있다.

컴퓨터 제어시스템(9)에 의한 폴리싱 장치의 제어는 하기에 더욱 상세히 기술될 것이다.

상기 컴퓨터 제어시스템(9)은 x , y 및 z 축 이동, a 및 b 축, 헤드(7)의 회전 h , 턴테이블의 속도 c , 작업 부재(8)를 회전시키는 전동력 및 공구 내의 유압을 제어한다. 또한, 슬러리 또는 윤활/냉각 유체 공급을 제어하는 것이 가능하다. 이들 변수는 공작물에 대한 공구의 연마에 의해 진행된 기계적 일(watt)의 속도를 소정의 수준으로 유지하기 위해 제어될 수 있다. 작업의 속도는 모터 속력 및 전류(이는 기본 방법으로 모니터링될 수 있다.)로부터 계산될 수 있고, 모터의 제작에 의해 제공된 데이터를 사용하여, 작업 속도의 이 제어가 재료 제거 속도의 정확한 제어를 가능하게 한다.

이 실시형태에서, 상기 컴퓨터는 x , y 및 z , a 와 b 좌표에 대한 피드백을 수용하지 않는다. 이들은 데드 레코닝(dead reckoning)에 기초를 둔다. 이 공구 회전 속도는 측정되고, 상기 모터에 의해 진행된 작업이 감지된다. 턴테이블 속도는 또한 제어될 수 있다. 공구에 대한 수직 및 측면 로드는 상기 로드셀(42)에 의해 측정된다.

컴퓨터 제어시스템(9) 내의 프로그램은 상기 소망의 표면 형상을 입력으로 수용하도록 알고리즘을 동작한다. 또한, 상기 공작물(5)의 현재 표면 형상은 측정에 의해 얻어지므로 형상 오차가 측정되고, 즉, 표면을 따라 제거되는 재료 양이 결정된다. 또한, 영향 함수, 즉, 연질 공구의 제거 속도 패턴(이는 세차운동에 의해 수정되므로)이 결정되고, 폴리싱의 패턴을 결정하는데 사용된다.

사용되는 연마제의 형태는 제거되는 재료의 양 및 형태에 따라 선택된다. 이는 공작물에 가해지는 압력을 결정할 것이다. 요구되는 형상 오차 및 압력에 대한 정보를 사용하여, 표면 위의 연질 공구에 대한 접촉 영역이 결정될 수 있다. 이는 물론 형상 오차 패턴에 따라 다양해 질 수 있다. 영향 함수를 사용하여, 현재의 공작물 형상으로부터 목표 형상으로 이동하기 위하여 제거의 패턴이 추정될 수 있다. 통상적으로, 상기 알고리즘은 오버슈팅, 즉 너무 많은 재료의 제거를 피하기 위하여 상기 목표물의 80%에 도달하도록 할 것이다. 그러나, 상기 과정은 목표 형상을 얻기 위해 반복될 것이다.

제어될 수 있는 변수들은 체류 시간, 접촉 영역, 헤드 회전 속도, 공작물 회전 속도, 공작물상의 압력, 공작물상의 힘 및 유체 압력이다.

목표 표면을 얻기 위해 필요한 체류 시간의 계산은 수치 최적화 공정으로 실시된다. 체류 시간이 공작물의 표면상의 비교적 적절한 특성들에 관한 공구의 위치와 관련해 계산된다. 체류 시간이 길수록, 더 적절한 특성이 감소된다. 수치 최적화의 목적은 상기 공정 후, 남아있는 "자승의 합" 높이를 최소화하는 것이다.

주어진 공구는 주어진 압축률 및 속도로 작동하고, 주어진 세차운동 사이클을 통하여, 국부 "영향 함수" 즉, 공구의 특징인 국부 영역의 공작물 제거 및 그것의 사용시 변수를 제공한다. 이 영향 함수는 실험적으로 측정된다. 그러한 기능의 단면이 중심으로부터 가장자리까지 도 22에 도시된다. 이는 고정된 위치에서 가능한 부재 제거의 깊이를 초당으로 나타낸다. 이는 또한, 맵으로 표현될 수 있고, 도 23에 도시된다. 일반적으로 x , y 축 평면에 대해 기울어진 광학적 표면의 중심에서 벗어난 부분에 대하여, 상기 영향 함수는 도 24에 도시된 바와 같이 그 평면에 돌출에서 약간 앞으로 쭉여지는 것으로 보인다. 상기 윤곽 영역이 도 25에 확대된다.

도 22를 참고하여, 반경방향 면수정 패턴에 대하여는, 공작물이 턴테이블상에서 회전됨에 따라, 상기 국부 영향 함수가 도출되어 홈으로 된다. 공작물 상의 상이한 반경에 대하여 일련의 홈이 가능하고, 상기 홈의 단면도는 초당 깊이의 단위로 다시 도 26에 도시된다. 중심에 더 집중, 즉 헤드에 의해 추적되는 주변부가 보다 길어지는 대신에 공작물의 전체에 걸쳐 효율적인 제거가 분포됨에 따라 공작물의 외부 부분이 적게 제거된다. 실제의 공작물(유리) 제거는, 공구가 프로파일에서 작용하는 시간(체류 시간)과 곱해진 프로파일 중의 하나의 형상에 의해 주어진다. 각 홈에서의 체류 시간을 선택함으로써, 렌즈의 반경을 따라 측정된 유리 제거에 대한 다양한 전체적 형상이 얻어질 수 있다. 예컨대, 작업을 요구하는 부분 제조된 렌즈 표면의 프로파일이 도 27에 도시된다. 이는 환형으로 용기된 영역을 구성하는 형상 오차 결점을 갖는 반면, 상기 렌즈의 중심 및 가장자리는 거의 필요한 높이이다. 최적화를 위한 기본적인 최소 자승 알고리즘을 사용하여, 렌즈의 각 반경을 위해 필요한 체류 시간이 환형의 용기된 영역을 제거하기 위해 계산된다. 이는 도 28에 도시된다. 각 홈 프로파일을 이에 상응하는 체류 시간으로 곱하고 계산된 영향을 도 27에 도시된 프로파일에 추가함으로써, 결과 프로파일에 대한 예측이 도 29에 도시된 바와 같이 얻어진다. 고려된 표면의 표면적은 효과적으로 평평해지고, 이는 상기 계산의 정확함을 증명한다.

요구되는 체류 시간의 계산에서, 기어의 느슨함, 기계적 슬라이드에서 부정확성 또는 습도 또는 온도 등의 일반적인 작업 조건에서의 변화 등의 유리 제거 공정에서 오차를 보정하기 위해 피드백 공정이 사용될 수 있다. 피드백 공정은 그라인딩 또는 폴리싱 작업 후 실제의 유리 제거의 분석을 요구한다. 상기 분석의 결과는 유리 제거에 대한 적합한 최소 자승값 주는 체류 시간의 세트이다. 체류 시간은 기계가 이와 같은 제거를 이루기 위해 사용하기로 되어 있는 소급 시간이다. 피드백 정보는 표시 소급 값을 실제로 반응되는 것들과 비교하여 얻어진다. 상기 비교는 소급 체류 시간에 대한 실제 시간의 비율을 확인하는 형태를 취한다. 상기 비교의 결과는 보정이다. 보정의 예들은 (1) 요구되는 결과를 주기 위해 실제 유리 제거에 대해 계산된 체류 시간이 증가되거나 감소되어야 하는 상수 비율 인자와 (2) 체류 시간에 대한 보정 인자로서 사용되는 비율의 세트로서, 공작물의 상이한 위치에 상응하는 세트이다.

보정 인자의 결정은 또한, 그들이 작업에서 결점을 지시할 것이기 때문에 기계 엔지니어링 및 메인テナンス 목적으로 중요하다.

수치 최적화 공정은 또한, 공구와 공작물 사이의 소망의 접촉 영역을 결정할 수 있다. 이는 하나 이상의 영향 함수를 사용하여 이루어진다. 제거 프로파일(실질적으로 홈의 단면)의 추가적인 세트가 각 추가된 영향 함수를 위해 얻어진다. 수치 최적의 결과는 각 세트의 제거 프로파일에 대한 체류 시간을 포함한다. 최적 결과의 본질은 주어진 프로파일이 이점이 없으면, 0 또는 매우 작은 체류 시간이 그것에 할당되는 것이다. 이렇게 해서, 소망의 제거 프로파일에 대하여 상당한 체류 시간을 할당하는 것은 공구 접촉 영역을 선택한다.

체류 시간을 측정하는 공정은 도 30의 흐름도를 참조하여 기술될 것이다. 폴리싱되는 공작물 표면의 형상은 측정에 의해 결정된다(단계 S10). 소망의 형상을 정의하는 데이터는 단계 S11에서 입력되고, 단계 S12에서, 형상 오차 데이터를 얻기 위해 측정된 데이터로부터 소망의 형상 데이터가 빼진다.

단계 S13에서 단위 체류 시간에 대한 영향 함수가 소망의 위치에 대해 맵핑된다. 이 실시형태에서, 각 영향 함수, 즉, 도 26의 단일 곡선에 대해 별개의 맵이 생성된다. 최초 체류 시간은 단계 S14에 입력되어 상기 최적화 공정을 개시한다. 선택된 최초 체류 시간은 모든 위치에 대한 단위 시간 등의 임의의 개시값일 수 있다. 맵핑된 영향 함수는 입력된 초기 체류 시간으로 곱해지고, 맵이 더해져 예상 제거 맵이 결정된다(단계 S15). 단계 S16에서, 예상 제거 맵이 형상 오차로부터 빠져 소망의 위치에 대한 높이 오차 리스트를 결정한다. 이 높이 오차가, 최소 자승 알고리즘에 의해 최소화될 예상 폴리싱 형상과 소망의 형상 사이의 오차를 정의하게 된다. 이렇게 해서, 이들 값은 최소 자승 알고리즘에 입력되고, 단계 S17에서, 상기 알고리즘은 오차를 최소화한다. 단계 S18에서, 상기 최적화가 완성되는 지를 결정한다. 그렇지 않으면, 단계 S20에서, 상기 알고리즘은 새로운 케이스의 체류 시간 세트를 생성하고, 최적화 공정을 반복하도록, 상기 공정을 단계 S15에 되돌린다.

단계 S18에서, 상기 최적화 공정이 완결되면, 단계 S19에서, 상기 결정된 체류 시간은 면수정 패턴을 위한 위치에 대한 폴리싱 헤드용 속도로 옮긴다. 그리고, 단계 S21에서, 상기 기계는 결정된 속도로 사용된 공작물을 폴리싱한다.

공정은 소망의 형상이 실제로 얻어졌는지를 확인하도록 형상을 측정하는 단계 S10으로 되돌려 반복될 수 있다. 그렇지 않으면, 단계 S11 내지 S21가 반복될 수 있다.

이 공정이 상기와 같이 기술되었지만, 2D 공정에 대하여는, 공정은 3D 영향 함수, 3D 소망의 형상 및 체류 시간 계산에 관한 소망의 위치의 2D 배열에 동일하게 적용할 수 있다.

3D 배열에서는, 2D 배열과는 다르게 동일한 반경방향 위치가 다르게 폴리싱될 수 있기 때문에, 더 많은 폴리싱의 제어가 있다. 수치 최적화 문제는 단지 1D, 포인트 어레이 보다는 2D에 대한 체류 시간을 결정하는 것 중 하나가 된다. 잠재적인 다수의 포인트가 있고, 공정을 효과적으로 길게 만들 수 있다면, 예컨대 면적을 세그먼트로 분할하여 개별 처리하거나, 또는 큰 간격에 의해 분리된 영역 위에 위치를 제공하여 소수의 포인트 어레이가 이루어질 수 있다. 후속 공정에서는, 각각의 면수정 패턴이 체류 시간(즉, 경로를 따른 폴리싱 헤드의 속도)의 결정하기에 충분한 수의 인접하게 배열된 위치를 통과할 수 없다. 이 경우에, 상기 면수정 패턴에 따른 체류 시간 또는 포인트는 상기 소망의 위치 사이의 내삽 과정에 의해 결정될 수 있다.

여기서 기술된 2D 및 3D 실시예에서, 사용된 체류 시간은 단위 시간에 대한 위치에서의 제거 프로파일을 정의하는 정적 영향 함수이다. 그러나, 이는, 공구가 올려져서 각 위치에서 배치되는 것 대신에, 바람직한 기술은 공작물의 표면 위로 공

구 헤드를 연속해서 이동시키는 것임을 고려하지 않는다. 따라서, 헤드가 체류하는 위치가 없다. 그러므로 발명자들은 동적 체류 시간 기술을 개발해야만 한다. 이 기술에서, 영향 함수는 특정 면가공 패턴에 대한 단위 공구 헤드 속도에 대한 제 1차 함수로서 정의된다. 이는 소정의(예컨대, 단위) 속도로 면가공 패턴을 따라 정적 영향 함수를 투영하여 측정된다.

도 31a 및 도 31b는 폴리싱될 표면에 맵핑되는 동적 영향 함수의 두 가지 다른 형태를 설명한다. 도 31a는 래스터링 면가공 패턴을 도시하고, 도 31b는 원형 면가공 패턴을 도시한다.

도 31a는 세 위치(P_1 , P_2 및 P_3)에 적용되는 동적 영향 함수를 도시한다. 면수정 패턴(200)이 각 위치에서 같으므로, 즉 선형이므로 동적 영향 함수는 각 위치에 대한 같은 모양을 갖는다.

도 31b에서, 형상 패턴(201)은 원형이고, 모식도에 보여진 바와 같이, 다른 반경방향 위치에 대한 면수정 패턴은 모양이 변한다. 중심 위치 P_1 에서, 패턴은 원형인 반면 반경방향 위치 P_2 및 P_3 에서 동적 영향 함수는 면수정 경로를 따라 연장된다.

이러한 기술은 폴리싱될 공작물의 표면에 걸친 위치(예를 들면, P_1 , P_2 및 P_3)에서 공구 헤드에 대한 속도를 결정하게 될 것이다. 이 실시예에서는 도 30의 스텝 S19를 요구하지 않는다.

본 발명의 이러한 점은 공작물 상의 위치에 대한 체류 시간이나 공구 스피드를 최적화하여 작동하므로, 값을 최적화하는 단순한 과정이 이용될 수 있다는 점은 기술분야에서 통상을 가진 기술자에게 명백하게 될 것이다. 수치 해석 기술은 원하는 결과 즉, 원하는 평균 오차를 얻기 위해 값을 최적화하는 데 사용될 수 있다.

이 발명에서, 적어도 하나의 코스트 함수가 최소화될 수 있다. 상기 코스트 함수는 다음을 포함한다:

1. 높이 오차
2. 기울기 오차
3. 전체 폴리싱 시간
4. 한계 이상의 공구 스피드의 초과량

상기 코스트 함수는 적절하게 가중치가 부과될 수 있다.

수치 해석에 대해, 코스트 함수에는 알고리즘에 의해 최적화도록 일련의 수치가 추가된다.

지금까지 실시예에서, 원하는 형상을 얻기 위한 재료의 제거만을 고려했지만, 폴리싱은 필요로 하는 형상 뿐만 아니라 필요로 하는 거칠기(마이크로-거칠기)를 요구한다.

광학 또는 기타 폴리싱된 표면은 마이크로-거칠기에 관한 품질저하 및 보다 자명한 큰 크기의 형상 에러를 가질 수 있다. 마이크로-거칠기는 흔히 완전히 매끄러운 표면으로부터의 평균 국부 높이로 표현되며 평균 거칠기 "Ra"로 나타내는 표면의 성질이다.

마이크로-거칠기는 현미경을 통하여 작동되는 간섭계(예를 들어, 독점적인 MYKO NT 2000 간섭계)와 같은 장치 또는 접촉 방법(예를 들어, 독점적인 테일러 호브슨 텔리서프)으로 측정된다. 폴리싱 공정에 있어서 여러 단계에서의 거칠기는 유사한 공작물의 제작에서 생산된 초기 공작물에 대해 상이한 제작단계별로 측정된다.

이 실시예의 방법에 있어서, 거칠기 감소를 시작하기 위한 다른 기준이 있다. 측정에 의해, 거칠기 품질과 관계없이 공작물의 형상이 이미 허용가능 범위 내에 있음을 나타내면, 착수된다. 전형적인 경우는, 그 형상이 100nm 피크 투 밸리 형상 에러(peak-to-valley form error)의 소비자의 요구 조건 이내로 정확하지만, 표면 부분은 평균 거칠기가 10nm 이상의 값으로 나타나는 반면, 3nm 미만인 평균 거칠기의 마무리가 요구되는 경우이다. 만약 측정에 의해 공차 범위 내의 특별한 형상의 표면을 만족시키도록 추가적인 100nm 미만의 공작물 재료(보통 유리)가 제거되어야 하는 것이 나타난다면 거칠기 감소를 개시하는 것 역시 경제적이다. 이러한 작은 양의 재료가 거칠기 감소 기술 없이 제거된다면, 제품이 받아들여지기 이전에 이러한 기술이 적용될 필요가 있다.

폴리싱 공정의 제거율은 작은 면적이 폴리싱되는 실험에 의해 결정되고, 그 제거 깊이는 간섭계에 의해 측정된다. 이러한 제거율은 여기에 개시된 방법에 따른 거칠기 감소 처리 공정에서 간섭계를 계속하여 사용함으로써 확인하는 것이 타당하다.

거칠기 감소는 작은 제거에 대응하는 짧은 체류 시간 세트로 표면을 폴리싱함으로써 이루어진다. 각 세차운동 위치(보통 90도에서 4곳)의 세트 현재 평균 거칠기 값의 4배 이하로 재질의 깊이를 제거하고, 바람직한 평균 거칠기 값은 평균 거칠기 값의 1 내지 2배가 되도록 체류 시간이 선택된다. 이러한 제거가 일어남에 따라, 폴리싱 표면에 존재하는 거친 특성은 새로운 것이 형성됨에 따라 제거된다.

1 내지 2 배 평균 거칠기의 깊이를 제거함으로써, 새로운 거친 특성은 이전의 특성보다 훨씬 덜 중요하다. 이것은 도 32 및 도 33에 설명된다. 도 32는 거친 표면 프로파일을 도시하는데, 그것은 평균 거칠기(Ra)의 개략적인 값을 가리키고, 추가적인 제거의 최초 효과는 침단을 제거하는 데 있다는 것을 나타낸다. 도 33은 표면 거칠기(Ra) 값을 도시하고, 그 값이 지속적인 제거로 어떻게 변화하는지를 도시한다. 도 33에서, 우측으로 하락하는 라인은 이전에 존재하던 거칠기 특징의 이동을 가리키고, 우측으로 상승하는 라인은 새로운 거칠기 특징의 형성을 가리킨다. 최초 제거가 단지 전에 존재하는 피크 부분을 제거함에 따라, 새로운 거칠기 형상은 처음에는 매우 천천히 상승하며, 새로운 형상을 생성하지는 않는다. 새로운 그리고 오래된 거칠기 형상이 랜덤한 특성을 가짐에 따라, 오래된 것과 새로운 것의 특성 합은 자승 합의 근이다. 이것은 점선 곡선에 의해 나타낸다. 최적의 제거는 도 33에서 A로 지시된 곡선의 최저점에서 발생한다.

실제적으로, 상기한 과정을 조심스럽게 작동시키는 것이 타당하고, 예를 들어 폴리싱 입자의 우연 응집체 때문에 기대하지 않은 형상이 폴리싱 표면에서 나타나기 때문이다. 조심스러운 작동은, 1 내지 2배의 평균 거칠기(Ra), 바람직하게는 낮은 값을 제거하기 위해 시도하는 것으로 구성된다. 그러나, 만약 마이크로 거칠기가 작은 급함 때문에 잘 결정되지 않는다면, 과정의 최초 단계에서 4배의 평균 거칠기를 제거하는 것이 경제적이다.

이러한 공정에서 세차운동 방법을 사용하는 것에 의해, 한 방향으로의 지속적인 마찰에 의해 생기는 줄무늬가 단순히 깊어지기보다는 이전의 경로를 가로질러 통과하게 된다. 90도 간격의 문지름 방향으로의 패스 세트를 사용한 후에, 제1 세트에 45도인 4개의 중간 문지름 방향을 사용하는 패스의 다음 단계가 정련(refinement)이다.

본 발명은 공작물의 법선에 대하여 어떤 각도로 세차운동되는 구형의 유연한 부재의 형태인 연질의 공구를 사용하는 실시 예를 참조하여 설명하였지만, 본 발명은 이것에 한정하는 것이 아니고, 공작물 상에서 회전될 수 있는 방향으로 연마면과 공작물의 사이의 상대적인 횡방향 이동을 생성하는 어떤 다른 형태의 공구이든 가능하다.

도 34는 공작물로부터 재료를 그라인딩하는 헤드(7)에 사용되는 작업 부재를 설명한다. 이는 재료의 상당한 제거가 폴리싱 시작 전에 공작물 표면형상을 형성하는데에 필요할 때 사용될 수 있다. 이 작업 부재는 유연하지 않다.

도 34에 도시된 바와 같이, 작업 부재는 도 4의 실시예의 공구 헤드(38) 위에 끼워 맞추도록 배열된다. 공구 하우징(68)은 그라인딩 공구의 외측 하우징(200)을 수용하도록 외측 나사형성 부분을 포함하는 그 상측부에서 약간 개조된다. 외측 하우징(200)은 원통형이고, 그 상단에서 공구 하우징(68)에 장착된다. 외측 하우징(200)의 하단에는 플레이트(201)가 제공된다. 플레이트(201)는 스크류(202)를 통해 하우징(200)에 클램핑되고, 그 사이에서 도 6에 도시된 스포크 부재(58)와 유사한 형상의 스포크 플렉시블 부재(203)를 클램핑한다. 스포크 플렉시블 부재(203)는 하우징(200)의 플레이트(201) 사이의 외측 환형에서 클램핑된다.

하우징(200) 내에는, 외측 하우징(200) 내에서 상대적인 수직방향 이동이 가능한 피스톤 부재(204)가 제공된다. 피스톤 부재(204)는 수직방향 이동에 대하여 가이드를 제공하는 부시(25) 둘레에서 연장하는 상부 원통부를 형성한다. 부시(25)는 공구 하우징(68)의 외측 표면에 상응한다. 피스톤 부재(204)의 하단은 박막(69)을 수용하도록 오목면을 형성한다. 이런 식으로 박막(69)은 피스톤 부재(204)가 축 방향으로 상승 및 하강하도록 피스톤 부재(204)에 작용할 수 있다. 피스톤 부재(204)는 스포크 플렉시블 부재(203)의 내측 환형에 의해 지지된다. 스포크 플렉시블 부재(203)의 내측 환형은 피스톤 부재(204)의 마개(spigot, 206) 둘레에 제공되어 마개(206)에 나사 결합된 너트(207)에 의해 피스톤 부재(204)에 클램핑된다. 마개(206)는 플레이트(201)를 통과하여 연장되도록 배치된다. 돔형의 그라인딩 부재(208)는 마개(206)에 지탱되어 너트(209)나 와셔(210)로 제자리에 고정된다. 이런 방식으로, 돔형 그라인딩 부재(208)는 피스톤 부재(204)에 의해 상승 및 하강된다.

본 발명의 이와 같은 실시예는 유연하지는 않지만 경사진 각에서 헤드(7)에 지지되어 그라인딩되는 공작물 표면에 수직인 세차운동 접근으로 세차운동되는 돔형의 그라인딩 부재(208)를 제공한다. 박막(69)과 피스톤 부재(204)의 작용은 돔형 그라인딩 부재(208)에 압력 제어를 제공하도록 작용하여 그라인딩 작업시 가해지는 압력을 제어하도록 한다.

본 실시예는 구형의 유연한 공구로 설명하였지만, 공작물의 볼록면을 위해 평평하거나 오목한 유연한 공구도 본 발명의 범위 내에서 사용될 수 있다.

본 실시예는 완전 유압 적용 시스템을 갖는 것으로 설명하였지만, 본 발명은 또한, 공구 바디에 기계적 압력 전달 커플링을 가진 유체가 충전된 공구 헤드도 포함된다.

본 발명의 특징은 어떠한 조합에서도 사용될 수 있다

본 발명은 폴리싱 기계의 컴퓨터 제어를 포함하고 있기 때문에, 본 발명은 기계를 제어하도록 컴퓨터 프로그램으로서 실시될 수 있다. 이와 같이 본 발명은 플로피 디스크, 콤팩트 디스크, 프로그램의 기억 장치, 자기 테이프 및, 인터넷과 같은 네트워크에 컴퓨터 프로그램을 실행하는 전기적인 신호를 포함한다.

본 발명은 실시예를 참조하여 위에서 설명하였지만, 본 발명은 이것에 한정하는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 본 기술 분야에서 통상의 기술자가 수정하는 것이 가능하다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

공작물을 유지하는 유지면(4);

회전축(h, P)을 따라 배치되어 상기 회전축(h, P) 주위로 회전하는 폴리싱 헤드(7);

상기 회전축(h, P) 주위로 회전하기 위해 상기 회전축(h, P) 상의 상기 폴리싱 헤드(7) 상에 배열된 상기 공작물을 연마 혹은 폴리싱하기 위한 면을 구비한 작업부재(8);

상기 폴리싱 헤드(7) 및 이에 장착된 상기 작업부재(8)를 상기 회전축(h, P) 주위로 회전하도록 구동하는 제1 구동수단(50, 51, 52);

상기 폴리싱 헤드(7)를 장착하기 위한 폴리싱 헤드 장착 수단(700, 800);

상기 회전축(h, P)과 교차하는 세차운동(precession) 축(N)에 대해 상기 작업부재(8)의 상기 회전축(h, P)을 경사지게 하도록 상기 폴리싱 헤드 장착 수단(700, 800)을 구동하고, 상기 회전축(h, P)이 상기 세차운동 축(N)에 관하여 세차운동되는 상태의 경사진 위치로 상기 작업부재(8)를 이동시키는 제2 구동수단(24, 33); 및

상기 유지면(4)에 걸쳐 상기 폴리싱 헤드 장착 수단(700, 800)을 상대적으로 이동시키는 제3 구동수단(2, 3)을 포함하는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 제1 구동 수단(50, 51, 52)은 상기 유지면(4)에 대해 횡방향으로 상기 작업부재(8)의 상기 면을 구동시키도록 배열되고, 상기 제2 구동수단(24, 33)은 상기 작업부재(8)의 상기 면을 상기 유지면(4) 상의 위치에 대하여 회전시켜, 상기 유지면(4)에 대한 상기 작업부재(8)의 상기 면의 횡이동 방향이 상기 유지면(4)상의 상기 위치에 대하여 회전하도록 되어 있는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제2 구동수단(24, 33)은, 상기 세차운동축(N) 주위로의 상기 회전축(P)의 세차운동의 360°의 정수로 분포된 경사진 위치들로 상기 작업부재(8)를 이동시키도록 배열되어 있는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 4.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제2 구동수단(24, 33)은, 세차운동 단계들로 상기 작업부재(8)를 이동시키도록 배열되어 있는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 5.

제4항에 있어서,

상기 제2 구동수단(24, 33)은, 상기 세차운동축(N) 주위로의 세차운동의 각의 360°의 정수로 세차운동축 주위로 대칭 분포된 세차운동 단계들로 상기 작업부재(8)를 이동시키도록 배열된, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 6.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제2 구동수단(24, 33)은, 360°를 정수로 나눈 값이 아닌 세차운동 단계들로 세차운동을 증분하여 수행하도록 배열된, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 7.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 폴리싱 헤드 장착수단(700, 800)은, 상기 세차운동축(N)이 상기 작업부재(8)에서 또는 그 근방에서 상기 회전축(h, P)과 교차하도록 배열된, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 8.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 세차운동축(N) 주위로의 상기 작업부재(8)의 이동속도가 상기 작업부재의 회전속도보다 실질적으로 작게 되도록 상기 제1 및 제2 구동수단(50, 51, 52; 24, 33)을 제어하는 제어시스템(9)을 포함하는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 9.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 헤드 장착수단(700, 800)은, 각각 곡률 중심이 상기 작업부재(8)를 통과거나 그 근방을 통과하는 축 상에 놓이도록 배열된 상태로 직교하여 배치된 제1 및 제2 아치형 부재(23, 35)를 포함하며, 상기 폴리싱 헤드(7)는 제2 단부에서 상기 제2 구동수단(24, 33)에 의해 상기 제1 및 제2 아치형 부재(23, 35)에 장착되어, 상기 폴리싱 헤드(7)의 상기 제2 단부를 아치형 부재의 각각의 축 주위로 각각의 직교하는 원호 내에서 이동시키는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 10.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제3 구동수단(2, 3)은 상기 유지면(4)으로 및 이로부터 멀어지도록 상기 작업부재(8)를 상대적으로 이동시키도록 배열되어 있는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 11.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 유지면(4)은 상기 헤드 장착수단(700, 800)에 대하여 상대적으로 회전되도록 배열되어 있는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 12.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 작업부재(8)는 구형(bulbous)인, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 13.

제12항에 있어서,

상기 작업부재(8)는 유연한(compliant), 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 14.

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 공작물(5)의 지형(topography)에 관한 정보를 수신하여, 연마 또는 폴리싱될 위치에서 상기 공작물의 표면에 수직한 상기 세차운동축(N) 주위로 상기 작업부재(8)를 세차운동시키도록 상기 제2 구동수단(24, 33)을 제어하도록 동작하는 제어시스템(9)을 포함하는 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 15.

제14항에 있어서,

상기 제어시스템(9)은, 상기 공작물의 거칠기에 관한 정보 및 상기 작업부재(8)에 의해 상기 공작물로부터 제거되는 재료에 관한 제거속도를 수신하고, 반복된 면조정 패턴(figuring pattern)으로 상기 헤드 장착수단(700, 800)을 이동시키도록 상기 제3 구동수단(2, 3)을 제어하며, 각각의 면조정 패턴 중에 폴리싱 또는 연마되는 공작물의 영역에 대해 국부적인 거칠기 평균의 4배 미만을 제거하도록 상기 제1, 제2 및 제3 구동수단(50, 51, 52; 24, 33; 2, 3)을 제어하도록 동작하는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 16.

제15항에 있어서,

상기 제어시스템(9)은 각각의 면조정 패턴에 대해 상기 세차운동축(N) 주위로의 다양한 경사진 위치들을 사용하도록 상기 제2 구동수단(24, 33)을 제어하도록 되어 있는, 공작물을 연마 또는 폴리싱하는 기계.

청구항 17.

홀더에 공작물을 장착하는 단계;

회전축(h, P)을 따라 배치되고, 상기 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하기 위한 면을 가지고 상기 회전축(h, P) 상에 그리고 폴리싱 헤드(8) 상에 축선방향으로 배열되는 작업부재(8)를 구비하는 폴리싱 헤드(7)를 상대적으로 경사지게 하여, 상기 회전축(h, P)이 상기 회전축과 교차하며 상기 작업부재(8)의 상기 면의 접촉 영역에서 상기 공작물(5)의 표면에 수직인 세차운동축(N)에 대해 경사지게 하는 단계;

상기 회전축(h, P) 주위로 상기 작업부재(8)를 회전시키는 단계;

상기 작업부재(8)의 상기 면을 상기 공작물(5)의 상기 표면에 접촉시켜, 상기 작업부재(8)의 상기 면이 상기 공작물의 상기 표면에 걸쳐 횡방향으로 이동하는 단계;

상기 경사진 폴리싱 헤드(7)를 상기 세차운동축(N) 주위로 회전되는 경사진 위치들로 이동시키는 단계; 및

면조정 패턴으로 상기 공작물의 상기 표면에 걸쳐 상기 작업부재(8)를 상대적으로 이동시키도록 상기 경사진 폴리싱 헤드(7)를 이동시키는 단계를 포함하는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 18.

제17항에 있어서,

상기 경사진 폴리싱 헤드(7)를 상기 세차운동축(N) 주위로 회전되는 경사진 위치들로 이동시키는 단계는, 상기 폴리싱 헤드(7)가 상기 세차운동축(N)에 대해 경사진 각도를 실질적으로 일정하게 유지하는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 19.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 경사진 폴리싱 헤드(7)가 상기 세차운동축(N) 주위에서 회전된 복수의 경사진 위치들 각각에 대해 상기 면조정 패턴으로 이동되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 20.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 세차운동축(N) 주위에서 회전되는 상기 경사진 위치들은, 상기 세차운동축(N) 주위로의 회전들의 정수로 분포되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 21.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 폴리싱 헤드(7)는, 상기 세차운동축(N) 주위로의 회전된 상기 경사진 위치들로 단계적으로 이동되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 연마방법.

청구항 22.

제21항에 있어서,

상기 경사진 위치들은, 상기 세차운동축(N) 주위로의 회전들의 대략 정수로 상기 세차운동축(N) 주위로 대칭으로 분포되어 있는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 23.

제21항에 있어서,

상기 경사진 위치들은, 상기 세차운동축(N) 주위로의 회전의 360°를 정수로 나눈 값이 아닌, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 24.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 세차운동축(N)은, 상기 작업부재(8)에서 또는 그 근방에서 상기 회전축(h, P)과 교차하는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 25.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 세차운동축(N) 주위로의 상기 폴리싱 헤드(7)의 이동속도는 상기 폴리싱 헤드(7)의 회전속도보다 실질적으로 작은, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 26.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 공작물은 상기 폴리싱 헤드(7)에 대하여 상대적으로 회전되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 27.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 작업부재(8)는 구형인, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 28.

제27항에 있어서,

상기 작업부재(8)는 유연하며, 상기 공작물의 상기 표면에 대한 상기 작업부재(8)의 위치는, 상기 공작물의 상기 표면과 상기 작업부재(8) 사이의 접촉영역을 제어하도록 제어되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 29.

제17항 또는 제18항에 있어서,

상기 폴리싱 헤드(7)의 이동은 상기 공작물의 지형에 관한 정보에 따라 제어되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 30.

제29항에 있어서,

상기 공작물의 거칠기에 관한 정보 및 상기 작업부재(8)에 의해 상기 공작물로부터 제거되는 재료에 대한 제거속도를 수신하는 단계와, 반복된 면수정 패턴으로 이동되게 상기 폴리싱 헤드(7)의 이동을 제어하는 단계와, 각각의 면수정 패턴 중에 폴리싱 또는 연마되는 공작물의 영역에 대해 국부적인 거칠기 평균의 4배 미만을 제거하도록 재료의 제거를 제어하는 단계를 포함하는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 31.

제30항에 있어서,

상기 폴리싱 헤드(7)의 다양한 세차운동 회전들은, 각각의 형상화 패턴에 대해 사용되는, 공작물의 표면을 연마 또는 폴리싱하는 방법.

청구항 32.

제17항 또는 제18항의 방법을 포함하는 장치를 제조하는 방법.

청구항 33.

삭제

청구항 34.

삭제

청구항 35.

삭제

청구항 36.

삭제

청구항 37.

삭제

청구항 38.

삭제

청구항 39.

삭제

청구항 40.

삭제

청구항 41.

삭제

청구항 42.

삭제

청구항 43.

삭제

청구항 44.

삭제

청구항 45.

삭제

청구항 46.

삭제

청구항 47.

삭제

청구항 48.

삭제

청구항 49.

삭제

청구항 50.

삭제

청구항 51.

삭제

청구항 52.

삭제

청구항 53.

삭제

청구항 54.

삭제

청구항 55.

삭제

청구항 56.

삭제

청구항 57.

삭제

청구항 58.

삭제

청구항 59.

삭제

청구항 60.

삭제

청구항 61.

삭제

청구항 62.

삭제

청구항 63.

삭제

청구항 64.

삭제

청구항 65.

삭제

청구항 66.

삭제

청구항 67.

삭제

청구항 68.

삭제

청구항 69.

삭제

청구항 70.

삭제

청구항 71.

삭제

청구항 72.

삭제

청구항 73.

삭제

청구항 74.

삭제

청구항 75.

삭제

청구항 76.

삭제

청구항 77.

삭제

청구항 78.

삭제

청구항 79.

삭제

청구항 80.

삭제

청구항 81.

삭제

청구항 82.

삭제

청구항 83.

삭제

청구항 84.

삭제

청구항 85.

삭제

청구항 86.

삭제

청구항 87.

삭제

청구항 88.

삭제

청구항 89.

삭제

청구항 90.

삭제

청구항 91.

삭제

청구항 92.

삭제

청구항 93.

삭제

청구항 94.

삭제

청구항 95.

삭제

청구항 96.

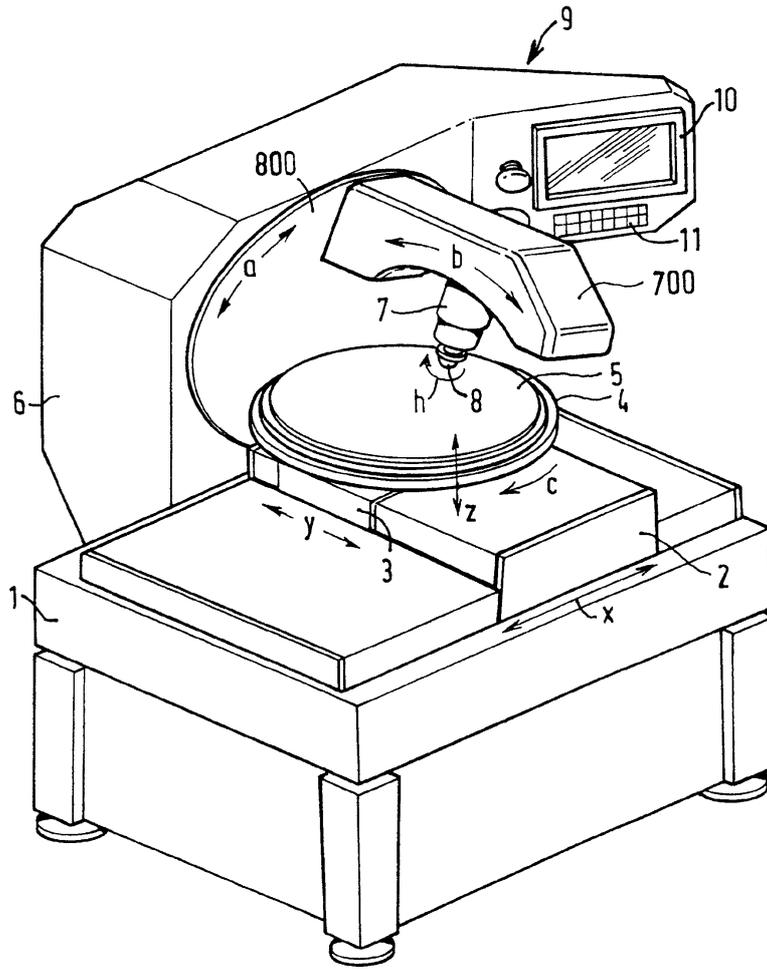
삭제

청구항 97.

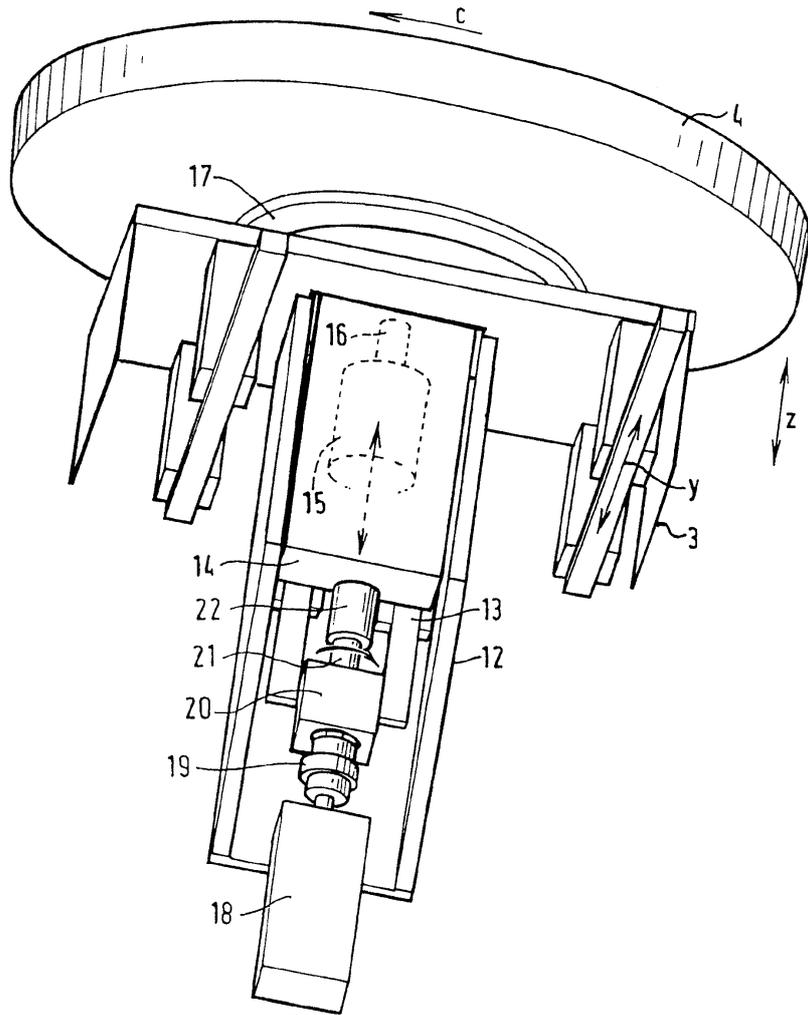
삭제

도면

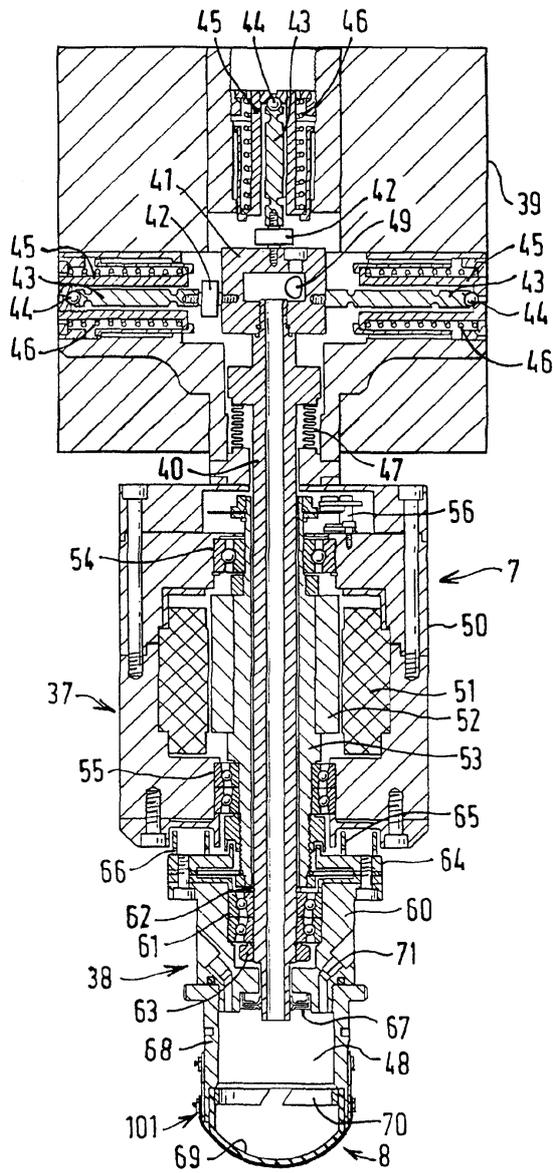
도면1



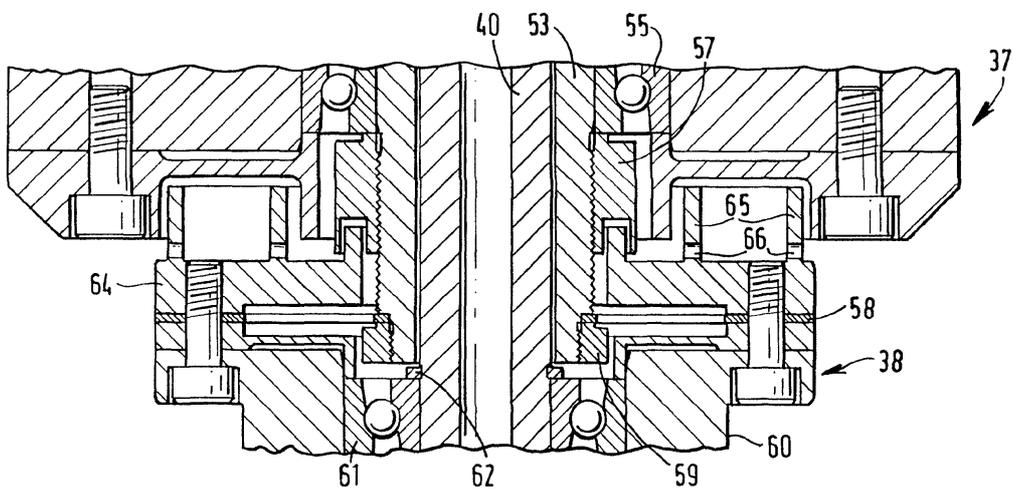
도면2



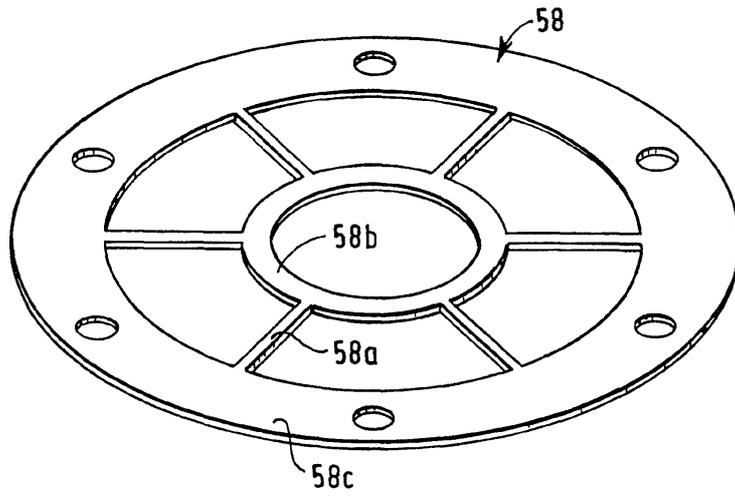
도면4



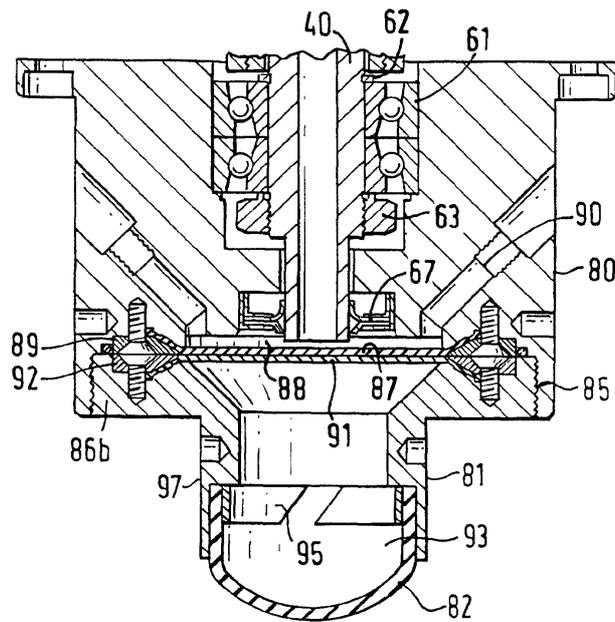
도면5



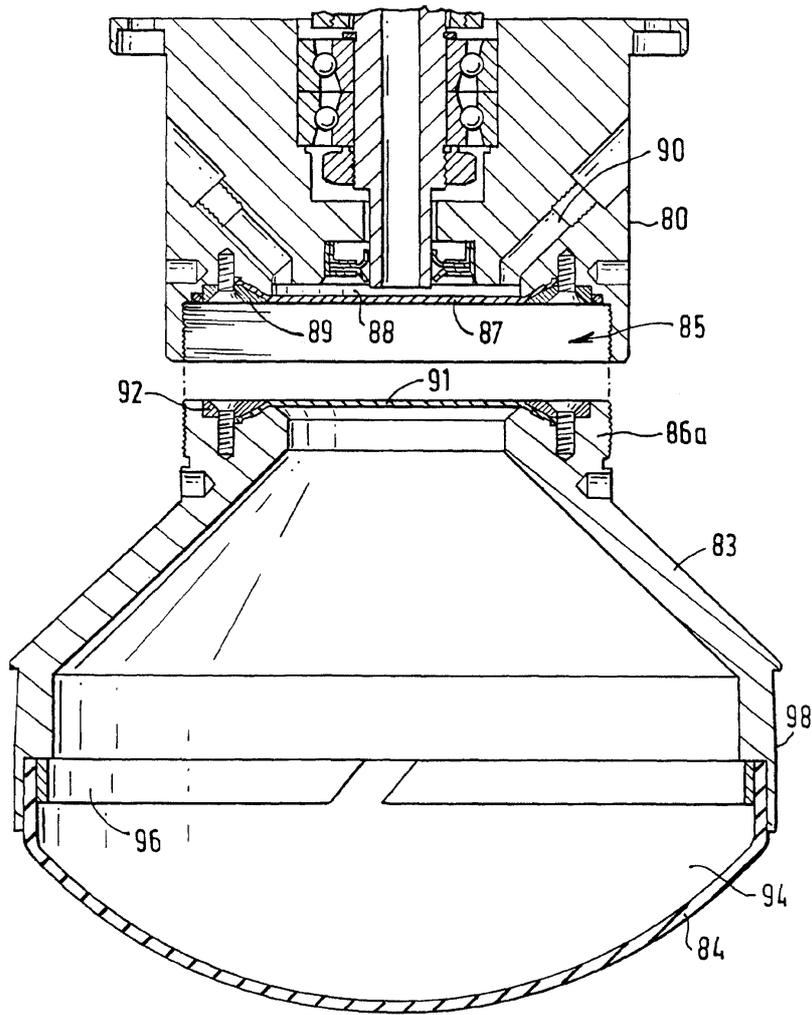
도면6



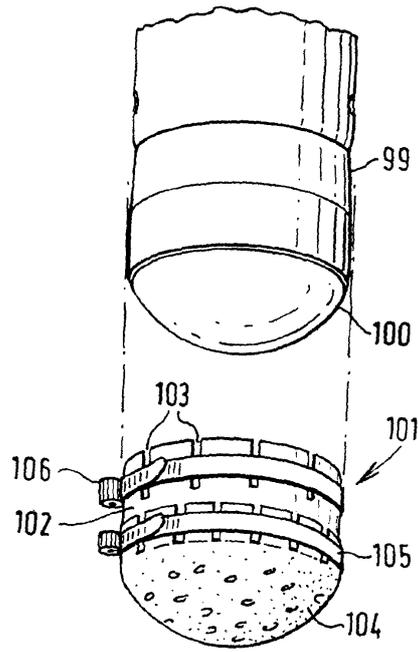
도면7



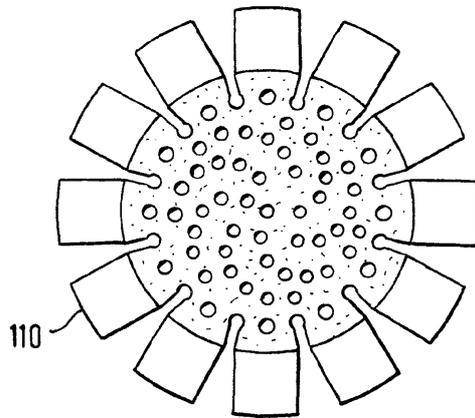
도면8



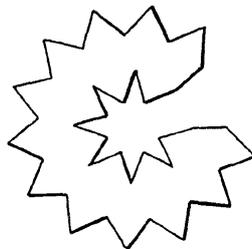
도면9



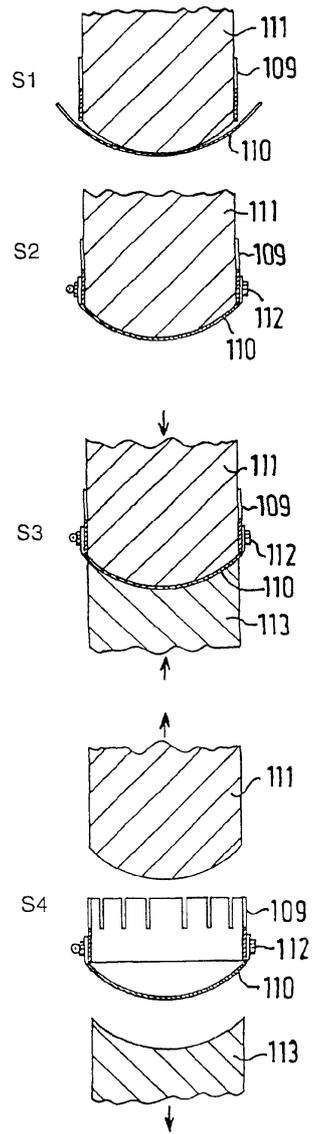
도면10



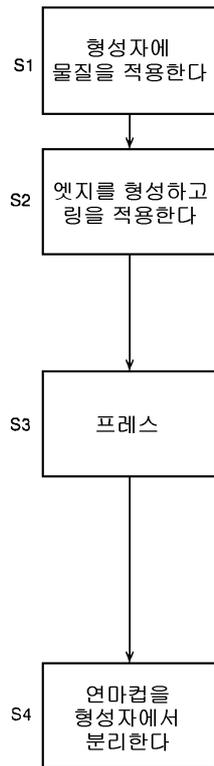
도면11



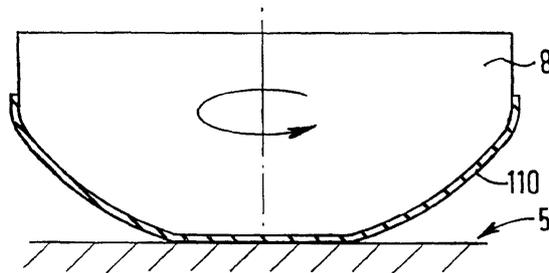
도면12



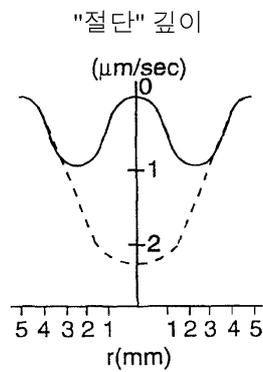
도면13



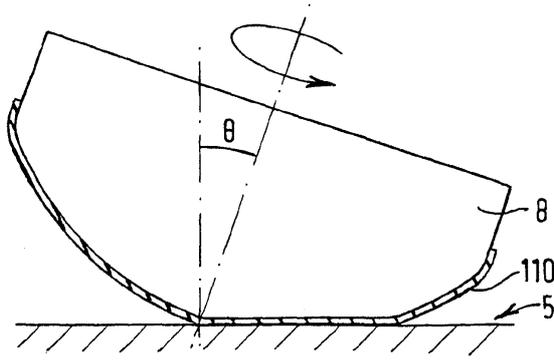
도면14a



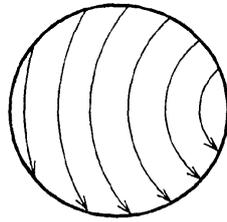
도면14b



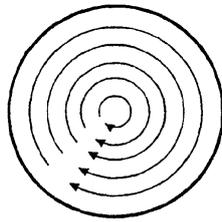
도면14c



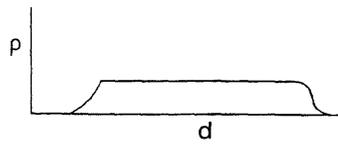
도면15



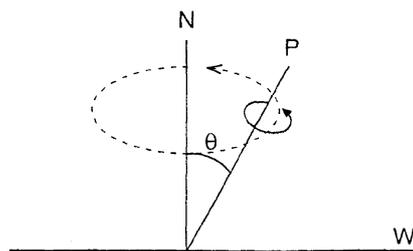
도면16



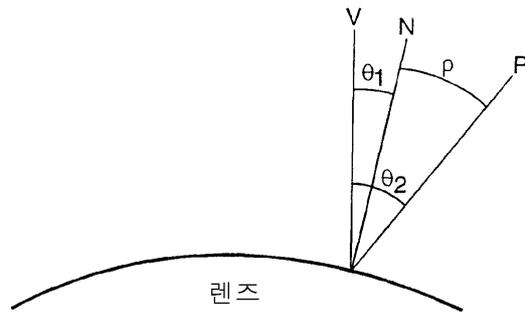
도면17



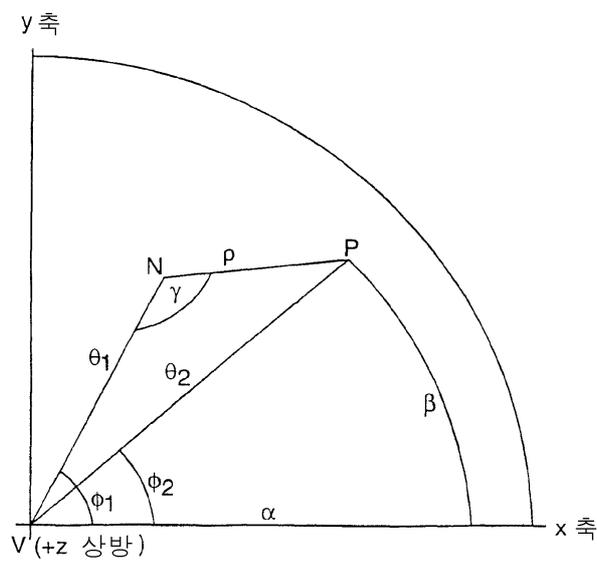
도면18



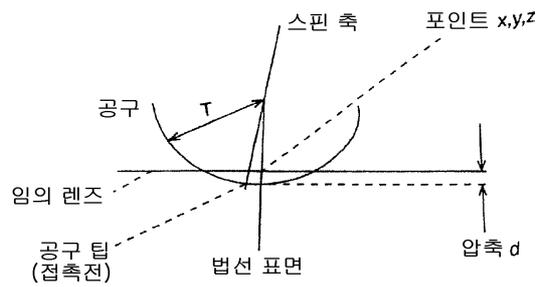
도면19



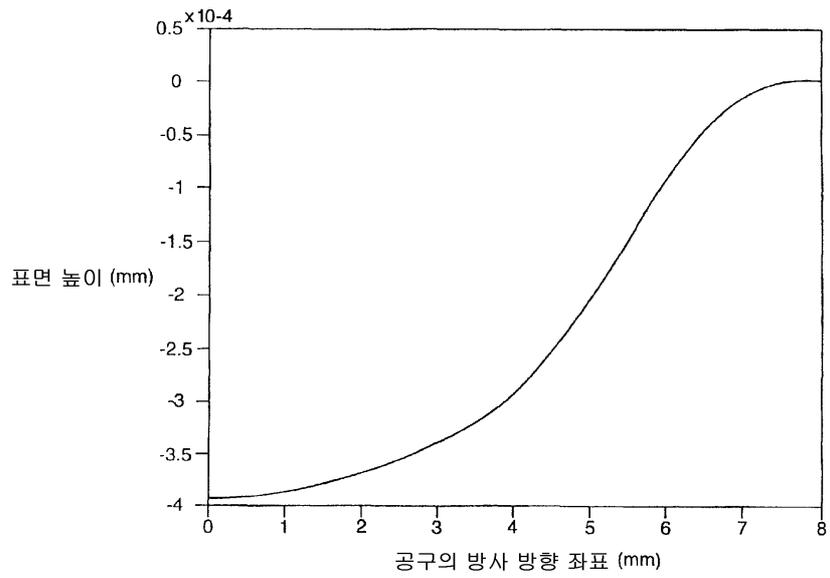
도면20



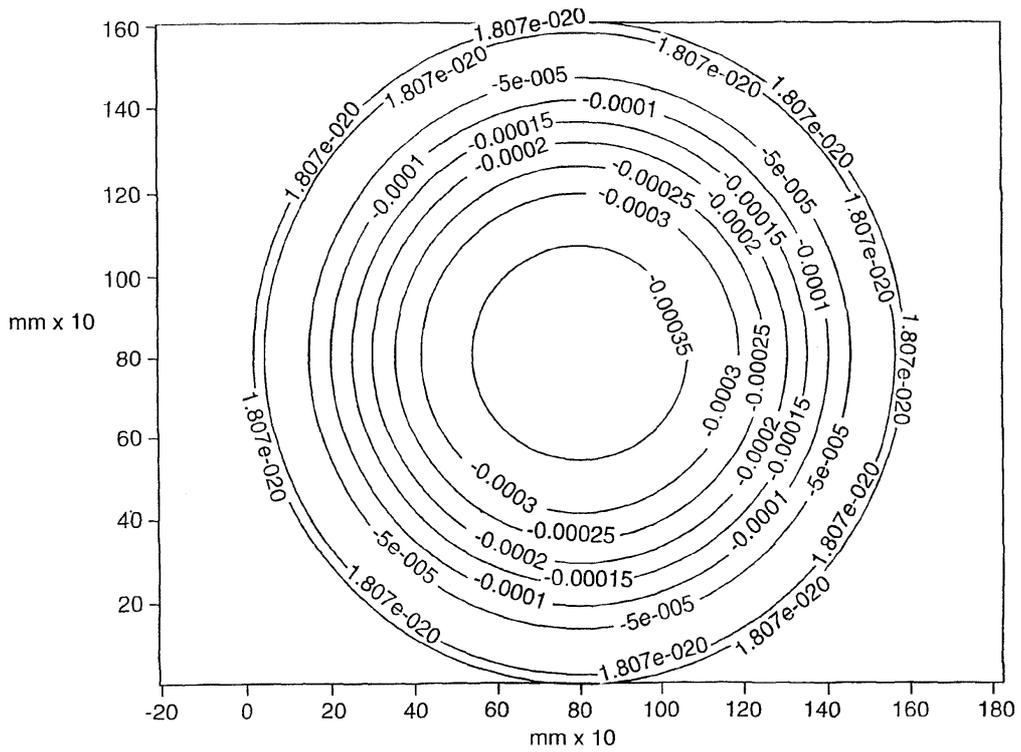
도면21



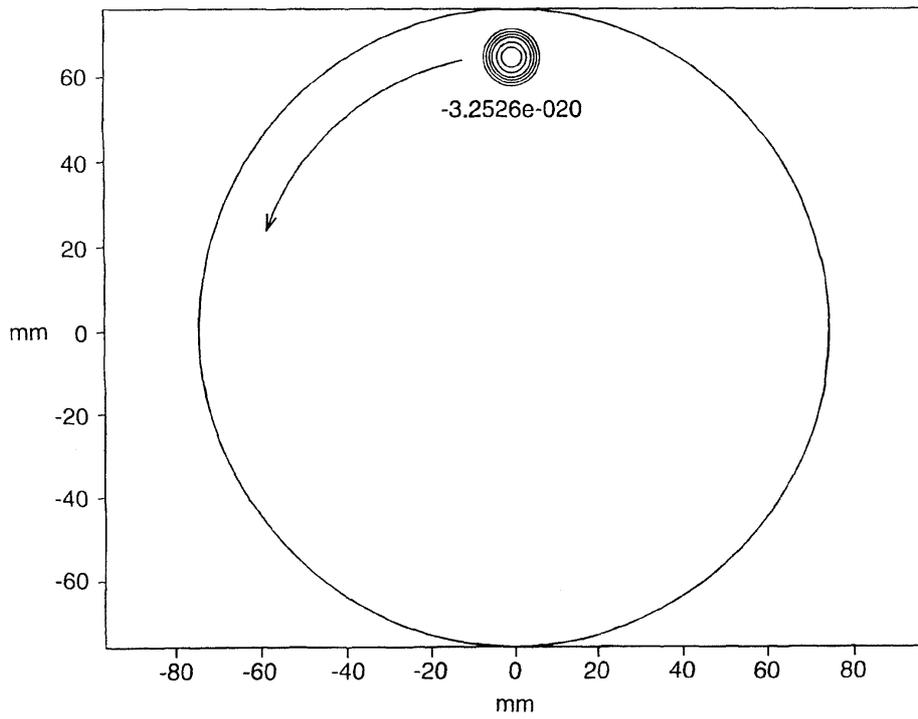
도면22



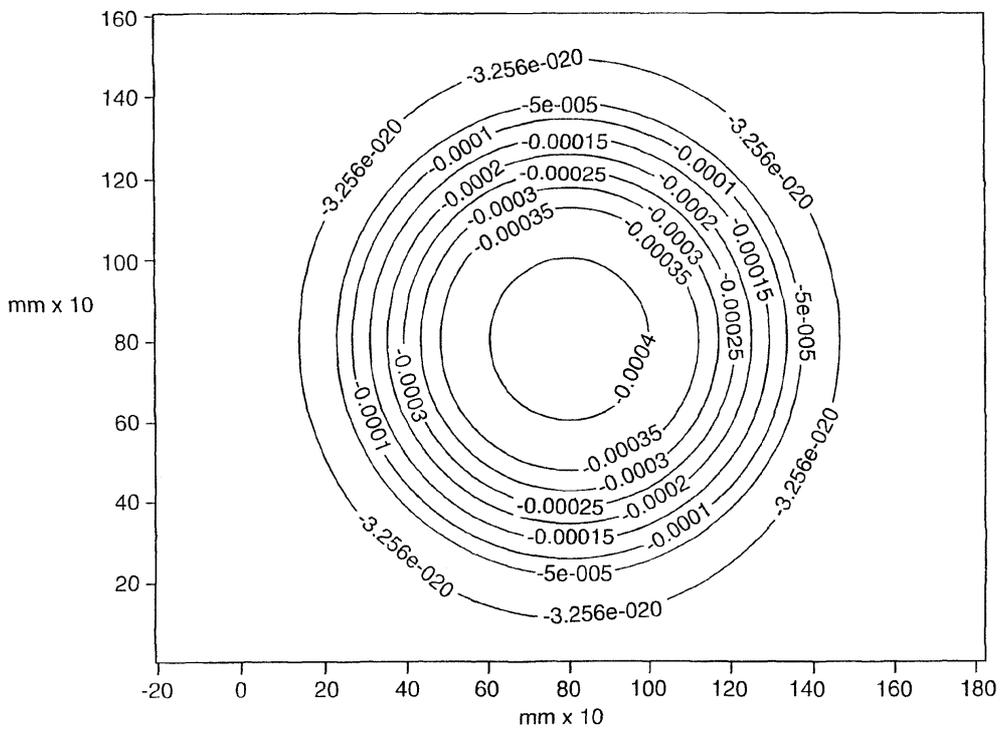
도면23



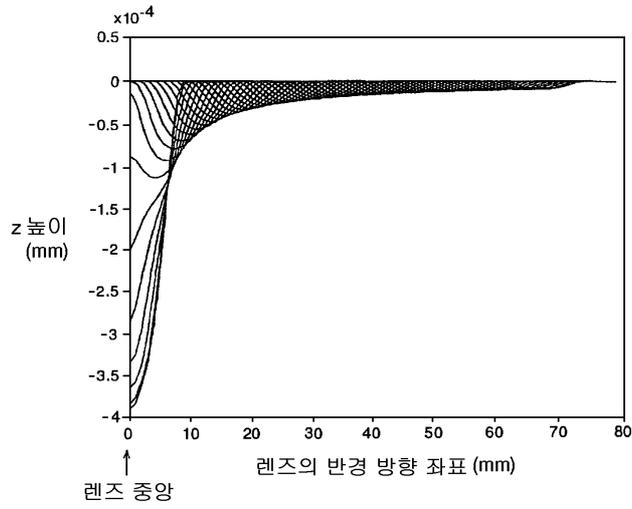
도면24



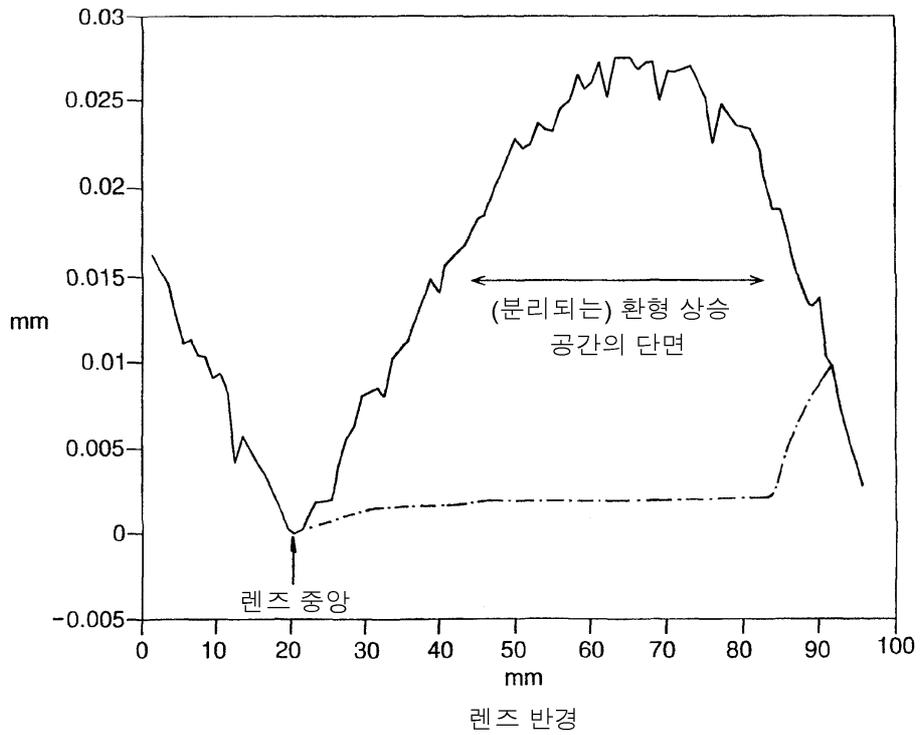
도면25



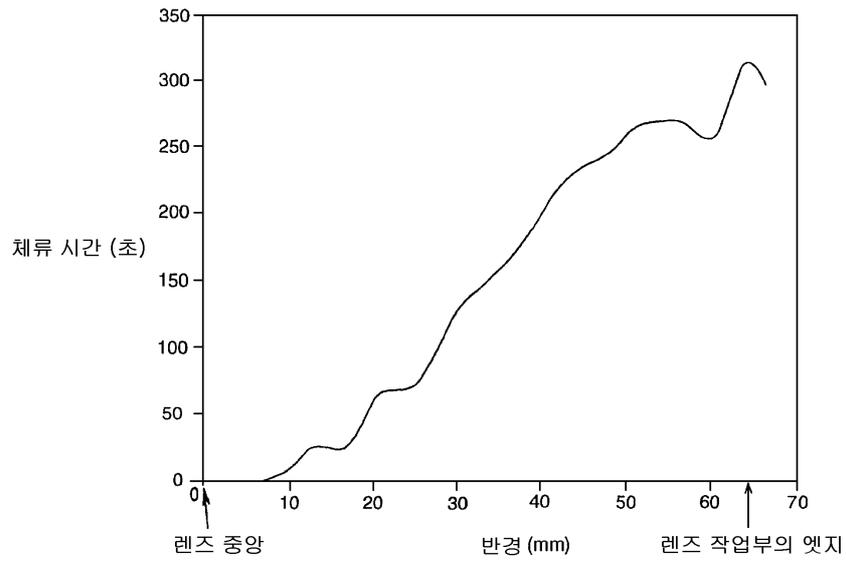
도면26



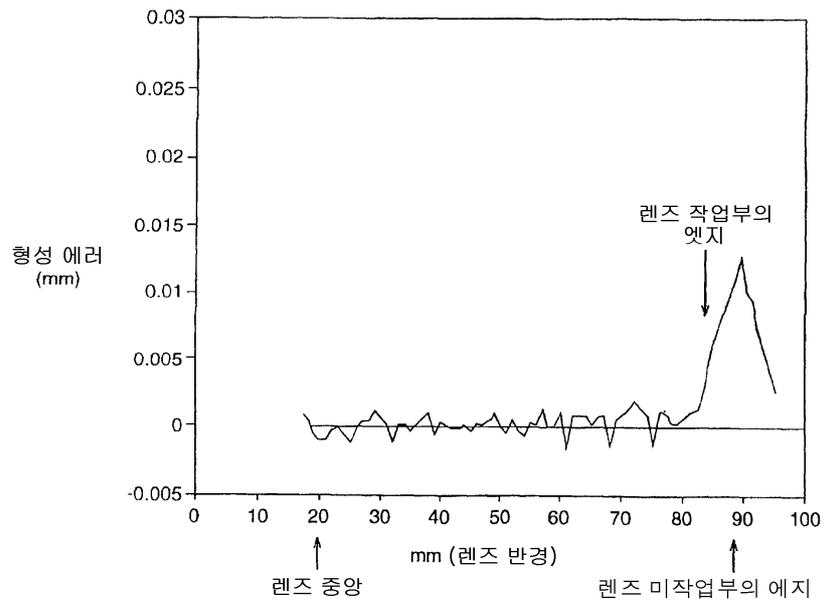
도면27



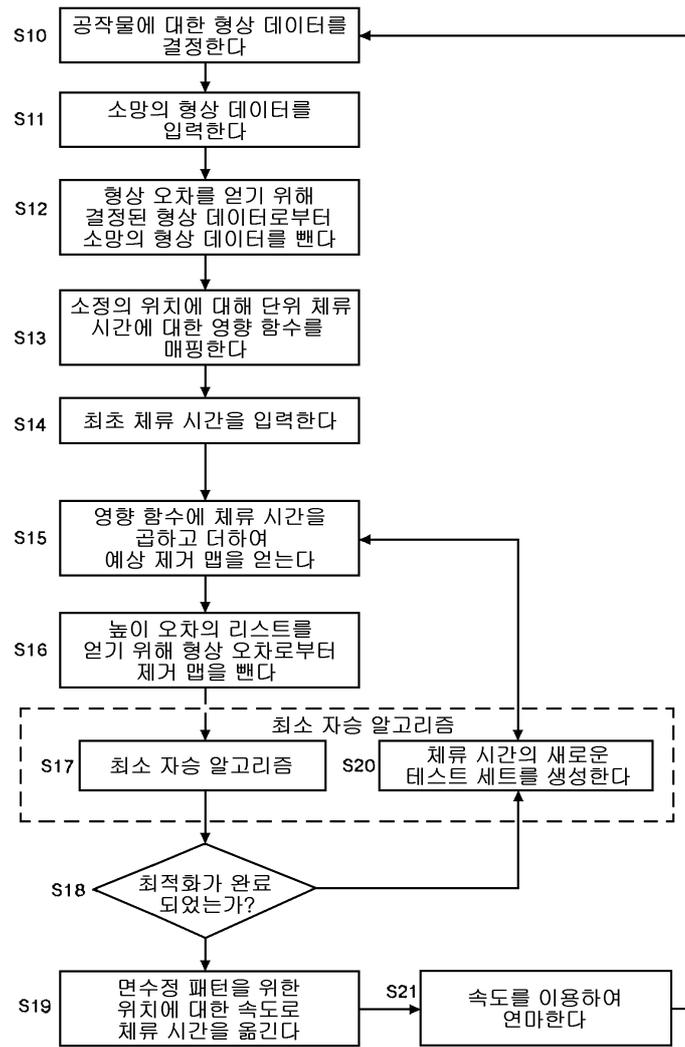
도면28



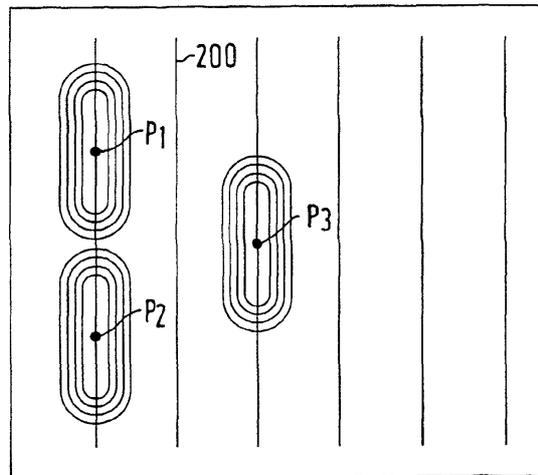
도면29



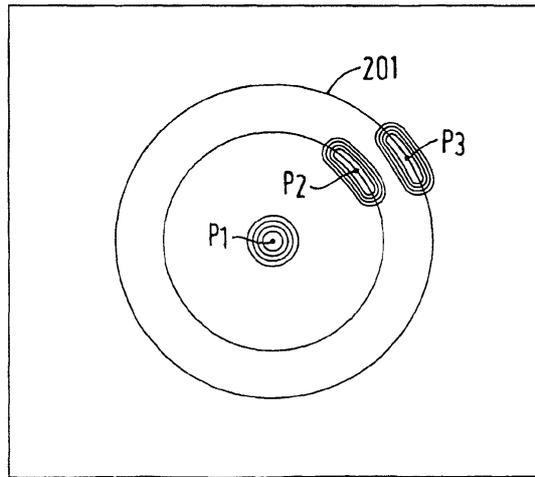
도면30



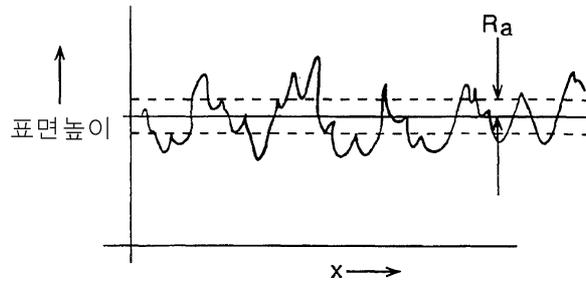
도면31a



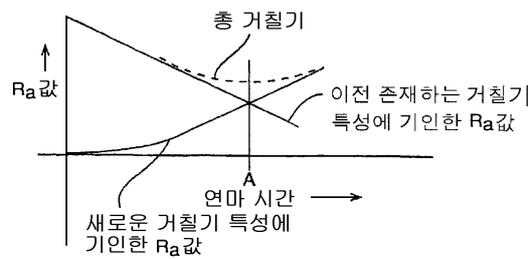
도면31b



도면32



도면33



도면34

