



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년09월05일
 (11) 등록번호 10-1437640
 (24) 등록일자 2014년08월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F16C 32/06 (2006.01) *B23Q 5/40* (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0069878
 (22) 출원일자 2013년06월18일
 심사청구일자 2013년06월18일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2000027969 A*
 JP2004218766 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국기계연구원
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
 (72) 발명자
박종권
 대전광역시 유성구 배울1로 119 대덕테크노밸리
 12단지 아파트 1203동 1503호
노승국
 대전 유성구 어은로 57, 110동 504호 (어은동, 한
 빛아파트)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
팬코리아특허법인

전체 청구항 수 : 총 15 항

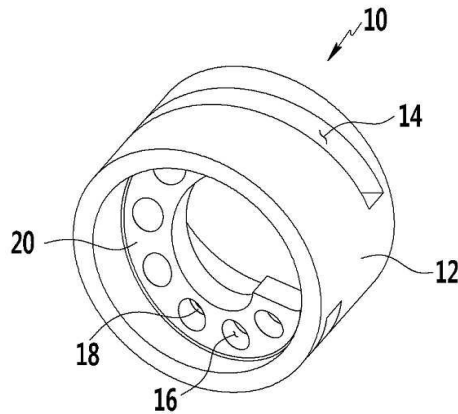
심사관 : 이기현

(54) 발명의 명칭 **공기 정압 공기 베어링, 이의 조립 방법 및 이를 이용한 공기 정합 리드 스크류 액추에이터**

(57) 요약

공기 정압 공기 베어링이 제공된다. 본 발명의 예시적인 공기 정압 공기 베어링은, 공기 정압 너트 및 상기 공기 정압 너트에 결합되는 리드 스크류를 포함하되, 상기 공기 정압 너트는, 그 내부로 공기를 유입하는 공기 유입구를 구비한 하우징, 상기 하우징 내에 배치되되, 나선형 패턴으로 배치된 복수의 개구를 구비하며, 상기 공기 유입구 및 상기 복수의 개구와 유체적으로 상호 연결된 나선형 플레넘 챔버 및 상기 복수의 개구에 각각 배치된 복수의 다공성 매체를 포함하고, 상기 리드 스크류는 상기 복수의 다공성 매체 각각으로부터 이격된 나선산 표면을 포함하며, 복수의 개구 각각은 복수의 다공성 매체가 안착되는 시트를 포함한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

김경호

대전 유성구 노은서로100번길 14, 202호 (노은동)

시브 지. 카푸어

유니버시티 오브 일리노이 앳 어배너-섐페인 미케
니컬 엔지니어링 빌딩, 1206 웨스트 그린
스트리트, 어배너, 일리노이

제임스 주

유니버시티 오브 일리노이 앳 어배너-섐페인 미케
니컬 엔지니어링 빌딩, 1206 웨스트 그린
스트리트, 어배너, 일리노이

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 M01230

부처명 지식경제부

연구사업명 청정제조기반산업원천기술개발사업

연구과제명 차세대 Micro-Factory 첨단 요소기술 개발(2/2)

기 여 율 1/1

주관기관 기계연구원

연구기간 2010-09-01~2011-08-31

특허청구의 범위

청구항 1

공기 정압 공기 베어링으로서,

공기 정압 너트 및

상기 공기 정압 너트에 결합되는 리드 스크류를 포함하되,

상기 공기 정압 너트는,

그 내부로 공기를 유입하는 공기 유입구를 구비한 하우징;

상기 하우징 내에 배치되되, 나선형 패턴으로 배치된 복수의 개구를 구비하며, 상기 공기 유입구 및 상기 복수의 개구와 유체적으로 상호 연결된 나선형 플레넘 챔버 및

상기 복수의 개구에 각각 배치된 복수의 다공성 매체를 포함하고,

상기 리드 스크류는 상기 복수의 다공성 매체 각각으로부터 이격된 나선산 표면을 포함하며,

상기 복수의 개구 각각은 상기 복수의 다공성 매체가 안착되는 시트를 포함하는,

공기 정압 공기 베어링.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 개구는 상기 공기 정압 너트의 대향면 상에 쌍으로 형성되는 공기 정압 공기 베어링.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 다공성 매체 각각은 디스크 형상으로 이루어지는 공기 정압 공기 베어링.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 개구 각각은 원형 형상으로 이루어지는 공기 정압 공기 베어링.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 복수의 다공성 매체 각각은 그래파이트 재료를 포함하는 공기 정압 공기 베어링.

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 시트는 상기 개구 내부에 형성된 플랜지를 포함하는 공기 정압 공기 베어링.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 플랜지는 플렉서블한 공기 정압 공기 베어링.

청구항 9

제 7항에 있어서,
 상기 플랜지와 상기 다공성 매체 사이에 위치되는 판 스프링을 더 포함하는 공기 정압 공기 베어링.

청구항 10

제 1항에 있어서,
 상기 리드 스크류의 나사산 프로파일은 사다리꼴인 공기 정압 공기 베어링.

청구항 11

공기 정압 리드 스크류 액츄에이터로서,
 베이스;

상기 베이스에 회전가능하게 결합되며 나사산 표면을 포함하는 리드 스크류;

상기 베이스에 결합되며 상기 리드 스크류의 반대 측면 상에서 상기 베이스 상에 각각 배치된 제 1 및 제 2 가이드 레일로서, 상기 리드 스크류의 리드 스크류 축 및 상기 제 1 및 제 2 가이드 레일의 축이 서로 동일 평면 상에 위치되는 제 1 및 제 2 가이드 레일;

제 1 항 내지 제 5항, 제 7항 내지 제 10항 중 어느 한 항에 따른 공기 정압 너트;

상기 리드 스크류를 구동하기 위하여 상기 리드 스크류에 결합된 모터; 및

상기 공기 정압 너트의 상기 복수의 다공성 매체의 표면을 따라 균일한 래핑을 제공하기 위하여 상기 리드 스크류에 설치되는 래핑 모듈을 포함하는,

공기 정압 리드 스크류 액츄에이터.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 공기 정압 너트 하우징에 고정적으로 결합된 제 1 및 제 2 공기 부싱을 포함하며,

상기 제 1 및 제 2 공기 부싱을 통하여 상기 제 1 및 제 2가이드 레일이 각각 연장되는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터.

청구항 13

삭제

청구항 14

제 11항에 있어서,

상기 래핑 모듈은

상기 리드 스크류의 축의 두 부분을 지지하는 한 세트의 스프레더 바를 포함하고,

상기 스프레더 바는 상기 가이드 레일을 정렬하여 상기 가이드 레일의 축과 상기 리드 스크류의 축이 동일 평면 상에 놓이도록 하는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터.

청구항 15

제 11항에 있어서,

상기 공기 정압 너트의 하우징을 상기 가이드 레일에 부착하기 위한 두 개의 래핑 아우트리거를 더 포함하며,

상기 래핑 아우트리거는 래핑 동작동안 상기 가이드 레일의 틸트 및 요를 제한하는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터.

청구항 16

공기 정압 공기 베어링을 조립하는 방법으로서,

그 내부로 공기를 유입하는 공기 유입구를 구비한 하우징, 상기 하우징 내에 배치되며, 나선형 패턴으로 배치되며 시트가 포함된 복수의 개구를 구비하며, 상기 공기 유입구 및 상기 복수의 개구와 유체적으로 상호 연결된 나선형 플레넘 챔버를 구비한 공기 정압 너트를 제공하는 단계;

나사산 표면을 포함하는 리드 스크류를 제공하는 단계;

복수의 다공성 매체를 제공하는 단계;

상기 복수의 다공성 매체가 나선형 나사산 형상에 맞추어 지도록 상기 나사산 표면에 대하여 각각의 복수의 다공성 매체를 제 1 래핑하는 단계;

상기 각각의 개구 안으로 상기 다공성 매체를 삽입하는 단계;

상기 제 1 래핑된 다공성 매체의 표면 상에 표면 제한 층을 공급하는 단계; 및

상기 다공성 매체 각각을 제 2 래핑하는 단계를 포함하는

공기 정압 공기 베어링을 조립하는 방법.

청구항 17

제 16항에 있어서,

상기 제 1 래핑 단계에서는 상기 리드 스크류에 거친 연마용 화합물이 도포된 상태로 상기 리드 스크류 상에서 상기 너트가 자유로이 슬라이딩하여 상기 다공성 매체가 거칠게 래핑되고,

상기 제 2 래핑 단계에서는 상기 리드 스크류에 상기 제 1 래핑 단계에서 사용된 연마용 화합물보다 조밀한 연마용 화합물이 도포된 상태로 상기 리드 스크류 상에서 상기 너트가 자유로이 슬라이딩하여 상기 다공성 매체가 정밀하게 래핑되는 공기 정압 공기 베어링을 조립하는 방법.

청구항 18

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 공기 정압 공기 베어링, 이의 조립 방법 및 이를 이용한 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에 대한 것이다.

배경기술

[0002] 소형화 기술은 제조의 분야에서 새로운 도전에 직면해 있다. 마이크로 단위의 공작 기계(Micro-scale machine tools(MMTs))는 이와 같은 도전을 극복하기 위한 실용적이고 경제적인 옵션으로서 부상하고 있다.

[0003] 그러나 마이크로 단위의 공작 기계용 응용예들을 개발하는데 있어 기계 재료에 있어서 어려움이 발생하기 시작했다. 예를 들어, 티타늄, 스테인리스 강 및 대형 금속 유리를 강하게 회전시키고 마이크로 단위로 가공하는 것이 어렵다는 점이 마이크로 단위의 공작 기계에 있어서 직면한 도전 과제이다.

[0004] 이러한 응용예들은 마이크로 단위의 공작 기계에서 사용되는 액츄에이터에서 증가된 정적/동적 강성과 높은 댐핑을 필요로 한다. 선형 위치 설정, 볼 스크류를 위한 종래의 해결책들은 일반적으로 마이크로 단위의 공작 기계를 위해 필요한 위치 설정(positioning)을 달성하지 못하였다.

[0005] 마이크로 단위의 공작 기계를 위한 용도로 유압식 리드 스크류 액츄에이터 및 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터가 발전되어 왔다. 유압식 스크류는 지지분하며 중요한 지원 장비가 필요하다.

[0006] 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(Aerostatic lead screw actuators(ALSAs))는 필요한 강성을 제공할 뿐 아니라 극도로 높은 위치 설정 정밀도를 제공할 수 있는 잠재력을 갖는다. 공기 정압 리드 스크류는 너트로부터 스

크류로 하중을 전달하기 위하여 볼 대신에 공기 필름을 사용한다. 공기 정압 리드 스크류는 또한 백래쉬 및 스틱-슬립 마찰을 제거하므로 높은 성능의 마이크로 단위 공작 기계에 특히 적합한 것으로 보인다. 그러나, 공기 정압 리드 스크류의 제조에 있어서 당면한 큰 문제는 전체적인 나선형 나사 표면에 나사와 너트 사이의 정밀한 공극(air gap)을 유지하는 것이다.

[0007] 종래 기술로서 공기 정압 리드 스크류 디자인에는 오리피스-제한 및 다공성-제한 공기 베어링이 포함된다. 예를 들어, Tachikawa 등의, "Ultra Precision Positioning Using Air Bearing Lead Screw," Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 66, No. 645, pp. 1559-1566, 1997에서는 10nm의 위치 설정 정확성을 달성하는 다공성-제한 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터를 개시하고 있다. 그러나, 이와 같은 리드 스크류 액츄에이터 디자인은 상대적으로 낮은 강성(예를 들어, 30N/미크론)을 제공하고, 8개의 나사산 회전 (thread resolution)와 나사산 체결이 필요하며, 이에 따라 제조 비용이 현저하게 증가한다.

[0008] 흠이 형성된 오리피스-제한 공기 정압 리드 스크류용 제조 방법 및 디자인이 미국 특허 제 4,836,042호에서 Slocum에 의하여 개시된다. '042 특허에서의 나사산 디자인에 있어서의 특별한 특성으로 인하여 나사산 프로파일에서의 부정확성은 공극에서 볼 수 있는 오류를 두 배로 증가시킨다.

[0009] Slocum 등의 미국 특허 제 5,090,265호에는 정밀한 공극 조절을 요구하지 않는 유압식 리드 스크류 액츄에이터의 사용이 개시된다. 그 제조 공정은 절단 작업의 반복성을 극대화하기 위하여 동일한 공작 기계 상에서 나사산과 너트를 모두 가공하는 것에 기초한다. '265 특허에서는, 유체 기반의 오리피스-제한 리드 스크류 액츄에이터 디자인 및 제조 방법을 설명하고 있는데, 고압 공기, 오일 및 또 다른 유체가 작동 유체를 제공한다. 리드 스크류 액츄에이터는 공기 흐름을 제어하기 위하여 주요 방법으로서 오리피스 제한에 초점을 맞추고 있다. 상기 오리피스들은 너트와 스크류 사이에 공극을 형성하기 위하여 리드 스크류의 전체적인 나선산 측면으로 공기를 분배하는 흠을 제공한다.

[0010] 그러나, 그와 같이 공기 유동을 제어하기 위하여 오리피스 제한에 초점을 맞추는 것은 불안정과 진동에 매우 민감하다. 또한, '265 특허에서 리드 스크류 액츄에이터는 업계 표준이 아닌 사각 형태의 나사산 형태로 제한된다. 또한, '265 특허에서 나타난 제조 방법을 사용하면, 공극이 고려되는 위치에서 나사산 프로파일에 있어서의 부정확성이 배가 된다. 예를 들어, 만일 나사산 측면이 외측 지름에서 0.5미크론의 오차를 형성하는 약간의 각도를 가지고 있다면, 이는 공극에서 1 미크론의 오차를 생성할 것이다. 이와 같은 특성은 실질적으로 상기와 같은 방법으로 만들어진 스크류 상에서의 허용 오차가 반이 되도록 강제하는데, 그 결과 제조 비용이 증가된다. 이에 추가하여, '265 특허에서 공기 대신 다른 유체를 사용하는 것은 상당한 유체 지원 장비를 필요로 하는데 이는 마이크로 단위의 공작 기계 응용예와 같은 공작 기계 응용예에 있어서 덜 바람직한 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 일 실시예는 전체 공기 베어링 표면을 따라 고르게 공기 압력을 분배시키는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

[0012] 또한, 본 발명의 일 실시예는 마찰없는 동작을 제공하여 공기 베어링의 안정성이 증가된 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 측면에 따르면, 공기 정압 공기 베어링으로서, 공기 정압 너트 및 상기 공기 정압 너트에 결합되는 리드 스크류를 포함하되, 상기 공기 정압 너트는, 그 내부로 공기를 유입하는 공기 유입구를 구비한 하우징, 상기 하우징 내에 배치되되, 나선형 패턴으로 배치된 복수의 개구를 구비하며, 상기 공기 유입구 및 상기 복수의 개구와 유체적으로 상호 연결된 나선형 플레넘 챔버 및 상기 복수의 개구에 각각 배치된 복수의 다공성 매체를 포함하고, 상기 리드 스크류는 상기 복수의 다공성 매체 각각으로부터 이격된 나선산 표면을 포함하며, 상기 복수의 개구 각각은 상기 복수의 다공성 매체가 안착되는 시트를 포함하는, 공기 정압 공기 베어링이 제공된다.

[0014] 이 때, 상기 복수의 개구는 상기 공기 정압 너트의 대향면 상에 쌍으로 형성될 수 있다.

[0015] 이 때, 상기 복수의 다공성 매체 각각은 디스크 형상으로 이루어질 수 있다.

[0016] 이 때, 상기 복수의 개구 각각은 원형 형상으로 이루어질 수 있다.

- [0017] 이 때, 상기 복수의 다공성 매체 각각은 그래파이트 재료를 포함할 수 있다.
- [0018] 이 때, 상기 시트는 상기 개구 내부에 형성된 플랜지를 포함할 수 있다.
- [0019] 삭제
- [0020] 이 때, 상기 플랜지는 플렉서블할 수 있다.
- [0021] 이 때, 상기 플랜지와 상기 다공성 매체 사이에 위치되는 판 스프링을 더 포함할 수 있다.
- [0022] 이 때, 상기 리드 스크류의 나사산 프로파일은 사다리꼴일 수 있다.
- [0023] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터로서, 베이스, 상기 베이스에 회전가능하게 결합되며 나사산 표면을 포함하는 리드 스크류, 상기 베이스에 결합되며 상기 리드 스크류의 반대 측면 상에서 상기 베이스 상에 각각 배치된 제 1 및 제 2 가이드 레일로서, 상기 리드 스크류의 리드 스크류 축 및 상기 제 1 및 제 2 가이드 레일의 축이 서로 동일 평면 상에 위치되는 제 1 및 제 2 가이드 레일, 전술한 공기 정압 너트 및 상기 리드 스크류를 구동하기 위하여 상기 리드 스크류에 결합된 모터; 및 상기 공기 정압 너트의 상기 복수의 다공성 매체의 표면을 따라 균일한 래핑을 제공하기 위하여 상기 리드 스크류에 설치되는 래핑 모듈을 포함하는, 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터가 제공된다.
- [0024] 이 때, 상기 공기 정압 너트 하우징에 고정적으로 결합된 제 1 및 제 2 공기 부싱을 포함하며, 상기 제 1 및 제 2 공기 부싱을 통하여 상기 제 1 및 제 2 가이드 레일이 각각 연장될 수 있다.
- [0025] 이 때, 상기 래핑 모듈은 상기 리드 스크류의 축의 두 부분을 지지하는 한 세트의 스프레더 바를 포함하고, 상기 스프레더 바는 상기 가이드 레일을 정렬하여 상기 가이드 레일의 축과 상기 리드 스크류의 축이 동일 평면 상에 놓이도록 할 수 있다.
- [0026] 삭제
- [0027] 이 때, 상기 공기 정압 너트의 하우징을 상기 가이드 레일에 부착하기 위한 두 개의 아우트리거를 더 포함하며, 상기 아우트리거는 래핑 동작동안 상기 가이드 레일의 틸트 및 요를 제한할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 또다른 측면에 따르면, 공기 정압 공기 베어링을 조립하는 방법으로서, 그 내부로 공기를 유입하는 공기 유입구를 구비한 하우징, 상기 하우징 내에 배치되며, 나선형 패턴으로 배치되며 시트가 포함된 복수의 개구를 구비하며, 상기 공기 유입구 및 상기 복수의 개구와 유체적으로 상호 연결된 나선형 플래넘 챔버를 구비한 공기 정압 너트를 제공하는 단계, 나사산 표면을 포함하는 리드 스크류를 제공하는 단계, 복수의 다공성 매체를 상기 복수의 개구에 제공하는 단계, 상기 복수의 다공성 매체를 나선형 나사산 형상으로 맞추도록 상기 나사산 표면에 대하여 각각의 복수의 다공성 매체를 제 1 래핑하는 단계, 상기 각각의 개구 안으로 상기 다공성 매체를 삽입하는 단계, 상기 제 1 래핑된 다공성 매체의 표면 상에 표면 제한 층을 공급하는 단계; 상기 다공성 매체 각각을 제 2 래핑하는 단계를 포함하는 공기 정압 공기 베어링을 조립하는 방법이 제공된다.
- [0029] 이 때, 상기 제 1 래핑 단계에서는 상기 리드 스크류에 거친 연마용 화합물이 도포된 상태로 상기 리드 스크류 상에서 상기 너트가 자유로이 슬라이딩하여 상기 다공성 매체가 거칠게 래핑되고, 상기 제 2 래핑 단계에서는 상기 리드 스크류에 상기 제 1 래핑 단계에서 사용된 연마용 화합물보다 조밀한 연마용 화합물이 도포된 상태로 상기 리드 스크류 상에서 상기 너트가 자유로이 슬라이딩하여 상기 다공성 매체가 정밀하게 래핑될 수 있다.
- [0030] 삭제

발명의 효과

- [0031] 본 발명의 일실시예에 따른 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 전체 공기 베어링 표면을 따라 고르게 공기 압력을 분배할 수 있다.
- [0032] 본 발명의 일실시예에 따른 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 마찰없는 동작을 제공할 수 있으며, 이에 따라 안정성이 증가된다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에 설치되는 개별적인 공기 베어링 다공성 매체 삽입물은 공기 베어링에서의 스틱-슬립 마찰 및 백래쉬를 제거하고 마이크로 단위 공작 기계에서 수행되기에 충분한 강성을 제공하며, 제조시 허용 오차를 보다 느슨하게 한다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 공기 정압 공기 베어링의 일 예를 도시한 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 공기 정압 너트 하우징을 도시한 도면이다.
- 도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 래핑 모듈을 구비한 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 일 예를 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 래핑 모듈을 구비한 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 일부를 도시한 도면이다.
- 도 5는 도 3의 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 일부를 도시한 도면이다.
- 도 6는 본 발명의 일 실시예에 따른 리드 스크류를 위해 모델화된 사다리꼴 나선산 프로파일의 일 예를 도시한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 공기 정압 공기 베어링을 조립하는 방법의 순서도이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 예시적인 거친 래핑 이후의 그래파이트 디스크 삽입물을 도시한 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 거친 래핑 이후의 그래파이트 디스크 삽입물을 홈에 삽입 (potting)하는 예시적인 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.
- [0036] 본 발명의 일 실시예는 높은 강성과 거의 마찰이 없는 운동을 하는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(ALSA) 조립체에 대한 것이다. 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 리드 스크류의 회전 운동을 공기 정압 너트의 직선 운동으로 변환하는 거의 마찰이 없는 장치이다. 이 시스템에서, 모든 이동하는 연결부가 일련의 공기 베어링을 통하여 비접촉하도록 제공됨으로써 거의 마찰이 없는 운동이 달성된다. 공기 베어링은 두 기계 몸체 사이의 공극을 형성하기 위하여 양력을 생성하는 가압된 공기에 의하여 작동한다. 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 스틱-슬립 마찰 및 백래쉬를 거의 제거한다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예는 다공성-제한 공기 베어링(porous-restriction air bearing)을 제공한다. 이와 같은 타입의 제한은 오리피스-제한 공기 베어링과 비교할 때 보다 안정적인 공기 베어링을 구성한다.
- [0038] 예시적인 제조 공정은 또한 삽입가능한 다공성 재료를 사용하여 단순화된다. 다공성 재료의 고체 블록을 사용하는 공기 정압 너트의 제조와 반대로, 삽입가능한 다공성 재료(다공성 매체 삽입물)는, 다공성 매체가 나선형 너트 기하와 쉽게 일체화되도록 한다.
- [0039] 또한, 다공성 매체 삽입물을 위한 예시적인 통합 래핑 모듈 및 예시적인 판 스프링은 공극 안에서의 오차를 보상하고 제조된 요소 상에서 더 낮은 공차가 설정되도록 하여, 비용을 절감한다.
- [0040] 도 1 내지 도 4, 도 8 및 도 9에 도시된 바와 같이, 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 장치는 공기 정압 리드 스크류용 공기 정압 너트(10)를 제공하며, 이 때, 유체(예를 들어, 공기와 같은 가압된 공기)가 공기 정압 너트(10)와 리드 스크류(4) 나선산 측면 사이의 비접촉 인터페이스를 형성하도록 공급될 수 있다.
- [0041] 공기 정압 너트(10)는 그 안에 나선형 패턴으로 배치된 일련의 개구(16)를 구비한 하우징(12)을 포함할 수 있다. 추가로 하우징(12)에는 공기와 같은 유체를 위한 유입구(14)와, 상기 유입구(14)와 일련의 개구 각각이 유체적으로 상호 연결된다. 이러한 유체 상호 연결 또는 유체 상호 연결들은 바람직하게 상기 유입구(14)를 통하여 상기 일련의 개구(16) 각각으로 실질적으로 균일한 유체(예를 들어, 공기) 압력이 공급되는 것을

허용한다. 예시적인 공기 정압 너트(10)에서, 이는 하우징(12) 내에 배치된 나선형 플레넘 챔버(helical plenum chamber) (20)에 의하여 제공된다.

- [0042] 개구(16)는 나선형 패턴으로 나선형 플레넘 챔버(20)의 표면 상에 배치된다. 나선형 플레넘 챔버(20)는 상기 유입구(14)를 구비한 개구(16)와 유체 소통가능하게 형성되어 균일하거나 또는 실질적으로 균일한 공기 압력이 각각의 개구를 통하여 제공된다.
- [0043] 공기 베어링에 제한을 제공하기 위하여 도 1 및 다른 도면에 도시된 바와 같이 삽입가능한 다공성 매체(30)에 의하여 각각의 개구(16)가 덮힌다.
- [0044] 일 실시예에서, 다공성 매체(30)는 디스크 형상이며, 상기 개구(16)는 일반적으로 원형인 형상을 가지나, 디스크 및/또는 개구는 다른 다양한 형상으로 이루어질 수 있다.
- [0045] 비제한적인 예시적인 다공성 매체(30)는 그래파이트 다공성 매체(graphite porous media)이다. 다공성 매체(30)는 개구(16) 안에 적합한 방법으로 삽입될 수 있고, 부착에 제한되지 않는 방법을 사용하여 결합될 수 있다.
- [0046] 다공성 매체(30)의 외주면에는 O-링(34)이 설치되어 다공성 매체(30)가 개구(16)에 설치된 상태에서 다공성 매체(30)의 외측면을 통하여 공기가 통과하는 것을 방지한다.
- [0047] 다공성 매체(30)는 하나 또는 그 이상의 래핑 공정을 통하여 형성될 수 있는데, 그 예가 다공성 매체(30)를 리드 스크류(4) 나사산 표면(5)에 형성하기 위한 과정이 도 8 및 도 9의 다공성 매체 및 도 3 내지 도 4의 래핑 모듈에서 보여지며 하기에서 설명된다.
- [0048] 리드 스크류(4) 나사산 표면(5)에서 제조시 변형을 고려하기 위하여, 개구(16)는 그 위에 삽입물이 배치되는 시트(seat)를 포함하는 것이 바람직하다. 비제한적이며 예시적인 공기 정압 너트에서, 이 시트는 개구 안에서와 같이 하우징 안으로 형성된 플랜지로 제공될 수 있다.
- [0049] 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(ALSA) (1)는 본 명세서에서 설명되는 공기 정압 너트(10)와 같은 공기 정압 너트 및 상기 공기 정압 너트에 결합되는 리드 스크류(4)를 포함한다.
- [0050] 리드 스크류(4)는, 리드 스크류(4)가 공기 정압 너트(10)에 결합되었을 때 개구(16)와 다공성 매체 디스크 삽입물(32) 사이에 제공되는 공극(22)에 의하여 공기 정압 너트(10)로부터 분리되는 표면(5)을 갖는 리드 스크류 나사산을 포함한다. 비제한적인 실시예에서, 리드 스크류(4) 나사산 프로파일은 실질적으로 사다리꼴이다.
- [0051] 모터(6)에 제한되지 않는 적합한 구동 장치가 리드 스크류(4)를 회전시키고 리드 스크류 액츄에이터(1)를 구동시키기 위하여 제공될 수 있다.
- [0052] 도 3 내지 도 5를 참조하면, 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(1)는, 베이스(2), 상기 베이스(2)에 회전가능하게 결합된 리드 스크류(4), 상기 리드 스크류(4)에 결합된 공기 정압 너트(10)를 포함하며, 예를 들어, 상기 리드 스크류(4)의 축이 상기 공기 정압 너트(10)의 개구를 통과하여 지난다.
- [0053] 리드 스크류(4)는 나사산 표면(5)을 포함하는데, 이는 공극(22)에 의하여 공기 정압 너트(10)로부터 분리된다. 모터(6)에 제한되지 않는 액츄에이터가 리드 스크류(4)를 구동(예를 들어, 회전)시키기 위하여 베이스(2)에 결합된다.
- [0054] 예시적인 조립체에서, 강성을 증가시키기 위하여, 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)이 베이스(2)에 결합되며 상기 리드 스크류(4)의 대향 면 상에 배치된다.
- [0055] 도 5를 참조하면, 공기 정압 너트(10)는 육면체 형상의 너트 하우징(40)에 의하여 공기 정압 너트(10)의 회전축에 대하여 반경 방향으로 원통형인 외측면이 둘러싸이도록 형성된다. 너트 하우징(40)의 일측에는 너트 하우징 공기 주입부(42)가 형성되어 공기 정압 너트(10)의 플레넘 챔버(20) 안으로 공기가 주입되도록 한다.
- [0056] 연장부, 예를 들어, 아우트리거(outtrigger)가 너트 하우징(40)의 어느 한 측면에 고정적으로 결합된다. 아우트리거(60)에 공기 부상(48)이 결합된다. 공기 부상(48) 각각의 중앙에는 개구가 제공된다. 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)은 각각의 연장부, 예를 들어 아우트리거(60)의 개구를 통과하여 지나며, 그 결과 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)의 축과 리드 스크류(4)의 축이 동일 평면 상에 놓이거나 또는 실질적으로 동일 평면 상에 놓여진다.
- [0057] 리드 스크류(4)는 회전을 위하여 베이스(2)에 결합된 적합한 부상(지지 부상(66), 스러스트 부상(68)) 안에 배치될 수 있다.

- [0058] 예시적인 리드 스크류 액츄에이터(1)를 위한 공기 정압 너트(10)는 일반적으로 하우징(12), 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(insurt) (32), 나선형 플레넘 챔버(20) 및 플랜지(flange) (18)를 포함한다.
- [0059] 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)은 나선형 나사산 형상으로 고품의 다공성 몸체를 형성하는 공정의 어려움을 피하면서 나선형 패턴으로 다공성 재료를 통합하는 것이 가능하도록 한다.
- [0060] 본 실시예의 나선형 플레넘 챔버(20)는 디스크 삽입물(32) 각각에 공기 유동을 균일하게 공급하는 것을 보장하기 위하여 동일한 입구 압력으로 모든 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32) (예를 들어, 디스크에 포함된 개구를 유체적으로 상호 연결)을 상호 연결한다.
- [0061] 예시적인 실시예에 따른 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(1)는, 복수로 동시에 공기 베어링 표면을 형성하기 위하여 리드 스크류(4)의 사다리꼴 나사산(에 근접하여)에 대하여 공기 정압 너트(10)의 하우징(12) 안에 나선형 패턴으로 배열된 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)을 포함한다.
- [0062] 상기 공기 정압 너트(10)의 하우징(12)은 동일한 공기 공급 압력으로 모든 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)과 상호 연결되는 나선형 플레넘 챔버(20) 및 상기 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)의 작동을 지지하기 위한 플랜지(18)를 포함한다.
- [0063] 공기 베어링 표면은 양력을 생성하고 거의 마찰 없는 동작 및 높은 축방향 강성을 제공하기 위하여 공기 정압 너트(10)와 리드 스크류(4) 나사산 사이에 공기 필름을 형성한다.
- [0064] 다공성 매체 디스크 삽입물(32)은 바람직하게 리드 스크류(4) 안의 제조시 결함을 보상하도록, 각각의 개구(16) 안의 플랜지(18) 상에 배치되어 있다. 보다 정밀하게 제어된 공극을 유지하기 위하여 리드 스크류 측면 상의 높고 낮은 위치에 대응하여 판 스프링(36)이 설치된다.
- [0065] 정밀 래핑 모듈(50)이 또한 액츄에이터의 제조 동안 그래파이트 디스크 삽입물(32)의 지속적인 래핑이 가능하도록 예시적인 조립체 디자인 안에 병합된다. 예시적인 공기 정압 너트(10)는 현존하는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 이상으로 현저하게 향상된 장점을 갖는다.
- [0066] 본 예시적인 형상에 따르면, 상대적으로 높은 강성을 얻는 것이 가능하다. 일 실시예로서, 단일 나사산 회전과 체결될 때 50N/미크론이 달성된다. 하나의 공기 정압 너트 이상과 결합하는 직선형 시스템은 또한 더 높은 강성 값을 얻을 수 있다.
- [0067] 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 미크론 단위 이하의 정확성, (120psi의 공급 압력에서) 50N/ μm 의 강성, (예를 들어, 827kPa 이하에서) 낮은 입구 공기 압력, 및 50mm의 이동 길이를 갖는 거의 마찰이 없는 동작을 제공한다. 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터를 경제적으로 제조하기 위하여, 이동 전체 길이에 걸쳐 미크론 단위 이하의 위치 설정 정확성을 갖는 적어도 50N/ μm 의 정적 강성이 제공되는데, 특히 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 정밀 접지 리드 스크류와 결합한 다공성-제한 그래파이트 공기 베어링을 사용한다.
- [0068] 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 특징을 이하 설명한다. 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 4개의 중요한 평가 파라미터는 마찰 토크, 강성, 공기 압력 및 이동 거리를 포함한다. 이러한 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 평가 파라미터들은 종종 미크론 이하 액츄에이터의 정확성을 유지하면서 높은 동적 절삭력을 수용하고자 하는 목적에 기초하여 평가된다.
- [0069] 마찰 토크: 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 위치 설정 정확성은 액츄에이터의 고유 마찰에 매우 종속된다. 마이크로 단위 부품에서의 공차는 일반적으로 1-3 μm 범위이다. 본 발명의 실시예에 따른 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에 대하여, 목표 정확성은 미크론 이하 범위로 제공된다. 이와 같은 마이크로 범위의 정확성을 달성하기 위하여, 본 실시예에 따른 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에서는 스틱-슬립 마찰이 거의 제거되어야 한다. 0.1N-m의 토크가 액츄에이터 안에서의 모든 고유 마찰을 극복할 수 있을 경우 마찰은 무시할 수 있는 것으로 간주될 수 있다.
- [0070] 강성: 마이크로 공작 기계의 작동에서, 변형은 표면 거칠기 및 부품의 정확성에 큰 영향을 미친다. Ellicott 등의, "achinability Investigation of Micro-Scale Hard Turning of 52100 Steel," Transactions of NAMRI/SME, Vol. 37, pp. 143-150, 2009의 연구 결과에서는, 소형 베어링(HRC 65)의 강한 회전 동안 5-12N 사이의 크기를 갖는 절삭력이 관찰되었다. 대부분의 절삭 조건 하인 200nm 이하로 변형이 이루어지는 것을 보장하기 위하여 50N/ μm 의 강성이 중요하다.
- [0071] 공기 압력: 일반적인 공장 설정에서 공기 압축기는 대략 827kPa(120PSI)에서 최고치를 갖는다. 이는 예시적인

공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에 공급될 수 있는 유입 압력을 위한 예시적인 제한 인자를 제공한다.

- [0072] 이동 거리: 마이크로 공작 기계를 위한 이동 거리는 전형적인 마이크로 스케일 공작 기계의 이동 거리보다 매우 작다. 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 적용예에서는 50nm 의 이동 거리가 선택된다.
- [0073] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(1)의 다공성 공기 베어링의 단면도이다.
- [0074] 공기 정압 너트(10) 안에서, 공기가 플레넘 챔버(20) 안으로 들어가는데, 상기 플레넘 챔버(20)는 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)과 같은 다공성 매체(30)에 결합(예를 들어 연결)된다. 이러한 다공성 매체(30)는 공기 유동을 제어하는 제한자로서 역할을 한다.
- [0075] 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)은 기계적으로 플랜지(18)에 결합된다. 이 때, 상기 삽입물(32) 상에서 지속적으로 하측 방향으로 향하는 힘을 유지하기 위하여 본 예시적인 시스템 안에서 상대적으로 강성의 기계적인 판 스프링(36)이 플랜지(18)와 다공성 매체(30) 사이에 위치될 수 있다. 한편, 판 스프링(36)이 플랜지(18)와 다공성 매체(30) 사이에 위치되지 않고 플랜지(18)가 플렉서블한 굴곡부를 형성하여 판 스프링을 대신하는 것도 가능하다.
- [0076] 다공성 매체(30) (예를 들어, 그래파이트 디스크 삽입물(32))를 통과한 공기 유동은 공기 베어링 표면에 도달하고 다공성 매체(30)와 리드 스크류 표면(5) 사이의 공극(22)을 형성하는 양력을 생성한다. (예를 들어 그래파이트 디스크 삽입물(32)) 재료의 다공성 특성 때문에, 공기 흐름은 전체 공기 베어링 표면을 따라 균일하게 분배된다.
- [0077] 판 스프링(36)에 의하여 제공되는 하측 방향으로 향하는 힘과 공기 유동의 양력 사이의 균형이 본 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(1)에 필요한 강성을 제공하는 공극(22)을 형성한다.
- [0078] 도 2는 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 예시적인 공기 정압 너트(10)의 하우징(12)을 도시하고 있는데, 공기 정압 너트(10) 안에 그래파이트 다공성 매체(30) (또는 또다른 적합한 다공성 매체)를 포함하는 예시적인 도면을 제공한다.
- [0079] 비제한적인 실시예로서, 공기 정압 너트(10)의 하우징(12)은 알루미늄, 강 또는 스테인리스 강으로 제조된다.
- [0080] 양방향 강성을 얻기 위하여, 본 예시적인 공기 정압 너트(10) 안의 반대 면 상에 디스크 삽입물(32)들이 쌍으로 제공된다.
- [0081] 도 2의 예시적인 공기 정압 너트(10)에는, 다공성 매체(30)로서 제공되는 9 쌍의 디스크 삽입물(32)이 위치되고, 그에 따라 본 실시예에서는, 공기 정압 너트(10)의 각 면 상에 9개의 개구(즉, 너트의 반대 면에 두 개의 개구)가 형성된다.
- [0082] 이러한 쌍의 디스크 삽입물(32)들은 리드 스크류 나사산의 측면에 대향하여 지지되며, 리드 스크류(4)와 공기 정압 너트(10) 사이의 공극(22)을 형성하기 위하여 공기가 이동하는 매체로서 작용한다.
- [0083] 각각의 디스크 삽입물(32)은 플랜지(18)에 의하여 지지된다. 플랜지(18)와 다공성 매체(30) 사이에는 판 스프링(36)이 위치된다. 너트 하우징(12) 안에 형성된 플랜지(18)에 의하여 지지될 수 있는 판 스프링(36)은 리드 스크류(4) 상의 높은/낮은 지점에 대응하여 변형되고, 공극(22) 내성을 증가시킨다.
- [0084] 본 실시예의 공기 정압 너트(10)에서 다공성 매체(30)는 각각의 다공성 매체(30)에 동일한(또는 실질적으로 동일한, 예를 들어 402 내지 420 kPa이내의) 유입 압력을 공급하는 나선형 플레넘 챔버(20)에 의하여 모두 상호 연결된다.
- [0085] 도 2에 도시된 예시적인 공기 정압 너트(10) 디자인은 다공성 디스크 삽입물(32) (예를 들어 그래파이트 디스크 삽입물)이 나사산 프로파일의 외형을 따르도록 조립되는 것이 가능하게 한다.
- [0086] 공극(22)이 수 마이크론의 범위 안에서 유지되도록 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)의 표면이 리드 스크류(4)의 나선형 표면(5)에 맞도록 하기 위하여, 예시적인 실시예는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(1)와 결합된 래핑 모듈(50)을 제공한다.
- [0087] 도 3은 모든 그래파이트 디스크 면을 따라 균일한 래핑을 제공하기 위하여 본 실시예의 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터(1) 안에 포함되는 예시적인 일체의 래핑 모듈(50)을 포함하는 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 디자인을 도시한다. 도 4에는 보다 명확하게 예시적인 래핑 모듈(50)의 특정 요소들이 도시된다. 모든

이동 접촉들이 본 예시적인 디자인에서 공기 베어링에 의하여 지지되기 때문에 거의 마찰 없는 작동이 달성될 수 있다.

- [0088] 예시적인 래핑 모듈(50)에서 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)은 리드 스크류(4)의 두 개의 축 부분을 지지하는 한 세트의 스프레더 바(52)에 의하여 유지된다.
- [0089] 상기 스프레더 바(52)는 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)을 정렬하여 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)의 축과 리드 스크류(4)의 축이 동일 평면 상에 놓이도록 한다.
- [0090] 정렬되었을 때, 공기 정압 너트(10)의 너트 하우징(40)은 래핑 동작동안 틸트(tilt) 및 요(yaw)를 제한하는 두 개의 래핑 아웃트리거(outtrigger) (60)를 통하여 가이드 레일에 부착된다. 제조 후에, 상기 제 1 및 제 2 가이드 레일(62,64)은 또한 일반적인 작동시 예시적인 액츄에이터에 추가적인 반경 방향 강성을 제공한다.
- [0091] 리드 스크류(4)를 회전가능하게 지지하기 위하여 리드 스크류(4)에는 지지 부싱(66) 및 스러스트 부싱(68)이 제공된다.
- [0092] 비제한적이며 예시적인 공기 정압 리드 스크류 디자인에서, 모터는 에어로텍 프레임리스 토크 모터(Aerotech frameless torque motor)이고, 모든 부싱은 뉴 웨이 공기 부싱(New Way air bushing)이며, 이는 액츄에이터를 비접촉 상태로 유지한다.
- [0093] 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 조립은 바람직하게 다음 단계를 포함한다.
- [0094] 1. 아웃트리거(60)가 초기에 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64) 상에서 슬라이딩되고, 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64)은 스프레더 바(52) 쪽으로 압축 설치된다. 이러한 하위 조립체는 참조 표면으로서 리드 스크류(4) 축의 일부를 사용하는 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 상단부 상에 위치된다.
- [0095] 2. 그 후, 공기 정압 너트(10)가 상기 리드 스크류(4) 상에 슬라이딩된다.
- [0096] 3. 정밀 스페이서(54)가 상기 스프레더 바(52)를 오프셋하기 위하여 사용되며 그에 따라 제 1 및 제 2 가이드 레일(62, 64) 축이 리드 스크류(4) 축과 정렬된다. (도 4의 A 및 B 지점)
- [0097] 4. 래핑 모듈(50)이 적합하게 정렬되었을 때, 스프레더 바(52)가 베이스(2)에 고정되고 정밀 스페이서(54)가 제거된다.
- [0098] 5. 그 후, 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 전체의 정렬 및 조립 후에 홀 안으로 가압 맞춤되는 장부 맞춤 핀(dowel pin)을 통하여 공기 정압 너트(10)가 아웃트리거(60)에 접촉된다.(도 5 참조)
- [0099] 나사산의 기하 및 프로파일 공차는 본 실시예의 리드 스크류(4)에 대한 두 개의 중요한 설계 파라미터이다. 본 실시예의 공기 베어링이 스크류의 측면 상에서 작동하기 때문에 스크류의 나사산 각도는 반경 방향 및 축 방향 강성에 모두 영향을 준다. 예시적인 액츄에이터에 대하여, 축방향 강성은 중요한 파라미터인데 이는 시스템의 위치 설정 정확성에 직접적인 영향을 주기 때문이다. 반경 방향 강성은 예를 들어 한 세트의 가이드 레일을 제공하는 방법과 같이 다른 방법으로도 얻을 수 있다. 이상적으로, 사각 나사산이 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에서 최대의 축방향 강성을 달성하도록 적용되어야 한다. 그러나, 90도의 나사산 각도는 그라인딩 공정을 매우 비싸게 만든다. 따라서, 예시적인 실시예에서, 25mm 피치(P) 및 30도의 나사산 각도(α)를 갖는 사다리꼴 형상의 나사산이 제공된다. 본 실시예의 나사산 프로파일의 기하가 도 6에 도시되어 있다. 그러나, 나사산 프로파일은 도시된 특정 나사산 프로파일에 제한되지 않는다. 예를 들어, 나사산 프로파일은 공기 정압 너트가 나사산 사이에 맞추어질 수 있는 어떠한 프로파일로도 이루어질 수 있다. 비제한적인 예로서 애크미(acme), 사다리꼴, 사각형 등이 있다.
- [0100] 다공성 그래파이트 디스크 삽입물(32)이 공기 정압 너트(10)의 하우징(12)에 포함될 수 있도록 나사산 사이의 공간을 최대화 하는 것이 바람직하다. 도 6에 도시된 예시적인 프로파일에서는 나사산 사이의 거리를 증가시킴으로써 이를 달성하였다.
- [0101] 공기 유동 순환: 예시적인 공기 유동 제한 매체로서 다공성 그래파이트를 사용할 때, 공기 베어링 성능, 즉, 유입 압력 및 투수성에 영향을 주기 위하여 제어될 수 있는 두 개의 주요한 파라미터들이 있다. 유입 압력은 다공성 그래파이트 디스크 삽입물 각각에 적용되는 압력이다. 투수성은 유체를 전달하는 다공성 재료의 성능의 척도이다. 이러한 두 개의 파라미터들은 공기 정압 너트의 전체 강성에 영향을 미친다. 예시적인 작동 동안 공기 압력은 전형적인 인자 설정에서 120PSI 이하로 유지된다.

[0102] 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에 요구되는 정강성(static stiffness)을 산출하는 유입 압력 및 투수성을 계산하기 위하여, 다공성 재료를 통과하는 공기 유동 및 공극을 통과하는 공기 유동이 먼저 결정된다. 공기 유동 분석은 단일의 다공성 그래파이트 디스크 삽입물 상에서 수행된다. 이는 예시적인 공기 정압 너트에 서 각각의 개별적인 다공성 디스크에 대한 양력 및 강성 플롯의 생성을 가능하게 한다.

[0103] 다음과 같은 다시(Darcy)의 모델을 이용하여 다공성 재료를 통과하는 유동을 계산한다.

$$[0104] \quad \dot{m} = \frac{A_p k_y (P_2^2 - P_1^2)}{2\mu \mathfrak{R} T H} \dots\dots\dots(1)$$

[0105] 이 때, \dot{m} 은 질량 유량, A_p 는 단면적, k_y 는 투과 상수, P_2 및 P_1 은 각각의 유입 및 유출 압력, μ 는 공기의 점도, \mathfrak{R} 는 공기에 대한 가스 상수, T 는 대기 온도(300K), 그리고 H 는 다공성 매체의 두께이다.

[0106] 다공성 매체를 통한 질량 유량은 상기 식 (1)을 사용하여 알 수 있기 때문에, Plante 등에 의한, " Design Model for Circular Porous Air Bearings Using the 1D Generalized Flow Model," 15 Precision Engineering, Vol. 29, No. 3, pp. 336-346, 2005에 의하여 발전된 1차원으로 형성된 유동 방법이 주어진 공극에 대한 양력을 구하는데 사용된다. Plante 등에 의하여 개발된 상기 모델은 주어진 비행 고도/공극에 대한 가이드 표면과 다공성 매체 사이의 공극 안에서의 모델 유동 특성으로서 차동 셸 요소(differential shell elements)에 기초한다. 양력이 계산되면 강성은 하기 식에 의하여 결정될 수 있다.

$$[0107] \quad \text{stiffness} = \frac{dF}{dh} \dots\dots\dots(2)$$

[0108] 이 때, F 는 양력이며, h 는 비행 고도이다.

[0109] 상기 모델은 양력 및 강성에 대한 유입 압력의 효과를 매개 변수에 의해 연구하는데 사용될 수 있다.

[0110] 일반적인 제조 공정: 다공성 공기 베어링을 사용하는 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에 있어서, 일반적인 예시적인 제조 공정은 다음 단계들을 포함한다. (도 7 참조)

[0111] 1 단계: 공기 정압 적용을 위하여 적합한 프로파일 허용 오차를 갖는 공기 정압 너트(10)의 하우징(12), 정밀 접지 리드 스크류(4) 및 다공성 매체(30)를 포함하는 기본 부품을 제조한다. (S10, S20, S30)

[0112] 2단계: 다공성 매체(30)인 그래파이트 디스크 삽입물(32)을 나선형 나사산 형태에 맞추기 위하여 리드 스크류에 대항하는 다공성 매체(30) 상에 거친 래핑 작업을 수행한다. (S40)

[0113] 3 단계: 공기 정압 너트(10)를 리드 스크류(4) 상에서 슬라이딩 시킬 때 견고한 맞춤을 보장하기 위하여 판 스프링(36)과 함께 그래파이트 디스크 삽입물(32)을 공기 정압 너트(10)의 개구(16)에 삽입한다.(S50)

[0114] 4 단계: 거칠게 래핑된 그래파이트 디스크 삽입물(32) 표면 상에 표면 제한 층을 적용한다. (S60)

[0115] 5 단계: 적합한 래핑 화합물을 이용하여 최종 래핑 작업을 수행한다. (S70)

[0116] 공기 정압 너트(10)의 하우징(12) 및 접지 리드 스크류(4)의 제조를 위한 고려 사항은 전술하였다. 추가적인 예시 제조 단계는 이하에서 보다 상세하게 설명된다. 도 3 내지 도 5 에 도시된 래핑 모듈이 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 제조 동안에도 사용될 수 있다.

[0117] 거친 래핑 작업(S40): 그래파이트 디스크 삽입물(32) 상의 거친 래핑 작업은 공기 베어링 표면이 리드 스크류(4) 나사산의 기하학적인 프로파일에 대략적으로 맞추어지는 것을 보장한다. 예시적인 나사산의 나선형 형상은 궤적을 따르기 때문에, 그래파이트 디스크 삽입물(32) 표면은 도 8에 도시된 바와 같이 곡면부(33)를 가져야 한다. 그들의 평 표면이 나사산의 곡면에 맞지 않기 때문에, 처음에 그래파이트 디스크 삽입물(32)은 나사산 상에서 슬라이딩하지 않을 것이므로, 거친 래핑이 예시적인 제조 작업에서 사용된다. 따라서, 거친 래핑 동안 너트의 단지 한 면만이 한 번에 래핑된다.

[0118] 거친 래핑 작업 동안, 리드 스크류(4)에는 연마용 화합물이 도포된다. 이 때, 연마용 화합물은 그릿 사이즈가

거친, 예를 들어 4um인 가넷이 사용될 수 있다.

- [0119] 이 때, 너트 하우징(12) 안에 그래파이트 디스크 삽입물이 조립된 상태로 리드 스크류(4) 상에서 너트(10)가 자유로이 슬라이딩함으로써 그래파이트 디스크 삽입물이 거친 래핑된다. 그래파이트 디스크 삽입물(32)은 거친 래핑 작업 이후 예시적인 공기 정압 너트(10)의 하우징(12) 안에 (예를 들어, 도 9에 도시된 바와 같이) 위치된 위치 설정 개구(16) 안에 놓여진다.
- [0120] 예시적인 공기 정압 리드 스크류(4) 액츄에이터가 분해되었을 때, 각각의 그래파이트 디스크 삽입물(32)은 그 대응되는 위치 설정 개구(16)와 매칭되며 정렬 마크(56)를 사용하여 맞추어진다. 그러나, 거친 래핑 작업 동안 제거된 재료의 측정은 그래파이트 디스크 삽입물(32)의 굽어진 표면 및 참조 표면의 부재로 기인하여 어렵다.
- [0121] 예시적인 거친 래핑 작업 동안, 그래파이트 디스크 삽입물(32)이 과하게 래핑되면, 그 결과 과도한 백래시가 공기 정압 너트(10) 안에서 발생한다. 이에 따라, 공기 정압 너트(10) 내에서 백래시를 제거하기 위하여 그리고 견고한 맞춤을 보장하기 위하여 그래파이트 디스크 삽입물(32) 배면과 플랜지(18) 사이에 판 스프링(36)이 놓여지고 다시 전체 그래파이트 디스크 삽입물(32)에 대하여 거친 래핑이 이루어진다.
- [0122] 도 9는 그래파이트 디스크 삽입물(32)이 그들의 개별적인 개구에 놓여지기 전의 예시적인 공기 정압 너트(10)의 하우징(12) 형상을 도시한다. 플랜지에 그래파이트 디스크 삽입물(32)을, 예를 들어 에폭시를 사용하여 접착하는 것과 같은 예시적인 방법으로 그래파이트 디스크 삽입물(32)이 제 위치에 놓여진다. (S50)
- [0123] 표면 층 제한(S60): 다공성 그래파이트 디스크 삽입물의 투수성은 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터의 강성에 영향을 주는 중요한 파라미터이다. 공기 정압 리드 스크류 안으로 정확한 체적의 공기 유동을 보장하기 위하여 이 파라미터를 제어하는 것이 도움이 된다. 투수성은 사용되는 그래파이트 재료의 다공성 제한에 직접적인 상관 관계가 있다. 공기 베어링 적용에 있어서, 안정적인 베어링 작동을 보장하기 위하여 공기 유동의 제한은 중요하다. 따라서, 공기 베어링이 가이드 표면에서 결함을 만났을 때 너무 많은 공기가 틈새 안으로 유입되는 것을 방지하기 위하여 예시적인 다공성 매체는 댐퍼로서 작용한다.
- [0124] 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터에서, 3개의 일반적인 제한 사항- 입자 오염, 래핑에 기인한 버어(burr), 수지 함침-이 맞닥뜨려질 수 있다. 다공성 매체 안에서의 입자 오염은 (예를 들어 대기 조건에 기인하여) 피할 수 없는 것처럼 보인다. 다공성 그래파이트 디스크 삽입물의 초음파 세척은 오염에 의하여 야기되는 대부분의 막힘을 제거할 수 있다. 또 다른 제한 사항은 래핑 작업 동안 맞닥뜨려질 수 있는데, 래핑 이후, 그래파이트 파편 및 버어(burr)가 접혀서 구멍에 얼룩을 남기고, 다공성 그래파이트 디스크 삽입물을 통한 공기 유동을 막을 수 있다.
- [0125] 입자 오염 및 래핑이 야기한 제한과 관련하여, 투수성을 제어하기 위한 예시적인 방법으로서 Rasnik 등이, "Porous Graphite Air-Bearing Components as Applied to Machine Tools," Society of Manufacturing Engineers, Technical Report MRR74-02, 1974에서 개시한 기술과 같은 표면 층 제한 기술을 사용한다. 상기 기술에서는 용매 안에 용해된 수지가 공기 베어링 표면에 적용되고 공기 유동을 방해하기 위하여 진공에 의해 구멍 안으로 밀려들어간다. 공기 유동이 측정되고, 측정된 값이 목표 공기 유동보다 크지 또는 작을지에 따라, 보다 많은 수지가 공급되거나 또는 표면에 이미 붙어있는 미리 존재하는 래커 중 일부를 씻어 내기 위하여 용매가 사용된다. 이러한 방법은 원하는 유량이 달성될 때까지 반복된다. 이러한 제한 사항을 조작함으로써, 다공성 매체는 공기 베어링이 가이드 표면에서 결함을 만났을 때 공극 안으로 너무 많은 공기가 유동하는 것을 방지하는 댐퍼로서 작용할 것이다.
- [0126] 마지막 래핑 작업(S70): 너트(10)가 리드 스크류(4) 안으로 슬라이딩된 후 마지막 래핑을 수행하며 스테이지는 예시적인 정밀 래핑 모듈로 완전히 조립된다.
- [0127] 마지막 래핑 단계에서는 리드 스크류(4)에 거친 래핑 단계에서 사용된 연마용 화합물보다 조밀한, 예를 들어, 그리트 사이즈가 3um인 아이론 옥사이드 또는 1um의 레드 로우즈와 같은 연마용 화합물이 도포된 상태로 리드 스크류(4) 상에서 너트(10)가 자유로이 슬라이딩하여 다공성 매체(30)가 정밀하게 래핑된다.
- [0128] 마지막 래핑은 공기 정압 너트(10)의 양 면이 맞춤 표면 프로파일 및 리드 스크류 측면과 정확한 공극을 가지는 것을 보증한다. 0.1 N-m 의 마찰 토크 요구 사항이 달성되었을 때, 스테이지는 분해되고 마지막 조립 전에 깨끗해진다.
- [0129] 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터가 완성된 후, 예시적인 래핑 모듈(50)은 전체 액츄에이터의 강성을 증가시키기 위하여 축 방향 가이드 레일로서 작동하도록 마지막 액츄에이터의 일부가 되는 것이 바람직하다.

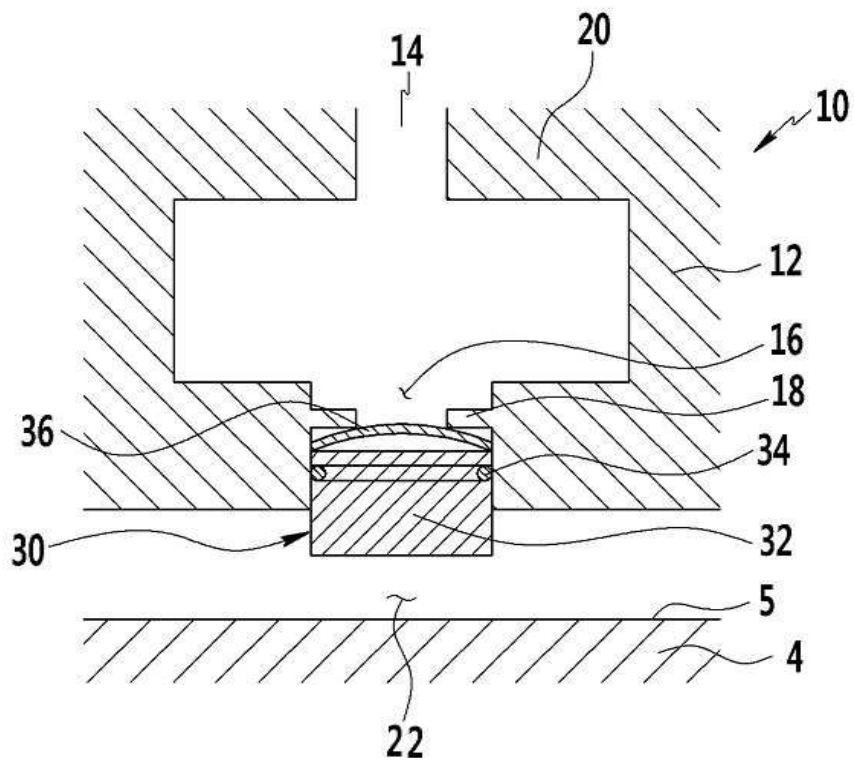
- [0130] 본 발명의 예시적인 실시예에 따라 다공성-제한 공기 베어링 형상 및 제조 방법이 제공되고, 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 디자인과 병합되었다.
- [0131] 다공성 매체 디스크 삽입물, 나선형 플레넘 챔버 및 예시적인 공기 정압 너트 안의 플랜지 예시를 포함하는 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터는 마찰없는 동작을 제공하기 위하여 다중의 동시적인 공기 베어링 표면을 생성한다.
- [0132] 다공성 제한 공기 베어링은 전체 공기 베어링 표면을 따라 특별히 고른 분배를 특징으로 하고, 이는 공기 베어링의 안정성을 증가시킨다.
- [0133] 유입 압력, 그래파이트 디스크의 수, 및 그래파이트 디스크 투수성은 적절한 강성 요구 조건 및 안정적인 작동을 보장하도록 예시적인 실시예에서 형성될 수 있다.
- [0134] 복수의, 개별적인 공기 베어링 다공성 매체 삽입물은 사실상 스틱-슬립 마찰 및 백래쉬를 제거하고 마이크로 단위 공작 기계에서 수행되기에 충분한 강성을 제공하며, 제조시 허용 오차를 보다 느슨하게 한다.
- [0135] 비용적으로 효과적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터를 위한 본 실시예의 일반화된 제조 공정은 거친 래핑, 다공성 매체 디스크 삽입물 설치, 표면 층 제한 및 마지막 래핑 공정을 포함한다.
- [0136] 정밀 래핑 모듈은 모든 다공성 그래파이트 면을 따라 균일한 래핑을 제공하기 위하여 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 안에 병합된다.
- [0137] 예시적인 래핑 모듈 안의 가이드 레일은 또한 일반적인 작동 동안 액츄에이터에 추가적인 축 방향 강성을 제공한다.
- [0138] 예시적인 래핑 공정은 제조시 변형을 보상하고 공기 베어링 겹을 보다 쉽게 제어하도록 하고, 제조시 허용 오차를 느슨하게 한다. 예시적인 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 디자인은 특별히 고 성능의 공작 기계에 적합하다.
- [0139] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명의 사상은 본 명세서에 제시되는 실시 예에 제한되지 아니하며, 본 발명의 사상을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에서, 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 추가 등에 의해서 다른 실시 예를 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명의 사상범위 내에 든다고 할 것이다.

부호의 설명

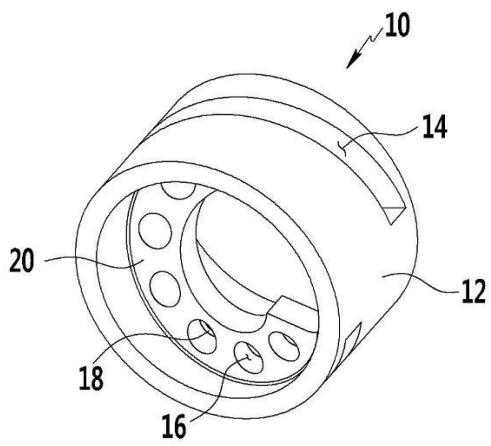
- [0140] 1 공기 정압 리드 스크류 액츄에이터 2 베이스
- 4 리드 스크류 6 모터
- 10 공기 정압 너트 12 하우징
- 14 유입구 16 개구
- 18 플랜지 20 플레넘 챔버
- 22 공극 30 다공성 매체
- 32 디스크 삽입물 34 O-링
- 36 환 스프링 40 너트 하우징
- 42 너트 하우징 공기 주입구 48 부상
- 50 래핑 모듈 52 스프레더 바
- 54 정밀 스페이서 56 정렬 마크
- 60 아우트리거 62 제 1 가이드 레일
- 64 제 2 가이드 레일

도면

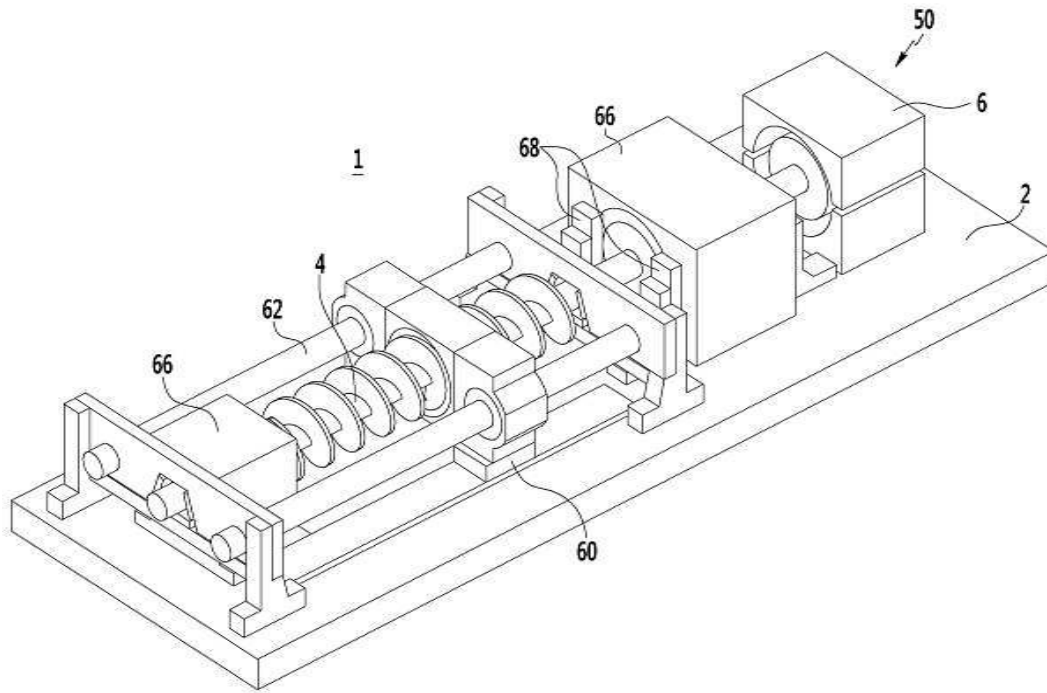
도면1



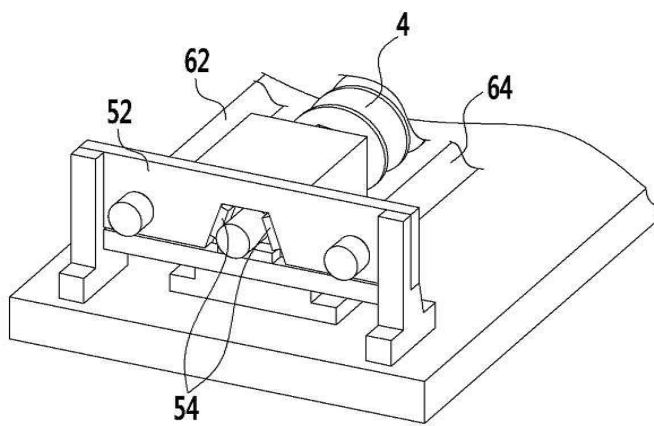
도면2



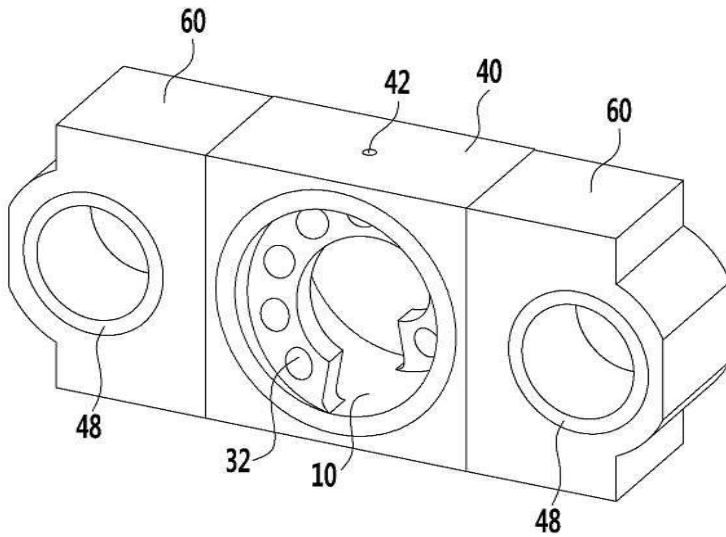
도면3



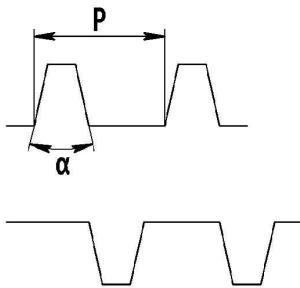
도면4



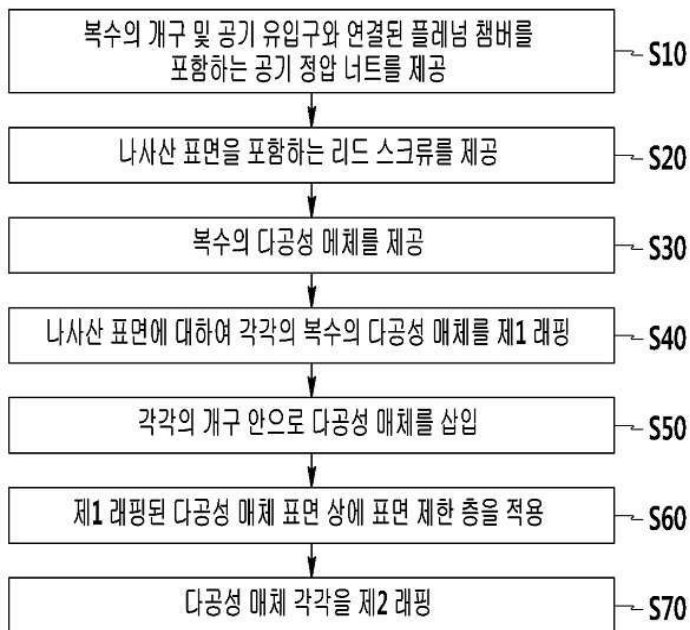
도면5



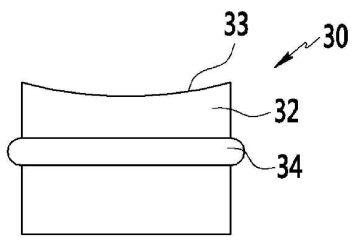
도면6



도면7



도면8



도면9

