



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

피측정 물체(107) 상에서 측정 포인트(108)의 적어도 하나의 공간 좌표의 결정을 위한 좌표 측정 기계(100)로서, 상기 좌표 측정 기계는,

- 제1 프레임 요소(11, 104),
- 제2 프레임 요소(4, 101),
- 이동 방향에서 상기 제1 프레임 요소(11, 104)에 대해 상기 제2 프레임 요소(4, 101)를 이동시키기 위한, 모터(21)를 갖는 선형 구동 유닛(12) 및
- 상기 제1 프레임 요소(11, 104)에 대해 상기 제2 프레임 요소(4, 101)의 구동 위치를 결정하기 위한 위치 측정 기구(7, 8, 7y)를 포함하고,

상기 구동 유닛(12)은 강성이 제한되어 있으며, 운동시에 동적 처짐들(dynamic deflections)이 발생하며,

상기 구동 유닛(12)으로부터 상기 제2 프레임 요소(4, 101)로의 기계식 커플러(3)를 포함하고, 커플러(3)는 상기 구동 유닛(12)에 고정된 제1 부분(3A) 및 상기 제2 프레임 요소(4, 101)에 고정된 제2 부분(3B)을 포함하고, 부분들(3A, 3B)은

능동적 보상 액튜에이터(5)에 의해

서로에 대해 이동 가능하고,

상기 커플러(3) 및 상기 능동적 보상 액튜에이터(5)는 상기 동적 처짐들(43)을 적어도 부분적으로 보상하는 역-변위(counter-displacement)를 도입하기 위해 상기 구동 유닛(12)에 대해 상기 제2 프레임 요소(4, 101)를 이동(shift)시키는 방식으로 구성되는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 커플러(3)는 상기 제1 부분(3A)과 상기 제2 부분(3B) 사이에 플렉시블 요소(6)를 포함하고, 상기 역-변위는 상기 능동적 보상 액튜에이터(5)에 의해 상기 플렉시블 요소(6)의 변형에 의해 도입 가능한 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 커플러(3)는 상기 동적 처짐들(43)을 결정하는 방식으로 구성 및 배열되는 변위 센서(5, 7, 8, 9, 10)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 능동적 보상 액튜에이터(5)는 상기 동적 처짐들(43)을 결정하기 위한 상기 변위 센서(5, 7, 8, 9, 10)로서 작용하는 방식으로 구성되는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

#### 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 능동적 보상 액튜에이터(5)는, 상기 동적 처짐들(43)이 적어도 부분적으로 상기 역 변위에 의해 보상되는 방식으로 상기 변위 센서(5, 7, 8, 9, 10)에 의해 결정되는 상기 동적 처짐들(43)에 따라 제어 루프(control loop)

에 의해 구동되는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 능동적 보상 액튜에이터(5)는 마그네틱 액튜에이터를 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 능동적 보상 액튜에이터(5)는 피에조 활성 물질(piezo active material)에 기초한 드라이브를 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 동적 처짐들(43)은 계산 유닛(109)에 의해 상기 위치 측정 기구(7, 8, 7y)로부터의 상기 결정된 구동 위치와 원하는 이동 궤적의 차이에 의존하여 계산 유닛(109)에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 구동 유닛(12)은 이동 힘들의 전달을 위한 벨트(2A, 2B, 2C, 2D)를 갖는 벨트 드라이브(2)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 10

제8항에 있어서,

상기 커플러(3)는 상기 제2 프레임 요소(4, 101)를 벨트(2A, 2B, 2C, 2D)에 결합시키고 상기 이동 힘들로 인해 상기 벨트(2A, 2B, 2C, 2D)의 스트레인(strain)으로부터 생기는 상기 동적 처짐들(43)을 보상하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 동적 처짐들(43)은 상기 구동 유닛(12)에 의해 도입되는 미세 진동(micro-vibration)을 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100).

### 청구항 12

- 서로에 대해 이동 가능한 적어도 2개의 프레임 요소들(4, 104, 11, 101)
- 서로에 대해 상기 프레임 요소들(4, 104, 11, 101)을 이동시키기 위한, 모터(21)를 갖는 선형 구동 유닛(12),
- 상기 프레임 요소들(4, 104, 11, 101) 중 하나를 상기 선형 구동 유닛(12)과 결합(conjoining)하기 위해 기계적 링크를 제공하는 커플러(3)를 포함하는 좌표 측정 기계(100)에서 동적 처짐들을 능동적으로 보상하기 위한 방법에 있어서,

상기 프레임 요소들(4, 104, 11, 101)의 이동은 상기 구동 유닛(12)에서 동적 처짐(43)을 일으키고 있고, 상기 방법은:

- 상기 적어도 2개의 프레임 요소들(4, 104, 11, 101)을 서로에 대해 이동시키는 단계, 및
- 상기 커플러(3) 내의 능동적 보상 액튜에이터(5)에 의해 대항력(counter-force)을 가하여 상기 동적 처짐(43)을 적어도 부분적으로 보상하기 위해 상기 커플러(3)에 역-변위를 능동적으로 도입하여 상기 프레임 요소들(4, 104, 11, 101) 중 하나에 대해 상기 구동 유닛(12)을 역-변위시키는 단계를 포함하는, 좌표 측정 기계(100)

0)에서 동적 처짐들을 능동적으로 보상하기 위한 방법.

### 청구항 13

제12항에 있어서,

상기 구동 기구(12)의 원하는 궤적(42)에 따라, 상기 능동적 보상 액튜에이터(5)를 제어하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100)에서 동적 처짐들을 능동적으로 보상하기 위한 방법.

### 청구항 14

제12항에 있어서,

결정된 동적 처짐들(43)에 따라 전용 제어 루프로 상기 능동적 보상 액튜에이터(5)를 제어하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는, 좌표 측정 기계(100)에서 동적 처짐들을 능동적으로 보상하기 위한 방법.

### 청구항 15

프로그램 코드를 저장하는 기계 관독 가능 매체로서, 상기 프로그램 코드는, 제12항 내지 제14항 중 어느 한 항에 따라 동적 처짐들(43)을 능동적으로 감소시키는 상기 방법을 자동으로 실행 및 작동시키도록 구성되는, 기계 관독 가능 매체.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 청구항 1의 전제부에 따른 측정 포인트의 적어도 하나의 공간 좌표의 결정을 위한 좌표 측정 기계(CMM) 및 청구항 12의 전제부에 따른 좌표 측정 기계에서의 에러들을 보상하는 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 공작물들이 생성된 후, 기계의 작업 불륨 내에서 이동 가능한 측정 프로브 헤드를 가지는 좌표 측정 기계(CMM)와 같은 좌표 위치결정 장치 상에서 이들을 검사하는 것이 관행이다.

[0003] 종래의 3차원 측정 기계에 있어서, 프로브 헤드는 서로를 향해 다소 직교하는 선형 축선들을 갖는 직교 구성(Cartesian configuration)으로서 불리는 3개의 상호 직교하는 축(방향들 X, Y 및 Z에서)에 따른 이동을 위해 지지된다.

[0004] 기계의 단순한 형태에 있어서, 적절한 트랜스듀서는 각각 축선에 평행하게 장착되고, 기계의 베이스에 대해 프로브 헤드의 위치를 결정하기 위해 사용된다. 프로브 헤드에서의 프로브에 의해 접근되는 물체 상의 측정 포인트의 좌표들은 트랜스듀서의 값들에 따라 결정된다. 축선은 종종, 측정 프로그램 또는 사용자 입력, 예컨대 조이스틱에 의해 축을 이동시키는 디지털 계산 유닛을 포함하는 전용 컨트롤러에 의해 제어되는 추진 모터에 의해 구동된다.

[0005] 만약 이와 같은 기술이 채용된다면, 수개의 가능한 예의 소스들이 있다. 이동의 일직선 및 축의 직교성의 결여, 선형 구동 기구들에서의 횡 오프셋(lateral offset) 또는 이를 이동 방향들에 직교하는 축에 대한 캐리지들의 각도 회전은 소수의 예들일 뿐이다.

[0006] 특히, 다음과 같은 추종 에러 팩터들이 발생할 수 있다:

[0007] · 축들 상에서의 스케일 에러들,

[0008] · 축들 상에서의 수평 직선성 에러들,

[0009] · 축들 상에서의 수직 직선성 에러들,

[0010] · 축들 상에서의 피칭 에러들(pitching errors),

[0011] · 축들 상에서의 요잉 에러들(yawing errors),

[0012] · 축들 상에서의 롤링 에러들(rolling errors), 및

- [0013] · 축선들 사이의 각도 에러들.
- [0014] 관련된 에러의 다양한 소스들에 대한 보정을 제공하기 위한 많은 시도들이 있었다. 예를 들어, 다양한 수단에 의해 트랜스듀서들에 의도적이고 알려진 에러를 도입하는 것이 알려져 있다. 대안의 기술은 다양한 포인트들에 존재하는 에러들을 측정하여 이들을 저장하는 기계를 교정하여, 기계가 측정을 위해 사용되고 있을 때 이들이 보상될 수 있는 것이다. 이와 같은 교정 프로세스의 실행은 특히 대형 기계에 대해서 너무 길다.
- [0015] 교정 방법들의 문제점은 또한 이들이 단지 완전히 반복 가능한 에러들을 처리할 것이라는 것이라고, 그것이 또한 기계의 작업 상태에서와 동일한 조건들 하에서 프로브를 교정하는 것이 중요하다는 것이다. 이것은, 예컨대, 만약 기계가 측정시 100 mm/초에서 작동하며, 교정 절차가 또한 그 속도로 수행되어야 하고, 만약 몇몇 이유때문에, 실행 속도의 변경이 필요하면, 에러들이 운동 동력학에 적어도 부분적으로 의존하기 때문에 이러한 새로운 속도에서의 기계의 재교정이 필요하다는 것을 의미한다.
- [0016] 언급한 에러들은, 비록 이들이 또한 축의 이동, 특히 위치, 속도, 가속도, 및 축을 이동시킬 때 저크(jerk)에 의존하는 동적 팩터들을 포함하지만 단지 많은 접근방식들로 통계적으로 분석된다. 속도-의존 교정에 의해, 이러한 사실은 오히려 단순하고 유연하지 않은 방식으로 고려된다.
- [0017] 정적 에러들은 위치 교정 메트릭스의 사용에 의해 숫자상으로 감소될 수 있지만, 상황은 동적 에러들을 보상하려고 할 때 훨씬 더 복잡하다. 교정은 진동들, 공진, 동적 힘들 등과 같은 동적 에러들을 고려할 때 훨씬 더 복잡하고, 에러들은 이들이 발생할 때 축에 영향을 줄뿐 아니라 다른 축들에 대해 "크로스토크(crosstalk)"를 일으키고 시스템의 다른 부분들에서 에러들을 야기한다. 더욱이, 근본적인 영향들은 또한 온도, 습도, 기압 등과 같은 환경 조건들에 의존할 수 있고, 특히 이들은 또한 기계의 수명에 따라 변할 것이다.
- [0018] 또한, 공작물에 대한 상이한 측정 태스크들을 충족시키는 데 종종 필요한 프로브-헤드의 교환은 부하 조건들의 변경을 가져오고 상이한 동력학 및 에러 거동(error behaviour)을 초래할 수 있다. 가동 부분들 및/또는 추가의 축들, 능동 또는 수동을 포함하는 프로브 헤드들의 사용은 프로브 헤드의 실제 자세에 의존하여, 주축의 상이한 거동을 초래한다. 기계의 축(이동 방향에서 서로에 대한 이동 가능한 기계 프레임의 2개의 요소들로서의)의 동적 거동은 축의 실제 구동 위치에 의존하여 또한 변할 수 있다.
- [0019] 예를 들어, 그것은 (추가의 직교 축들 및 프로브 헤드를 이동시킬 수 있는) 기계의 하나의 축의 가속도들이 또한 측정 불확실성을 및 에러들을 일으키는 좌표 측정 기계의 전체 프레임의 선형 및 각도의 동적 치짐들을 일으킬 수 있다는 것이 고려되어야 한다. 이들 동적 측정 에러들은 예컨대 원하는 운동의 필연적인 최적화된 궤적에 의해 낮은 가속도들로 측정들을 하여 감소될 수 있다.
- [0020] 그러나, 생산성을 증가시키기 위해, 증가된 스루풋 및 증가된 검사 속도가 요구된다. 그러므로, 기계는 측정들 중 더 높은 가속도들을 경험할 것이고, 시스템의 더 큰 동적 구조적 치짐이 생길 것이다. 이것은 프로브의 X, Y, Z 기하학적 위치의 부정확한 보고로 이어져서, 감소된 정밀도 또는 심지어 부정확한 공작물의 측정들을 초래한다. 이들 에러들은 심지어 더 심각한 데, 그 이유는 CMM들이 마이크로미터 또는 심지어 그 이하의 범위에서 측정 정밀도를 달성하는 것이 필요로 되기 때문이다.
- [0021] 특히, 좌표 측정 기계는 원하는 측정 정밀도 때문에 중요할 수 있는 드라이브 진동을 나타낼 수 있다. 진동을 일으키는 에러의 주된 소스는 기계의 기계적 드라이브 시스템이다. 드라이브 진동은 또한 드라이브의 주행 속도에 의존한다. (전형적으로 5 Hz 이상의 주파수로 발생하는) 이들 진동들에 의해 야기되는 에러들은 위에서 언급한 동적 에러들을 보상하는 계산적 방법들에 적합하지 않은데, 그 이유는 특히 진동들이 더 큰 범위까지 반복 불가능한 거동들이기 때문이다, 그러므로 얻어진 측정 에러들은 수학적으로 모델링되고 등화(equalized)될 수 없다. 또한, 불완전 베어링은 마찰을 도입하고 진동을 일으킬 수 있다.
- [0022] 가능한 한 멀리 진동들 및 저크(jerk)를 감소시키기 위해 기계적 시스템에 기계적 저역-통과 또는 대역 통과 필터링을 도입하는 알려진 수동 댐핑 요소들이 있다. 이들은 예를 들어 전달 시스템에서의 약간의 "탄성(elastic)" 및 "댐핑(damping)" 벨트의 사용에 의해 또는 축에 평행한 공기 또는 액체 댐퍼들에 의해 기계의 통합된 부분들일 수 있다. 이들 수동 댐퍼들의 문제점들은 예를 들어 이들이 시스템의 강성을 감소시키고 원하는 치짐(또는 변위)에 의해 이동의 원하는 궤적으로부터 편차를 도입하고, 이들이 심지어 추가의 기계적 공진 주파수들을 도입할 수 있는 것들이다.
- [0023] 예컨대 콘볼브 인크. 엔와이(Convolve Inc. NY)에 의해 전파된 다른 접근방법들은 기계적 공진들을 바이패스시키고 공진 주파수들의 자극(stimulation)을 회피시키거나 또는 심지어 구동 액튜에이터 제어장치의 출력에 대해

적절히 조정된 변수에 의해 진동들을 능동적으로 제거하는 방식으로 조절 변수 예컨대 추진 모터의 힘 또는 전류를 제어하는 입력-성형(input-shaping)이라고 불리는 기술에 의해 기계의 가속에 의해 생기는 처짐들, 진동들 및/또는 진동들을 억제하고자 하는 것이다.

[0024] 또한, 초기 상태로서 플랜트의 현재 상태를 이용하여, 각각의 샘플링 순간에 유한 수평선 개루프 최적 제어 문제(finite horizon open-loop optimal control problem)를 해결함으로써 전류 제어 동작이 얻어지는 제어의 한 형태로서의 모듈 예측 제어가 CMM들에 적용될 수 있다. 최적화는 최적 제어 시퀀스를 냉고 이 시퀀스에서의 제1 제어는 이후 플랜트에 적용된다.

[0025] 더욱이, 다양한 프로브 헤드들 및 프로브들이 3차원 측정 공간을 구성하는, 축을 따라 배열된, 예를 들어 참조 스케일들에 의해 스케일 좌표 시스템 내에서 측정들을 위한 좌표 측정 기계에 채용된다. 그러므로, 개선된 측정 정밀도를 갖는 좌표 측정 기계를 제공하기 위해, 그것의 프레임 구조는 높은 정적 강성을 가질 필요가 있다. 단단하고 강한 기계 설계를 달성하기 위해, 프레임 구조 또는 그것의 적어도 부분들은 종종 돌, 예컨대 화강암으로 만들어진다. 열적 안정성 및 양호한 댐핑 특성들과 같은 모든 긍정적인 효과들 외에, 화강암은 또한 기계 및 가동 프레임 요소들을 상당히 무겁게 한다. 다른 측면에 대한 높은 무게는 또한 적절한 가속을 위해 큰 힘들을 필요로 한다.

[0026] 바람직한 높은 프레임 강성에 더하여, 소프트웨어 구현 공간 정밀도 보정 기술의 언급한 도입은 기하학적 에러들을 감소시킬 수 있고 고정밀 측정 결과들을 달성하는 데 조력할 수 있다.

[0027] CMM 시스템들에서의 다른 문제는 또한 상이한 프로브들이 상이한 중량들 및 특징들을 가질 것이고, 그 때문에 기계의 기계적 공진 주파수들이 영향 받을 것이라는 것에 있다. 또한, 기계의 공간 위치는 기계적 공진들에 영향을 주고, 그 때문에 단순한 선형 에러 모델은 종종 이들 영향들을 수치 보상하는 데 충분하지 않다.

[0028] 전형적으로, EP 1 559 990은 좌표 측정 기계에서 측정된 좌표들을 보정하고, 기하학적 에러들을 측정하고, 한편 여러가지 중량들을 갖는 부분들이 좌표 측정 기계 위에 장착되는 좌표 측정 시스템 및 방법을 개시한다. 보상 파라미터들은 부분 중량 당 측정된 결과들로부터 유도되어 저장된다. 측정될 부분의 중량에 대응하는 보상 파라미터는 측정될 부분의 측정된 좌표들을 보정하기 위해 적절히 판독된다.

[0029] 추가의 예로서, EP 1 687 589는 표면 검출 장치를 가지는 관절식 프로브 헤드를 갖는 좌표 측정 기계에서 에러를 보상하는 방법을 개시한다. 표면 검출 장치는 측정 중 관절식 프로브 헤드의 적어도 하나의 축선을 중심으로 회전된다. 이 방법은 장치의 전체 또는 일부의 강성을 결정하고, 어떤 특정 순간에 관절식 프로브 헤드에 의해 가해진 부하와 관련된 하나 이상의 팩터들을 결정하고, 부하에 의해 생긴 표면 감지 장치에서의 측정 에러를 결정하는 단계들을 포함한다.

[0030] 좌표 측정 기계(CMM)에 의한 공작물 측정치들의 에러 보정을 위한 다른 접근방법이 GB 2 425 840에 개시되어 있다. 그렇게 함으로써, 위치 측정들이 가속도를 측정하는 수단이 제공되는 공작물 감지 프로브에 의해 행해진다. 측정치들은 진동으로 인한 것들과 같은 높은 빈도의 (반복 불가능한) 에러들, 및 프로브 상의 원심력들로 인한 것들과 같은 낮은 빈도의 (반복 가능한) 에러들 모두에 대해 보정된다. 보정 방법은 공작물을 측정하고 미리 결정된 에러 함수, 에러 맵 또는 에러 참조 테이블로부터 반복 가능한 측정 에러들을 결정하고, 가속도를 측정하고 반복 불가능한 측정 에러들을 계산하고, 전체 에러들을 결정하기 위해 제1 및 제2 측정 에러들을 조합하고, 전체 에러들을 이용하여 공작물을 측정치들을 보정하는 것을 포함한다. 미리 결정된 에러 맵은 알려진 치수들의 아티팩트(artefact)를 이용하여 계산한다.

[0031] 또한 프로브에 또는 측정 기계의 다른 이동 부분들, 예컨대 Z-컬럼 위에 및/또는 베이스 테이블에 끼워맞춰지는 가속도계들을 사용하여, 외부에서 가해지는 진동들의 평가 및/또는 차동(differential) 측정을 허용하는 것이 알려져 있다. 그와 같은 구성에 있어서, 프로브-위치의 변위들 및 에러들이 이중 적분(double integration)으로 그리고 이러한 정보에 기초하여 측정될 수 있고, 이중 적분된 신호 및 스케일들 사이에서 차이를 갖는 판독을 조정하는 것이 가능하다.

[0032] 그러나, 가속도계들을 이용할 때, 위치 측정은, 특히 측정될 주파수들이 상당히 낮을 경우, 예를 들어 느리고 부드러운 운동들의 경우에 보통 잡음이 있게 될 것이다. 이것은 불량한 신호 대 잡음비를 초래할 수 있다.

[0033] 더욱이, 그것은 일반적으로 스케일 위치로부터 가속도를 계산하고 그것을 측정된 가속도와 비교하고, 차이를 이중 적분하는 것을 필요로 할 수 있다는 것을 의미하는 가속 중 차이들을 측정하는 것을 단지 가능하게 할 수 있다. 그러나, 이것은 프로브의 정확한 위치를 정확히 계산하는 데 충분한 정보가 아닐 수 있다. 가속도계 방법들은 정적 변형들을 측정하는 데 사용될 수 없다. 예를 들어, 동적 변화들과 결합되는 정지 마찰은 가속도계들에

의해 파악될 수 없다.

[0034] 특히, 대형 CMM들, 불안정한 환경들(shaky environments)에 있어서, 및/또는 만약 매우 높은 정밀도가 요구된다면, 측정 기계의 환경으로부터 오는 외부에서 가해진 진동들의 억제를 달성하거나 또는 기계 자체의 부하로부터 또는 측정될 공작물의 부하 모두로부터 오는 기계의 가능한 고정(settling)의 보상을 허용하기 위해 측정 기계들의 선택을 위해 설계된 특수한 기초들을 구성하는 것이 알려져 있다.

[0035] 특수한 기초에 대한 대안으로 또는 그에 더하여, 또한 측정 결과들에 대한 외부 교란들로부터 영향들을 피하거나 감소시키기 위해 지면으로부터 측정 기계 베드의 추가의 분리를 위해 수동 또는 능동 구성요소들을 이용하여 CMM을 구성하는 것이 알려져 있다.

[0036] 다른 관련 문헌들은 CN 101 562 409, US 2008/100156, DE 196 42 827, US 2009/152985, US 2007/266781, WO 00/14474이다.

[0037] 기계의 축의 추진을 위해, 알려진 많은 상이한 종류의 전달 또는 드라이브 시스템들 및 메커니즘(mechanics)이 있다.

[0038] 상당히 종종 사용되는 실시예는 전달 벨트, 이불이-벨트, 마찰 벨트들, 스크류, 랙 및 피니언 등을 포함한다. 일측 상에 추진 유닛을 갖는 제1 프레임 요소와, 다른 측상에서 이동될 제2 프레임 요소, 예컨대 프로브 헤드 사이에서 힘의 전달 경로에 대한 결합이 있을 필요가 있다. 추진 유닛은 전자기계 트랜스듀서, 특히 자기, 정전기 또는 페에조-활성 원리에 기초한 전기 모터로서 구현될 수 있다. 힘들의 결합을 달성하기 위한 구동 기구는, 임의의 다른 방향에서는 원치않는 힘들을 도입하지 않고 다른 방향들에서는 이동을 허용하지만 이동 방향에서는 허용하지 않는 방식으로, 종종 그것이 이동 방향에서 강하고 다른 방향들에서는 약한 방식으로 설계된다.

[0039] 예를 들어, 이불이-벨트가 사용될 경우, "비이동 방향들(non moving directions)"에서 힘들을 피하는 것이 상당히 용이한데, 그 이유는 벨트는 그 자체가 특히 벨트 옆 이외의 방향들에서 유연하기 때문이다. 만약 더 스크류 또는 랙 및 피니언과 같은 더 강한 구동 유닛이 사용되면, 이때는 정밀도, 재생가능성을 감소시키고, 마찰을 증가시키고, 마모를 증가시키고 및/또는 바람직하지 않은 변형들을 도입할 수 있는 바람직하지 않은 영향들을 피하기 위해 원치 않는 힘들의 더 복잡한 분리를 가질 필요가 있다. 예컨대 카르단 커플링들(cardan couplings) 또는 짐발들(gimbals)과 같은, 단지 하나의 자유도에서 강한, 이와 같은 커플링을 달성하기 위해 알려진 많은 기계적 구성요소들 및 배열들이 있다.

[0040] 특히 벨트-드라이브를 사용할 경우, 몇가지 불리한 점이 있는 데 그 중 하나는 가속 중 휨 또는 팽창을 초래할 제한된 강성이다. 더욱이, 제한된 강성은 특히 탄성적으로 거동하는(elastically behaving) 이불이-벨트에 의해 구현되는 적어도 하나의 스프링, 및 이동 가능한 부재에 의해 구현되는 적어도 하나의 매스에 의해 모델링될 수 있는 기계적 공진 회로와 같이 거동할 수 있다. 이것은 구동 기구 처짐 또는 진동들의 자극으로 인한 심각한 위치 변위 없이 축에 가해질 수 있는 가속도 또는 힘을 제한할 것이다. 이러한 사실은 종종 이동하는 부재에 실제로 가해질 수 있고 시스템의 적어도 하나의 기계적 공진을 초래할 가속 프로파일 또는 힘-프로파일을 제한한다.

[0041] 이불이 벨트 또는 다른 이불이 힘 전달 원리, 예컨대 랙 및 피니언의 제2 문제점은 이 및/또는 드라이브 헬들로 인한 미세 진동들이다. 유사한 미세 진동은 또한 토크-리플(예컨대 제어 루프 내에서의, 특히 종속 제어 루프들 등에서의 모터-코킹, 진동들)과 같은 영향들로 인해 추진 모터들(또한 드라이브 모터로서도 불립) 자체들로부터 또는 불완전 베어링으로부터 생길 수 있다. 이들 경우들에서의 CMM 시스템에 대한 여기 주파수들 및 진동들은 이동 속도에 의존한다. 특히 기구의 일부의 고유 주파수(natural frequency)의 여기가 일어나면, 이것은 운동의 원치않는 궤적으로 이어질 수 있다. 특히, 이와 같은 측정 기계들에 사용되는 고정밀 스케일들에 의해, 이들 미세 진동들은 종종 특히 실제로 원하는 궤적 프로파일에 충돌되는 진동들로서, 이동하는 기계의 측정된 위치 또는 속도 프로파일에서 관측될 수 있다.

### 발명의 내용

[0042] 그러므로, 본 발명의 목적은 개선된 좌표 측정 기계(CMM) 및 동적 영향들에 의해 생기는 에러들이 보상될 수 있고 또는 특히 고속에서 CMM를 작동시킬 때 약한 기계-구조에 의해 생기는 동적 영향들을 개선된 방식으로, 적어도 감소될 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

[0043] 본 발명의 특별한 목적은 CMM의 각각의 선형 구동 기구에서(X, Y, Z 방향들에서)에서 변위 에러들을 감소시키는 것이다.

- [0044] 추가의 목적은 특히 추가의 전용 능동적 보상 액튜에이터에 의해 동적 변위들을 능동적으로 저지하는 것이다.
- [0045] 그렇게 함으로써 본 발명의 특수 목적은 특히 축의 가속 및 감속 중 또는 백래쉬 영향들에 의해, 제한된 감성을 가지는 구동 기구의 영향들을 보상 또는 적어도 감소시키는 것이다.
- [0046] 본 발명의 특별한 목적은 매스-스프링-발진기로서 해석될 수 있는, 축의 구동 기구의 제한된 강성으로부터 생기는 진동들을 감소시키거나 보상하는 것이다.
- [0047] 본 발명의 추가의 목적은 예를 들어 구동 기구 및/또는 베어링으로부터, 특히 구동 유닛의 톱니 시스템 및/또는 축의 추진 모터로부터 오는 축의 이동에서 발생하는 미세 진동들을 감소시키거나 보상하는 것이다.
- [0048] 본 발명의 또 다른 목적은 예를 들어 또한 다시 장착될 수 있는, CMM 구동 기구에 통합될 능동적 보상 시스템을 제공하는 것이다.
- [0049] 본 발명의 추가의 목적은 CMM에서의 동적 변위 에러들을 보상하기 위해 수치 해법에 대한 기초를 제공하는 것이다.
- [0050] 이들 목적들은 독립 청구항들의 특징들을 실현하여 달성된다. 대안의 또는 유리한 방식으로 본 발명을 더 발전시키는 특징들이 종속 특허 청구항들에 기재된다.
- [0051] 본 발명 내의 하나의 기본 사상은 능동적 보상 또는 능동적 댐핑으로서도 불리는 시스템 및 방법에 의해 구동 기구의 동력학에 의해 발생되는 변위들을 능동적으로 다루는 것이다. 용어 "댐핑(damping)"은 이 경우에, 충격 또는 진동의 흡수를 말하는 것이 아니고, 용어 "능동적 댐핑(active damping)"으로 나타낸 것과 같이, 더 일반적인 원치않는 영향을 저지하고 방해(opposing)하는 것에 관한 것이다.
- [0052] 본 발명은 적어도 제1 프레임 요소, 제2 프레임 요소, 이동 방향에서 제1 프레임 요소에 대해 제2 프레임 요소를 이동시키기 위한, 모터를 갖는 선형 구동 유닛 및 제2 프레임 요소에 대한 제1 프레임 요소의 구동 위치를 결정하기 위한 위치 측정 기구를 갖는 피측정 물체 상의 측정 포인트의 적어도 하나의 공간 좌표의 결정을 위한 좌표 측정 기계에 관한 것이다.
- [0053] 구동 유닛은 이동 시 제한된 강성 및 동적 처짐들을 가지며, 특히 여기서 동적 처짐들은 가속/감속 시 구동 유닛에서의 동적 힘 및/또는 운동에 의해 자극되는 구동 유닛에서의 과도 진동을 포함한다.
- [0054] 본 발명에 따르면, 구동 유닛으로부터 제2 프레임 요소까지의 기계식 커플러가 포함되고 커플러는 특히 이동 방향에서, 능동적 보상 액튜에이터에 의해 이동 가능하다. 커플러는 예컨대 2개의 부분들에 의해 이동 가능하게, 서로에 대해 다시 위치 가능하거나 또는 슬라이드 가능하게 또는 능동적 보상 액튜에이터에 의해 변형될 수 있는 플렉시블 요소에 의해 링크되도록 구성될 수 있다.
- [0055] 능동적 보상 액튜에이터는 동적 처짐들이 적어도 부분적으로 보상되는 방식으로 역-변위를 도입하기 위해 구동 유닛에 대해 제2 프레임 요소를 이동시키는 방식으로 구성된다. 커플러는 능동적 보상 액튜에이터와 함께 능동적 보상 요소로서 불린다.
- [0056] 본 발명에 따르면, 보상은 기계 및 특히 구동 기구 및 이동된 매스의 축이 해석(interpreted)될 수 있는, 특히 스프링 매스 조합으로부터 오는 처짐들 및/또는 진동들의 동적 변위들을 카운터링하여 달성된다. 또한 백래쉬 또는 유극(play)이 어느 정도까지 감소되거나 보상될 수 있다.
- [0057] 본 출원에서의 용어 "보상되는(compensated)"은 완전한 제거를 반드시 가리키는 것은 아니지만, 또한 그럼에도 불구하고 여전히 약간의 잔여 에러들이 남을 수 있는 상당한 감소를 표현하기 위해 사용된다.
- [0058] 언급한 것과 같이, 측정될 물체 상의 측정 포인트의 적어도 하나의 공간 좌표의 결정을 위한 좌표 측정 기계로서, 상기 기계는 제1 프레임 요소, 제2 프레임 요소, 및 추진 모터를 포함하고 이동 방향으로 이동 가능하게 제1 및 제2 프레임 요소를 링크하는 구동 기구를 포함하는 적어도 하나의 이동 축선을 갖는 프레임 구조를 포함한다. 이동 방향에서 구동 위치를 결정하기 위한 위치 측정 기구는 또한 측정 포인트의 공간 좌표를 결정하는 데 사용될 수 있는 기계에 포함된다.
- [0059] 본 발명에 따르면, 구동 기구는 기계식 커플러에 의해 프레임 구조에 기계적으로 링크되고, 구동 기구의 만곡 및 이동의 동적 힘들로 인한 원치않는 동적 변위들을 적어도 부분적으로 보상하기 위해, 특히 이동 방향에서 또는 이동 방향에 반대 방향에 역-변위를 능동적으로 도입하는 방식으로 구성된다.
- [0060] 특히, 동적 변위의 보상 또는 감소 예컨대:

- [0061]
  - 예를 들어 이동 힘들, 특히 이동의 동적 힘들에 의해 처짐되는 구동 유닛 내에서의 제한된 강성의 구성요소들에 기인하는 구동 기구의 가속/감속시의 동적 힘 그뿐만 아니라 정적 처짐들이 있는 정도까지 보상될 수 있다.
- [0062]
  - 예를 들어 이동에 의해 자극될 수 있는 접촉(osculation)의 고유 공진 주파수를 가지는 스프링-매스 시스템을 형성하는 구동 유닛 내에서의 유연성들로 인한, 구동 기구의 이동에 의해 자극되는 과도 진동 또는 드라이브 모터의 제어 루프로부터의 오버슈팅(overshooting) 진동들;
- [0063]
  - 구동 기구 및/또는 추진 모터에 의해 도입되는 미세 진동, 예를 들어 이불이 벨트의 톱니 시스템, 드라이브 모터의 코킹, 불완전 베어링 또는 선형 가이드들 등으로 인한 진동들.
- [0064] 그렇게 함으로써, 본 발명에 따른 능동적 보상 요소는 구동 기구 및/또는 베어링으로부터 생기는 미세 진동들, 특히 비이상적인 강성의 구성요소들을 또한 포함할 수 있는 이불이 선형 구동 기구로부터의 미세 진동들을 다루거나 저지할 수 있다.
- [0065] 본 발명에 따르면, 구동 기구 및/또는 프레임 구조의 이동의 동력학 하에서의 동적 힘, 특히 프로브-헤드에서 관측 가능한 것은 동적 변형을 적어도 부분적으로 보상하기 위해 추가의 능동적 보상 액튜에이터에 의해 역변위를 적용하여 능동적으로 감소된다. 그렇게 함으로써, 특히 프레임 구성요소들의 가속/감속으로 인한 동적 변형들 및 과도 발진들 및/또는 구동 기구, 추진 모터 및/또는 베어링 내의 요소들에 의해 도입되는 미세 진동들 및 동적 진동들이 보상된다.
- [0066] 일반적으로, 이것은 변위들(또는 이것과 함께 일관성 있는 값들, 힘들, 압력, 벤딩(bending), 속도, 가속도, 저크(jerk) 등을 야기 또는 생성)을 측정 또는 모델링하여 본 발명에 따라 달성될 수 있고, 능동 구성요소에 의해 반대 부호를 갖는 역-변위들을 발생하고, 그 결과 변위들의 합이 감소되고, 특히 바람직하게는 영으로 보상되거나 또는 적어도 거의 영으로 보상될 것이다.
- [0067] 역-변위들은 상이한 종류들의 액튜에이터들에 의해 도입될 수 있다. 일반적으로 보상될 최대 변위는 비교적 낮기 때문에(예컨대 대략 구동 유닛의 강성에 가해진 힘을 곱한 범위에 있음), 능동적 보상 액튜에이터는 예컨대 1 cm 이하, 특히 2 mm 이하 또는 오히려 서브 mm 범위의 큰 스트로크를 필요로 하지 않는다. 한편, 미세 진동들의 보상을 위해, 액튜에이터들은 보상을 위한 필요한 변화율을 달성하기 위해, 바람직하게는 실제 시스템에서의 진동들의 주파수 범위까지의 상당히 높은 동력을 가지는 것이 바람직하다. 이와 같은 액튜에이터들의 특정 예들은 자기, 정전기 또는 피에조전기 원리들에 기초할 수 있고, 여기서 실시예들은 예를 들어 피에조-스택들 또는 보이스-코일들일 수 있다. CMM들의 일반적인 온도 감지능력으로 인해, 낮은 폐열 또는 적어도 충분한 냉각 및/또는 능동적 보상 액튜에이터의 잘 선택된 배치를 액튜에이터가 기계의 프레임에서의 온도 스트레인 및 부분적 가열을 피하기 위해 고려되어야 한다.
- [0068] 능동적 보상 요소는 일반적으로 측정될 물체를 고정하는 기계 베이스와 프로브 헤드 사이의 어디에나 위치될 수 있다. 능동적 보상 액튜에이터의 배치의 특정 예는 감소된 강성 및/또는 미세 진동들의 주 소스에 가까운데, 그 이유는 이것이 다른 축 또는 다른 요소들에 대한 크로스토크 효과들을 일으킬 수 있는, 예컨대 또한 진동들 및 전체 기계에 걸친 진동들의 확산을 피하는 것을 도울 수 있기 때문이다.
- [0069] 원치않는 변위 또는 동적 에러를 보상하기 위해, 변위 또는 에러의 양은 몇몇 정량화된 값(quantified value)에 의해 평가되어야 한다. 이러한 평가는 변위를 측정 또는 모델링하여 또는 변위를 일으키고 있는 힘들 측정 또는 모델링하여 달성될 수 있다.
- [0070] 동적 변위 에러의 측정은 일반적으로 이들 기계들에 존재하는 고정밀 선형 스케일에 의해, 예를 들어 측정된 구동 위치와 원하는 운동 궤적에 따른 원하는 위치와의 비교에 의해 행해질 수 있다. 이들 값들의 차이는 예컨대 능동적 보상 액튜에이터를 구동하는 제어 루프에 대한 입력으로서 사용될 수 있다. 제어 루프는 실제 구동 위치에 또한 더 의존할 수 있는, 관측자 구조 등과 같은 더 복잡한 제어 루프 또는 단순한 비례 이득, PID-루프일 수 있다. 이와 같은 능동적-보상 제어 루프의 대역폭은 일반적으로 능동적 보상에 의해 보상될 효과들의 높은 동력으로 인해 축-이동을 위해 주 컨트롤러의 것보다 더 높게 선택된다.
- [0071] 동적 에러는 대안으로 또한 가속도계, 스트레인 게이지 등과 같은 전용 센서들에 의해 감지될 수 있는 벤딩, 힘, 압력, 속도, 가속도, 저크 등과 같은 이것과 관련된 값들에 기초하여 결정될 수 있다.
- [0072] 명백히, 다른 선택사항은 동적 변위를 결정하기 위해 선형 스케일, 용량성 거리 센서 등과 같은 전용 변위 센서를 사용하는 것이다. 피에조 또는 보이스-코일들과 같은 일부 액튜에이터들이 센서 및/또는 액튜에이터 모두로

서 사용될 수 있고, 그렇게 됨으로써, 양 액튜에이팅 및 감지가 단일 구성요소에 의해 달성될 수 있다.

[0073] 동적 에러들은 또한 구동 기구의 부조립체에서 평가될 수 있다. 이러한 부조립체는 또한 에러의 주 소스일 수 있는 "가장 약한 링크(weakest link)"에서 또는 가까이에서 선택될 수 있고, 그 때문에 보상될 필요가 있다. 거기에서 측정된 에러 값들은 또한 전체 구동 기구 또는 심지어 전체 기계의 동적 에러들에 대해 외삽될 (extrapolated) 수 있다. 외삽을 위해, 전체 구성의 강성에 따라 결정될 수 있는 관련 기계적 시스템의 모델이 사용될 수 있다. 특수한 경우들에 있어서, 모델은 또한 측정된 실사회 값들(real world values)에 따라 및/또는 구동 위치에 의존하여 파리미터화될 수 있다.

[0074] CMM들이 실제 프로브 헤드 위치를 측정하기 때문에, 프로브 헤드 위치 및 프로브 헤드의 결정을 위한 선형 측정스케일 사이의 능동적 보상 요소의 배치는 - 특히 만약 능동적 보상 요소에 의해 도입된 변위가 위치 측정에서 고려되지 않거나 또는 요구되는 정밀도 및/또는 스케일 위치에 대한 싱크로니(synchrony)로 측정되지 않으면 프로브 헤드 좌표의 결정의 스케일의 값을 무효화할 수 있다.

[0075] 변위 에러(또는 영향들과 함께)의 측정에 대한 대안은 센서들, 배선 등의 추가의 비용들을 회피하는 것을 도울 수 있는 원하는 이동에 기초한 변위의 예측 및 모델링이다. 이것을 달성하기 위해, 더 복잡한 제어 접근방법이 요구된다. 이와 같은 접근 방법은 만약 모델이 모든 상황들에 정확하게 맞아떨어지지 않는다면, 측정 중 보상의 불확실성을 제한(qualify)하는 데 사용될 수 없다. 더욱이, 제어될 시스템의 기본 기계적 구조를 포함하는 소위 그레이-박스 모델(Gray-Box model)이 사용될 수 있고 시스템 식별에 의해 또는 이간-거리(tooth distance), 벨트 강성, 이동된 매스의 중량 등과 같은 특징들을 입력하여 파라미터화될 수 있다.

[0076] 기계에 능동적 보상을 도입할 때, 이러한 사실은 또한 액튜에이터들 - 추진 모터 및 능동적 보상 액튜에이터 모두를 고려하여 궤적의 계획(planning)에 고려될 수 있다. 그렇게 함으로써, 원하는 역할이 궤적을 계획할 때 이미 드라이브 모터 및 능동적 보상 액튜에이터에 할당될 수 있고, 이를 모두는 그에 맞춰 능동적으로 제어될 수 있다.

[0077] 이동 계획에 의해 영향 받지 않는 - 구동 기구에서 감지된 동적 변위들을 보상하는, 자립형 제어 루프를 갖는 능동적 보상 액튜에이터의 "블라인드(blind)" 사용은 본 발명에 따른 하나의 가능한 해결방법이다. 본 발명에 따른 다른 가능한 해결방법은 궤적 계획에서 제2의 능동 추진 요소로서 알 수 있는 능동적 보상 액튜에이터의 통합이다. 후자는 특히 예를 들어 가능한 에러들에 대해, 예를 들어 피드 포워드 경로의 사용 또는 능동적 보상 요소를 작동시키기 위해 제어 루프에서 선독 알고리즘(lookahead algorithm)에 의해 이익을 얻을 수 있다.

[0078] 위에서 언급한 제어 및 측정 장치들의 상이한 조합들이 또한 다음과 같이 사용될 수 있다.

[0079] · 원하는 능동적 보상 역변위를 결정하기 위해 감지하는 가속도계 및 스케일의 조합 사용,

[0080] · 궤적의 합동 계획(congruous planning)을 더 포함할 수 있는 보상될 변위의 모델 예측 및 측정의 사용,

[0081] · 입력으로서 감지된 동적 쳐점을 갖는 자립형 능동적 보상 제어 루프,

[0082] · 입력으로서 이동의 감지된 구동력을 갖는 자립형 능동적 보상 제어 루프,

[0083] · 그렇게 함으로써 보정된 위치 측정값 또는 정밀도 추정치를 평가하기 위한 주 컨트롤러에의 감지된 동적 쳐점 에러의 추가 전달, 및

[0084] · 언급한 접근방법들의 더 많은 조합들.

[0085] 본 발명에 따른 방법 및 본 발명에 따른 장치들 및 셋업이 도면들에 개략적으로 나타낸 작동 예들을 참조하여, 단지 예로서, 이하에 더 상세히 기재 및 설명된다.

## 도면의 간단한 설명

[0086] 도 1a는 본 발명에 따른 제1 축 배열의 추상화된 개략도를 나타내고;

도 1b는 CMM 구동 기구들을 위한 전달 벨트들의 몇몇 예시적인 서브셋을 나타내고;

도 1c는 본 발명에 따른 제2 축선 배열의 추상화된 개략도를 나타내고;

도 1d는 다른 도면들에 나타낸 벨트 전달을 위한 대체물로서 사용될 수 있는, 대안의 전달 시스템들의 예시적인 서브셋을 나타내고;

도 2a는 본 발명에 따른 구동 기구에 포함되는 능동적 보상 요소의 제1의 예시적인 실시예의 추상화된 도면을 나타내고;

도 2b는 종래 기술의 구동 기구의 단순화 및 추상화된 모델을 나타내고;

도 2c는 본 발명에 따른 능동적 보상 요소를 갖는 힘 전달 경로의 단순화 및 추상화된 모델을 나타내고;

도 2d는 본 발명에 따른 구동 기구에 포함되는 능동적 보상 요소의 제1의 예시적인 실시예의 추상화된 도면을 나타내고;

도 3은 본 발명에 따른 구동 기구에 포함되는 능동적 보상 요소의 제2의 예시적인 실시예를 나타내고;

도 4는 본 발명에 따른 구동 기구에 포함되는 능동적 보상 요소의 제3의 예시적인 실시예를 나타내고;

도 5는 측정 기계의 축선들 중 하나에 본 발명을 포함하는 측정 기계의 예시적인 실시예를 도시하고;

도 6은 본 발명에 다른 능동적 보상 요소에 따라 셋업 없이 이동축의 궤적의 제1 예를 나타내고;

도 7은 본 발명에 따른 셋업 없이 동축의 궤적의 제2 예를 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0087] 도면들의 다이어그램들은 일정한 비율에 따라 그려진 것으로서 간주되지 않아야 한다.

[0088] 도 1a는 본 발명이 적용될 수 있는, 도 5에 나타낸 CMM 예와 같은 CMM의 구동 기구의 실시예의 개략 스케치를 도시한다.

[0089] 개략도는 제1 프레임 요소(11), 이 예에서, 기계 베이스, 및 구동 벨트(2)를 구동하는 훨(1) 및 벨트(2)의 다른 측 상의 리턴 훨에 접속되는 드라이브-모터(21)를 나타낸다. 드라이브-모터(21)는 또한 위치 또는 속도 센서(22)에 연결될 수 있다. 이동될 집합체로서의 제2 프레임 요소(4)와 이동 벨트(2) 사이에는, 연결 인터페이스로서의 커플러(3)가 있다.

[0090] 명백히, 3의 자유도로 이동 가능한 프로브 헤드를 CMM는 적어도 3개의 이와 같은 또는 유사한 축들을 포함한다. 실제 기하학적 배열들은 또한 단지 하나의 간단하고 설명적인 실시예를 나타내는 도면으로부터 변할 수 있다.

[0091] 도 1b는 확대 단면도로 전달 벨트들(2)의 특정 실시예들의 일부 섹션들을 나타낸다. 복수의 가능한 실시예들 중 전형적인 이들 실시예들은 상이한 형상들의 이(2A, 2B, 2C) 및 이가 없는 벨트(2D)를 도시한다. 명백히, 드라이브 훨들(1) 및 벨트(2)에 및 벨트(2)로부터 힘을 전달하고 있는 커플러(3)의 섹션은 특히 이들(teeth)의 프로파일에 관한, 사용된 벨트(2A, 2B 또는 2C)의 형상에 대한 대응하는 것으로서 성형될 것이다.

[0092] 숙련된 사람은 이 사이의 거리로서의 투쓰-피리어드(tooth-period)의 효과들이, 명백히 실제 이동 속도에 의존 할 것일, 측정 위치, 속도 또는 가속도 또는 고체 전파음(structure-borne sound)에 중첩되는 진동들 또는 리플들로 높은 정밀한 측정들로 관측될 수 있다는 것을 알 수 있다. 구동 기구(12)의 실제 실시예에 의존하여, 이들 진동들은 측정 정밀도가 감소될 수 있다. 이에 의해 생성되는 진동들은 또한 미세 진동들로서 불리는데, 그 이유는 이들의 진폭들이 일반적으로 이동 및 다른 효과들에 대해 비교적 낮을 수 있기 때문이다.

[0093] 이가 없는 벨트(2D)는 일반적으로 이에 의한 진동(tooth-vibration)으로부터, - 특히 최적이 아니게 조정된 - 베어링들의 마찰과 같은 미세 진동들 및 추진 모터(21)로부터 토크-리플들의 또한 다른 소스들로부터 고통을 받을 것이다. 명백히, 미세 진동들의 이들 다른 소스들은 또한 다른 언급한 구동 기구들(12)에 존재할 수 있다. 언급한 토크-리플들은 소위 모터-코킹 또는 구동 전자 여기(driving electronics excitation) 및/또는 관련 제어-루프로부터, 예를 들어 약간 지나치게 조정되는 종속 전류 제어 루프로부터 오는 결과일 수 있다. 다른 편의 평벨트(2D)는 원치 않는 슬립 효과들을 가져올 수 있다.

[0094] 일반적으로, 모든 벨트 드라이브들은 벨트 재료의 강성이 제한되고 상당히 긴 기하학 및 작은 프로파일은 벨트 강성을 제한하고 다소 탄력 있는 거동을 초래하기 때문에 변형-문제들로부터 고통을 받는다.

[0095] 도 1c는 본 발명이 적용되는 구동 기구(12)의 다른 알려진 실시예의 예를 개략적으로 도시한다. 대부분의 구성 부분들은 도 1a의 것들과 유사하고, 주된 차이는 상이한 기계적 특성들을 초래하는 구성요소들의 배열에 있다. 이 도면을 또한 선형 스케일(7), 및 요소(3)에 의해 링크되는 벨트(2) 및 훨(1)을 포함하는 구동 기구(12)에 의해 추진 모터(21)에 의해 이동되는 제2 프레임 요소(4)의 구동 위치를 평가하기 위해 사용될 수 있는 대응하는

판독 헤드(8)를 포함하는 위치 측정 기구를 나타낸다.

[0096] CMM들에서 - 이들의 속성으로 인해 - 높은 정밀도로 달성되어야 하는 구동 위치의 결정은 예를 들어 알려진 광학, 전자-광학, 마그네토-제한적(magneto-restrictive), 자기, 용량, 또는 높은 정밀도로, 특히 마이크로미터 또는 심지어 그 이하의 범위에서 위치를 결정할 수 있는 다른 선형 측정 기구들에 의해 행해질 수 있다.

[0097] 명백히, CMM의 축을 구동시키는 데 사용될 수 있는, 전달 벨트들 및 구동 기구들(12)의 많은 대안의 배열들이 있다. 전달 벨트들은 일반적으로 이들의 속성에 의해, 다른 방향들에서는 비교적 약하면서, 일 방향에서는 비교적 뻣뻣한 방식으로(in a relatively stiff manner) 단지 힘들을 전달할 수 있다. 이것은 유리한 것임을 알 수 있는 데, 그 이유는 원치 않는 횡방향 부하들의 전달이 억제되고 한편 다른 더 강한 선형 전달들은 특수한 예방 조치들 및 수단을 요구하기 때문이다.

[0098] 도 1d는 본 발명이 또한 적용되는, 벨트 드라이브에 기초하지 않는, 2개의 선형 구동 기구들(12)을 나타낸다. 서로에 대해 프레임 요소들(4 및 11)을 이동시키기 위해 스크류(2F) 및 랙 및 피니언(또는 기어 랙)(2E)이 예시적으로 도시된다. 이들은 이 기술에서 알려진 도 1a 또는 도 1c의 벨트 배열들을 대체할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 이들 원리들에 기초한 구동 기구(12)는 또한 위에서 벨트 드라이브들에 의해 설명된 것과 같이, 제한된 강성, 미세 진동들, 백래쉬(backlash) 등과 같은 유사한 문제들로부터 고통받을 수 있다. 특히, 이들은 또한 어느 정도까지 유연한, 주기적으로 이가 형성된 구조들로서 고려될 수 있다. 비록 이 텍스트는 주로 벨트들 및 벨트 드라이브들을 말하지만, 이들의 대안들이 또한 포함될 수 있다.

[0099] 도 2a는 커플러 또는 연결 인터페이스(3)의 확대도이고 본 발명에 따른 능동적 보상 액튜에이터의 사용에 의해 제2 프레임 요소의 이동 매스(moving mass; 4) 및 이붙이-벨트(2)를 연결하는 방법의 일례를 나타낸다. 이 경우에, 커플러(3)는 플렉시블 요소(6)(판 스프링들 등과 같은) 형태로 이동 가능 구조에 서로 연결되는 2개의 부분들 또는 "플레이트들(plates)">(3A 및 3B)을 포함한다. 하나의 플레이트(3A)(직사각형)는 이붙이-벨트(2)에 연결되고 다른 플레이트(3B)(U자 형상)는 이동 매스(4)에 연결된다. 플레이트들(3A 및 3B) 사이에는, 플렉시블 요소(6)를 변형시키고 그럼으로써 이동 가능 구조를, 특히 구동 유닛(12)의 이동 방향에서 또는 이동 방향과 반대로 이동시켜 U자 형상 플레이트(3B)를 향해 직사각형 플레이트(3A)의 상대 위치를 이동시킬 수 있는 액튜에이터(5)가 있다. 이것은 이붙이-벨트(2)가 가속될 때, 벨트(2)를 스트레치할, 이붙이-벨트(2)와 이동 매스(4) 사이에 힘들이 있을 것이라는 것을 의미한다.

[0100] 벨트(2)의 장력은 벨트(2)가 스트레치되는 동일 양으로 그렇지만 반대 방향으로 플레이트(3B)를 이동시키는 액튜에이터(5)로 보상될 수 있다. 이것은 제1 및 제2 프레임 요소들을 고려하여, 벨트(2) 및 커플러(3)는 함께 가상적으로 무한의 강성을 가질 것이다. 그러므로, 능동적 보상 액튜에이터에 의해 도입되는, 필요한 역변위는 가해진 힘, 벨트-강성 및 벨트(2)의 힘 전달 섹션의 유효 길이에 주로 의존하는 파라미터일 것이다. 구동 기구(12)의 실제 실시예에 의존하여, 유효 길이는 구동 위치 상에 헌지결합할 수 있고, 사실은 필요한 역변위의 결정에 고려될 수 있다.

[0101] 액튜에이터(5)에 의해 도입될 필요한 능동 변위 보상은 플레이트들(3A 및 3B) 또는 벨트(2A)와 플레이트(3A) 사이에 가해진 힘, 요소(3)에서의 가속도, 3A에 대한 또는 베이스 프레임 요소(11)에 대한 3B의 변위의 측정에 의해 결정될 수 있다. 이동된 매스(4)로부터의 선형 스케일에 따른 평가가 또한 통합될 수 있다(도 3 참조). 또한, 상기한 것의 조합이 이용될 수 있다.

[0102] 액튜에이터는 예를 들어 피에조 액튜에이터일 수 있다. 피에조 예나(Piezo Jena)로부터의 고출력 액튜에이터의 예는 HP-105-X-Y 또는 HPA-260-X-Y와 같은 HP-시리즈이다.

[0103] 능동적 보상 액튜에이터는 이동된 프레임 요소(4)에 가해진 힘들이 부드럽고 리플들 및 진동들을 포함하지 않는 방식으로 작동하고, 이것은 만약 약간의 리플들 또는 진동들이 있다면, 이들은 동일한 진폭을 갖지만 180도 위상 이동된 역진동을 가하여 보상되거나 또는 적어도 감소되고, 그 결과 잔여 힘이 진동들(예컨대 언급한 과도 발진들 및 미세 진동들)을 거의 포함하지 않을 것이라는 것을 의미한다.

[0104] 만약 구동 기구들이 원하는 이동 방향 이외의 방향들로, 예컨대 구동 방향에 직교하는 방향들로 힘들을 분리할 필요가 있다면, 이것은 또한 능동적 변위 액튜에이터에 의해 유사한 방식으로 행해질 수 있지만, 바람직하게는 이와 같은 것은 몇몇 평행 스프링과 같은, 이러한 방향에서 플렉시블 커플링을 허용하는 다른 수단에 의해 달성된다.

[0105] 벨트(2)의 만곡은 구동 기구(12)의 가속 및 감속 시 벤딩을 초래하고 또한 얻어진 스프링-질량 구성으로 인해

진동들을 초래할 수 있다.

[0106] 환연하면, 좌표 측정 기계는 서로에 대해 이동 가능한 적어도 2개의 프레임 요소들(4,11), 프레임 요소들(4,11)을 서로에 대해 이동시키기 위한 모터(21)를 갖는 선형 구동 유닛(12), 및 선형 구동 유닛(12)을 갖는 프레임 요소들(4,11) 중 하나를 결합하기 위한 기계적 링크를 제공하는 커플러(3)를 가진다. 거기서, 프레임 요소들(4,11)의 이동은 구동 유닛(12)에 동적 처짐을 일으키고 있고, 특히 여기서 동적 처짐은 동적 드라이브 운동에 대한 동적 변형들, 과도 발진들 및/또는 미세진동들을 포함한다.

[0107] 좌표 측정 기계에서 동적 처짐들을 능동적으로 보상하기 위한 본 발명에 따른 방법은 - 구동 유닛(12)에 의해 서로에 대해 CMM의 적어도 2개의 프레임 요소들(4,11)을 이동시킬 때 - 커플러(3)에 능동적 보상 액튜에이터(5)에 의해 대항력을 적용하여 동적 처짐(43)을 적어도 부분적으로 보상하기 위한 커플러(3)에서 역-변위의 능동적인 도입을 포함한다. 그렇게 함으로써, 동적 처짐들을 (적어도 부분적으로) 보상하는, 프레임 요소들(4,11) 중 하나에 대해 구동 유닛(12)의 역변위가 달성되고, 여기서 역-변위는 동적 처짐에 대응하지만 이에 반하여 동적 처짐에 대한 방향에 있고, 바람직하게는 동적 처짐은 변위 또는 변위력을 측정하여 결정된다.

[0108] 도 2b는 스프링-매스 조합으로서 벨트 드라이브의 단순한, 추상화된 모델을 나타낸다. 화살표 30은 추진 모터(21)에 의해 도입되는 실제 힘을 나타내고, 스프링(31)은 벨트(2)의 만곡을 나타내고, 매스(32)는 이동될 제2 프레임 요소(4)의 매스를 나타내고, 보상 33 모델 마찰 효과들 및 고정구(34)는 제1 프레임 요소(11)를 나타낸다. 실제 모델들은 더 상세히 설명될 수 있고 예컨대 또한 더 복잡한 요소들 예컨대 백래쉬들, 구동 위치 의존 파라미터들(예컨대, 힘 전달 벨트 섹션의 실제 길이에 의존하여 스프링 상수의 변화를 모델링하기 위한) 등을 포함할 수 있다.

[0109] 도 2c는 능동적 변위 보정 유닛(135)의 추가의, 단순한 모델에 의한 도 2b의 추상화된 모델을 나타낸다. 능동적 변위 보정 유닛(135)을 갖는 커플러는 이동 가능 구조(6) 및 능동적 변위 액튜에이터(130)를 모델링하는 스프링(132)을 포함한다. 특정 실시예들에 있어서, 액튜에이터(130)는 또한 만곡부(132)를 고유하게 포함할 수 있고 스프링(132)은 또한 이동 가능 구조를 모델링할 때 (거의) 영의 스프링 상수를 가질 수 있다.

[0110] 원리는 역학 기술에서 숙련된 사람에게 명백한 몇몇 부수 효과들을 의도적으로 생략하는, 단지 기본 효과들의 설명에 의해 단순한 방식으로 설명될 것이다. 완전히 정확한 수학적 모델을 제공하도록 의도되지 않는다.

[0111] 스프링(132)이 흔히 더 연성의 스프링으로서도 불리는 스프링(32)의 것보다 낮은 스프링 상수를 가지는 것으로 가정하면, 동일한 힘의 적용은 32에서보다 132에서 더 높은 스트레칭을 초래할 것이다.

[0112] 능동적 변위 액튜에이터(130)가 구동력(30)과 동일한 힘을 도입하면, 132의 스트레칭은 영으로 될 것인데, 그 이유는 능동적 보상 요소에서의 힘들이 평형을 이루기 때문이다.

[0113] 능동적 변위 액튜에이터(130)가 힘(30)보다 큰 힘을 도입하면, 스프링(132)은 압축되지 않고 스프링(31)으로서 벤딩되지 않을 것이다. 스프링(132)의 스프링 상수가 낮으므로, 구동력(30)보다 큰 소량의 능동적 보상 요소(135)에서의 힘(130)은 더 강건한 스프링(31)에서 스트레칭-변위와 동일한 압축-변위를 초래하는 스프링(132)에 서의 역압축(counter-compression)을 초래할 것이다. 그렇게 함으로써, 전체 구성이 가상적으로 무한의 강성(또는 만약 전체 보상을 원하거나 전체 보상이 달성되지 않는다면, 적어도 능동적으로 증가되는 가상 강성)이 기술될 수 있다.

[0114] 설명을 위한 단순한 수치 예, 여기서 스케일링이 설명을 용이하게 하기 위해 선택되고 실제 관련 또는 임의의 한정하는 효과들을 가지지 않는다:

[0115] 스프링 상수  $D_{130} = 1 \text{ N/mm}$ ,

[0116] 스프링 상수  $D_{30} = 10 \text{ N/mm}$ ,

[0117] 구동력  $F_{30} = 100 \text{ N}$ .

[0118] 이것은 보상되지 않은 기계의 종래 기술의 경위인  $L_{30} = F_{30}/D_{30} = 100 \text{ N}/10 \text{ N/mm} = 10 \text{ mm}$ 의 변위  $L_{30}$ 을 초래한다.

[0119]  $D_{130}(F_{130A} = 0)$ 에 가해지는 힘 없이 그것의 변위  $L_{130A}$ 는:

[0120] 종래 기술의 변위에 부가될 수 있고 명백히 보상 때문에 유리하지 않은  $L_{130A} = F_{30}/D_{130} = 100 \text{ N} / 1 \text{ N/mm} = 100$

mm일 수 있다.

[0121] 100 N의 힘  $F_{30}$ 의 동일한 양이  $F_{130B} = 100$  N으로서  $D_{130}$ 에 반대 방향으로 가해져서, 그것의 변위  $L_{130B}$ 은  $F_{30}$ 으로서 영으로 될 것이고,  $F_{130}$ 은 벨런싱되고 힘은 보상 요소들 스프링( $D_{130}$ ) 상에 작용하지 않는다.

[0122] 보상 요소에서 10 mm의 동일 변위를 달성하기 위해(그렇지만 반대 방향에서 보상을 원할 때),

[0123]  $F_{130c\_add} = L_{30} / D_{130} = 10 \text{ mm} / 1 \text{ N/mm} = 10 \text{ N}$  정도의 힘  $F_{130c\_add}$

[0124] 의 추가 양이  $D_{130}$ 에 가해져야 한다.

[0125] 이것은,

[0126]  $F_{130c} = F_{130B} + F_{130c\_add} = 100 \text{ N} + 10 \text{ N} = 110 \text{ N}$ 의  $D_{130}$

[0127] 에서의 힘들  $F_{130c}$ 의 합들을 초래한다.

[0128] 그렇게 함으로써, (능동적으로 감쇠되는 구동 기구(12)를 모델링하기 위해 사용되는) 스프링 요소들 모두의 변위가 함께 영으로 고려될 수 있다. 이것은 또한 가상의 무한 강성으로서 해석될 수 있다.

[0129] 전문가는 상기 설명이 매우 많이 단순화되어 있고 크게 정밀한 모델링이도록 의도되지 않는다는 것을 알 수 있다. 비록 어떤 부수 효과들이 무시되지만, 본 발명에 따른 능동적 보상이 달성되는 방법의 기본 원리가 명백하게 설명된다.

[0130] 예를 들어, 만곡부(132)에서의 힘/변위로 인한 스프링(32) 상의 추가의 힘들은 고려되지 않았지만, 그로부터 생기는 추가의 스트레칭은 또한 보상력의 추가의 증가에 의해 유사한 방식으로 보상될 수 있다.

[0131] 게다가, 드라이브 시스템 자체 내의 스트레칭 및 변형이 커플러(3)에 의해 보상될 수 있을 뿐만 아니라, 운동 힘들 또는 동적 힘들로 인한, 프레임 구조의 부분들과 같은 다른 부분들의 변형의 영향들의 감소 또는 보상이 본 발명에 따른 카운터링(countering) 능동적 변위 보상에 의해 달성될 수 있다.

[0132] 필요한 보상의 양은 힘 측정, 변위 측정, 동력학 측정(속도, 가속도)에 기초하여 결정될 수 있다. 전용 센서들의 전에 언급한 이용 외에, 다른 예는 원하는 카운터링의 결정을 위한 기초로서 추진 모터에 의해 도입되는 힘의 측정일 수 있다. 특정 예는, 어쨌든 제어 루프 목적들을 위해 종종 이용 가능한, 드라이브 모터 전류 또는 원하는 또는 측정된 추진력의 값의 이용일 수 있다. 대안으로, 보상량은 운동의 원하는 궤적에 기초한 유도된 변위의 예측 또는 모델링에 의해 결정될 수 있다.

[0133] 도 2d의 실시예에 도시된 것과 같이, 과도 발진들이라고도 불리는 저주파수 여기들, 및 미세 진동들이라고도 불리는 고주파수 여기들을 포함하는 이동 매스의 이동의 측정은 피에조 자체에 의해 행해질 수 있고, 그렇게 함으로써, 피에조는 측정 센서 및 액튜에이터 둘다로서 작용한다. 대안으로, 측정은 또한 벨트에 대한 이동 매스의 상대 이동을 측정하는, 액튜에이터에 평행한 U자 형상 내부에 위치될 수 있는 거리 센서(광학, 용량성 등)에 의해 행해질 수 있다. 더욱이, 센서는 "절대(absolute)" 운동을 측정하기 위해 하나 이상의 가속도계들, 속도 센서들 등의 도움을 받을 수 있다. 구동 위치의 선형 스케일 판독은 항상 CMM의 관련 제2 프레임 요소에 대한 절대 이동 측정을 제공한다.

[0134] 힘 센서 및 액튜에이터로서 피에조를 이용하는 경우에는, 또한 예컨대 전형적으로 피에조 액튜에이터들에 의해 나타날 수 있는 히스테리시스 효과들을 감소 또는 제거하기 위해, 도 3에 나타낸 것과 같은 이붙이 벨트에 대한 연결의 다른 측 상에서, 제2 피에조에 부가될 수 있다. 그러한 목적을 위해, 각각의 피에조는 2개의 이동 방향들 중 하나에서만 측정하고 작용하고 다른 피에조는 단지 다른 반대 방향에서 측정하고 작용한다. 용어 "피에조(piezo)"는 또한 실시예들에 기재된 것과 같은 테스크를 충족시키는 피에조들의 세트 또는 스택을 의미할 수 있다.

[0135] 다른 예로서, 힘의 측정은 벨트(2)와 커플러-부분(3A)의 상호 접속으로, 특히 이를 2개의 요소들 중간에서 그려진 흑색선(black bar)에서, 행해질 수 있다.

[0136] 피에조들의 이용 외에, 예컨대 또한 마그네틱 액튜에이터들 예컨대 보이스 코일 드라이브들은 능동적 보상 액튜에이터들로서 사용될 수 있다. 또한 예컨대, 요소들(6) 상의 스트레인 게이지(strain gauge)는 위에 설명된 것과 같이 힘 또는 변위를 결정하기 위한 센서로서 사용될 수 있다.

[0137] 능동적 보상 액튜에이터는 이때 피에조, 가속도계들, 속도 센서들, 광학 또는 용량성 거리 센서들과 같은 센서에 의해 측정되는 쳐짐들 또는 변위들(저- 및 고-주파수 여기들)에 따라 제어될 수 있고, 물론 선형 스케일에 의해 제어될 수 있다.

[0138] 도 4의 실시예에 있어서, 이전 도면들이 역-변위를 도입하는 능동적 변위 액튜에이터에 의해 변형된 플렉시블 요소(6)에 의해 구현된 이동 가능 구조는 부분들(3A 및 3B)을 결합하는 글라이딩 가이드(13)에 의해 대체되었다. 글라이딩 가이드(13)는 이중 화살표로 나타낸 것과 같이, 능동적 변위 액튜에이터에 의해 이동 방향에서 이동가능하거나 또는 시프트 가능하다. 이 실시예에 있어서, 능동적 보상 액튜에이터는 또한 2개의 프레임 구조들 사이의 이동 힘들을 중재할 것이다.

[0139] 도 5는 CMM(100)의 예시적인 실시예를 나타낸다. 소위 기계의 강성 프레임은 본 발명에 따른 능동적 보상 액튜에이터를 포함하는 추진력(1y), 벨트 드라이브(2y) 및 커플러(3y)를 갖는 본 발명에 따른 구동 기구(12)에 의해 포탈(4y)에 의해 구현되는 Y-축(101)에 링크되는 베이스 또는 기계 베드(104)를 포함한다. 선형 스케일(7y)은 위치 측정 기구의 실시예의 부분이다.

[0140] Y-축과 유사하게, 본 발명에 따른 능동적 보상 요소를 또한 포함할 수 있는 다른 구동 기구(12)에 의해 서로에 대해 이동 가능한 제1 프레임 요소 및 제2 프레임 요소(102)로서 포탈(101)을 갖는 x-축이 있다.

[0141] 제3의 z-축은 프레임 요소들(102 및 103)을 포함하고, 그것에 대해 프로브 헤드(105)는 고정될 수 있고, 그것의 공간 좌표들은 7x, 7y 및 7z에 의해 측정되는 구동 위치들에 따라 결정 가능하고, 컨트롤러(109) 또는 그것에 링크된 외부 PC에 의해 평가될 수 있다. 컨트롤러(109)는 또한 예컨대 미리 규정된 측정 프로그램들에 따라 또는 조이스틱에 의해, 축의 좌표 이동을 담당하고 있다.

[0142] 기계는 공간에서 3개의 직교 방향들로 이동 가능한, 프로브 헤드(105) 상의 - 도시된 예에서는 촉각의 - 프로브(106)에 의해 측정될 물체(107) 상의 측정 포인트(108)의 적어도 하나의 공간 좌표를 결정하는 방식으로 구축된다.

[0143] 능동적 보상 액튜에이터를 가지는 커플러를 갖는 본 발명의 일반적인 이점은 최종 CMM 측정들에 대해 여기들의 영향을 감소시키고, 제한된 강성 및 미세 진동들에 의해 현재 제한되고 있는 CMM 상의 상이한 부분들을 이동시킬 때 고속 및 동력학(가속도들)을 허용하는 것이다. 이것에 의해, 특히 전체 측정 정밀도 및/또는 기계의 속도가 증가될 수 있다.

[0144] 도 6은 시간(45) 대 위치(44) 도면으로 이와 같은 CMM(100)의 구동 기구(12)의 단순 궤적의 예를 도시한다. 점선(42)은 램프 함수(ramp function)로서 단순한 원하는 이동을 도시하고, 여기서 실용적인 원하는 궤적들이 훨씬 더 매끄럽게, 예컨대 저크 제한 S-곡선들(jerk limited S-curves) 등일 수 있도록 종종 선택된다. 실선(42)은 구동 기구(12)의 만곡으로 인해, 특히 가속 및 감속 및, 구동 기구들 제어 루프에 의해 완전히 보상되지 않는 탄성 변형들로 인한 램프의 중간 섹션에서의 약간의 추종 에러로 일부 과도 발진들을 나타내는 불활성적인 능동적 보상 액튜에이터 없이 프레임 요소의 측정된 이동이다.

[0145] 능동적 보상 액튜에이터가 온으로 되면, 실제 궤적(43)이 원하는 궤적(42)에 더 가깝게 맞춰질 수 있어, 변위 에러들을 감소시키고, 적어도 부분적으로 이들을 보상한다. 도면을 명확하고 단순하게 유지하기 위해, 이를 위해 나타낸 공간 라인은 없지만, 원하는 것에 더 가까운 도는 거의 완전히 중첩하는 실제 궤적이 참조된다.

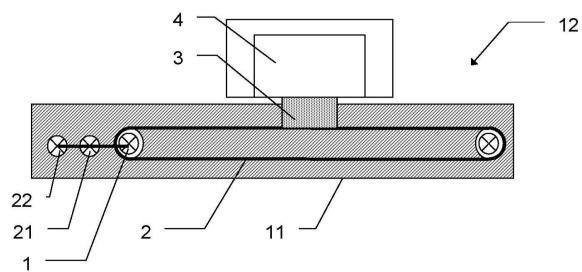
[0146] 도 7은 도 6과 유사하지만 그것은 또한 지금 부가된 실제 궤적(43)에서의 구동 기구(12)의 언급한 미세 진동들을 도시한다. 실제 실시예들에 있어서, 미세 진동들은 단순성을 위해 이 도면에서는 볼 수 없는, 종종 속도에 의존한다. 본 발명에 따른 능동 보상에 의해 또한 이들 미세 진동들이 적어도 부분적으로 보상될 수 있어, 원하는 것(42)에 매우 가까운 궤적을 초래한다.

[0147] 능동적 보상 액튜에이터는 센서만의 측정, 원하는 그리고 실제의 구동 위치, 이들의 조합에 기초하여 별도의 전용 제어 루프에 의해 제어될 수 있다.

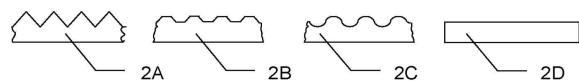
[0148] 대안으로, 능동적 보상 액튜에이터 제어장치는 구동 기구(12)의 주 제어 루프에 놓일 수 있다.

도면

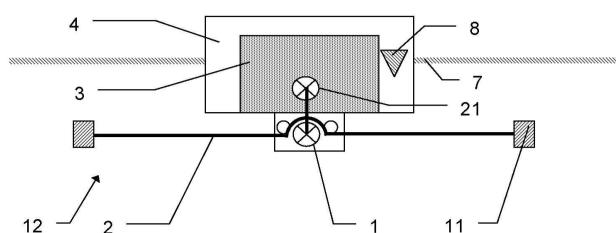
도면1a



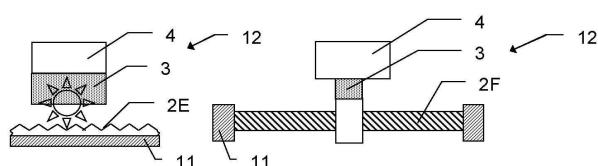
도면1b



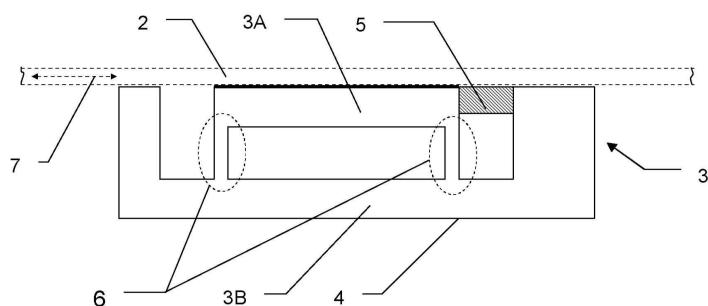
도면1c



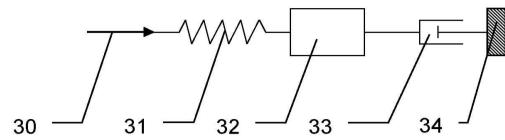
도면1d



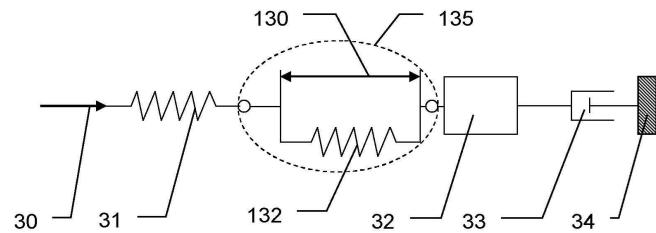
도면2a



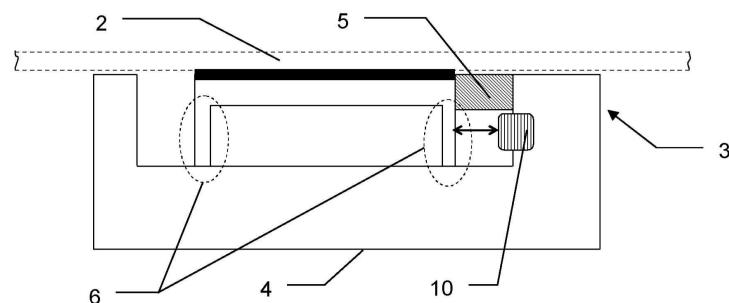
도면2b



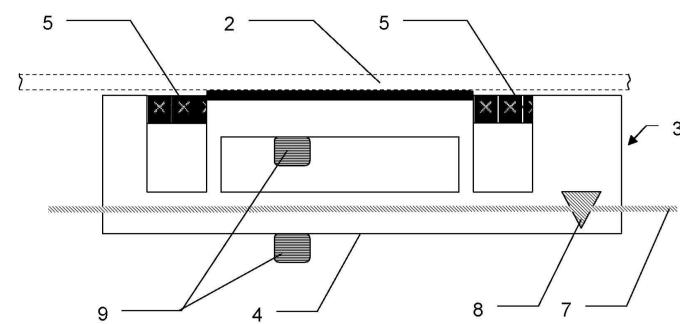
도면2c



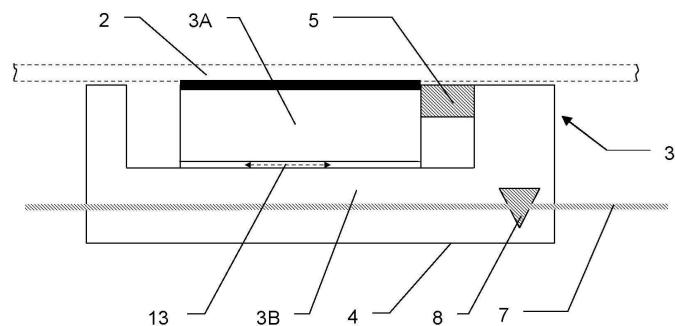
도면2d



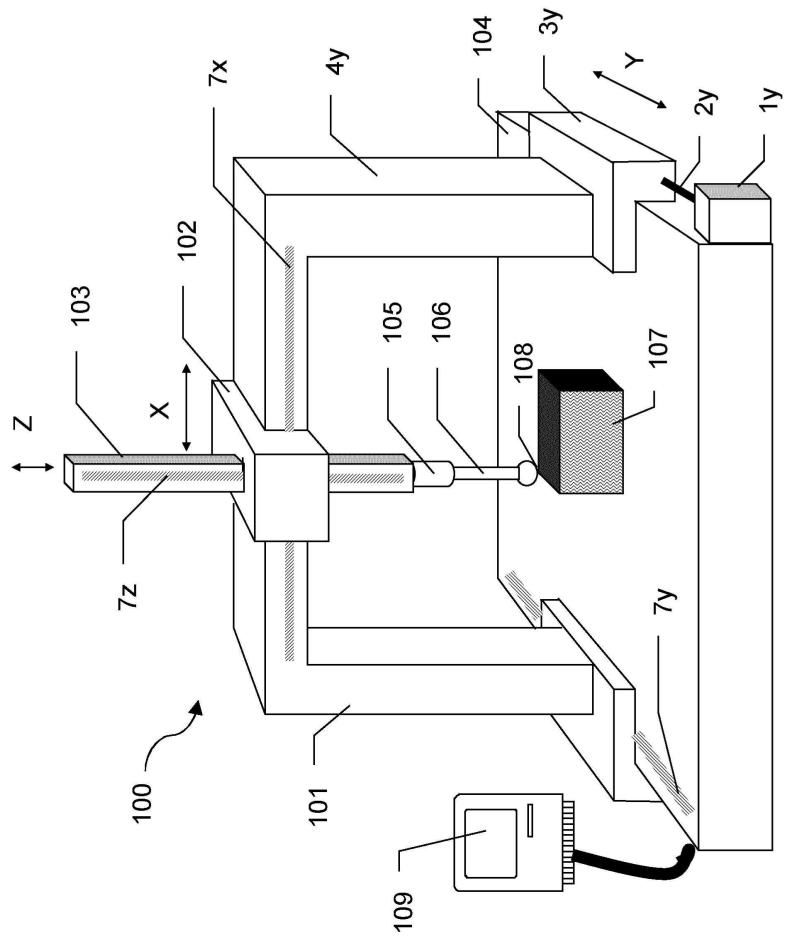
도면3



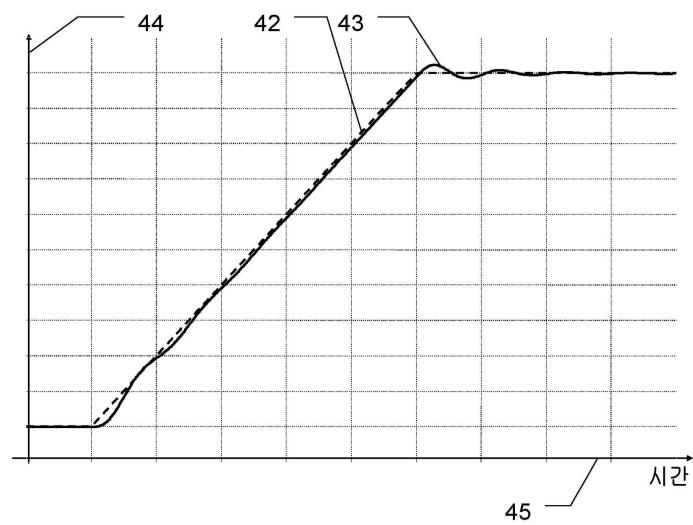
도면4



도면5



도면6



도면7

