



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0119696
(43) 공개일자 2023년08월16일

- | | |
|---|---|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/26 (2006.01) B23Q 17/24 (2006.01)
G01B 11/03 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01B 11/26 (2013.01)
B23Q 17/2471 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7024021
(22) 출원일자(국제) 2023년02월22일
심사청구일자 2023년07월13일
(85) 번역문제출일자 2023년07월13일
(86) 국제출원번호 PCT/CN2023/077576
(30) 우선권주장
202211207072.4 2022년09월30일 중국(CN) | (71) 출원인
지양수 유니버시티 오브 사이언스 앤드 테크놀로지
중국 212003, 지양수, 전지양 명시 로드 넘버 2
(72) 발명자
순 리
중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2
저우 홍건
중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이정현 |
|---|---|

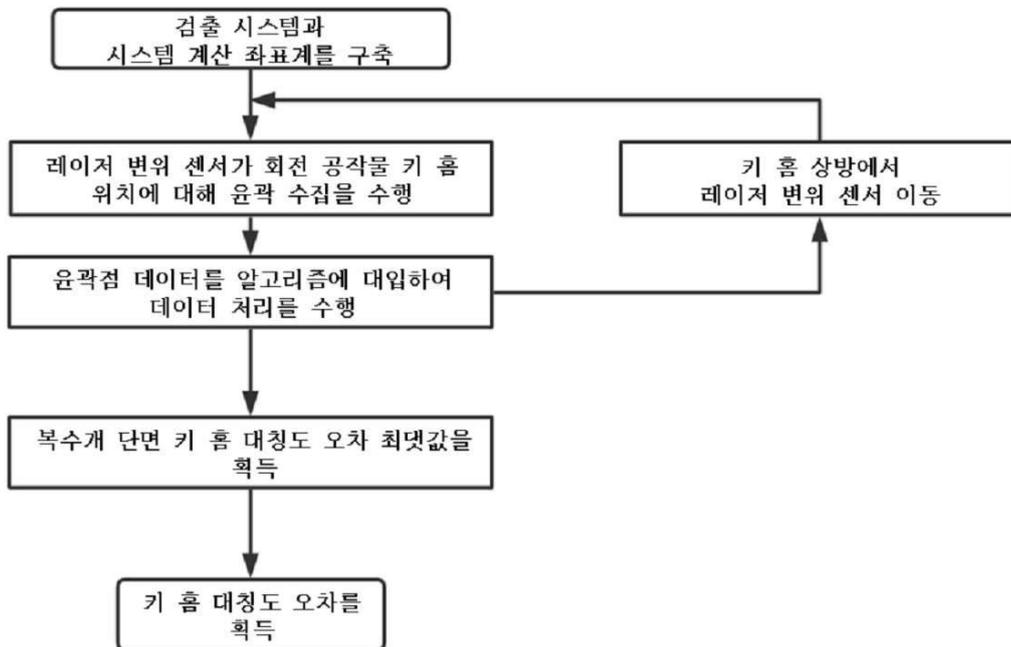
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출방법**

(57) 요약

본 발명은 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법을 개시하였다. 여기에는 검출 시스템을 구축하고 시스템 계산 좌표계를 구축하는 단계; 샤프트 공작물의 회전을 제어하고, 레이저 변위 센서가 검출 부위에 대해 연속적인 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여, 검출 단면의 대칭도 오차를 획득 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



득하는 단계; 및 축선 방향을 따라 레이저 변위 센서를 이동시켜, 키 홈의 복수개 단면의 대칭도 오차값을 계산하여, 공작물 키 홈의 대칭도 오차를 획득하는 단계가 포함된다. 본 발명은 실시간 검출되는 샤프트 공작물 키 홈 단면의 윤곽 정보를 통해 키 홈의 대칭도 오차값을 계산함으로써, 종래의 이젝터 핀 기준 또는 V자형 블록 도입 기준을 사용함에 따른 시스템 오차 및 보상의 어려움을 해결하고, 객관적으로 존재하는 레이저 변위 센서의 위치결정 오차를 제거하여, 검출 결과의 정확성을 보장하였다. 또한 키 홈 가공의 인플레이스 검출을 구현할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01B 11/03 (2013.01)

G06F 17/10 (2013.01)

(72) 발명자

리 구어차오

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

탕 잉

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

둥 바오지양

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

관 시아오옌

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

스 시아오나

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

우 형형

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

허우 치우린

중국, 212003 지양수, 전지양 징커우 디스트릭트, 명시로드, 넘버 2

명세서

청구범위

청구항 1

샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법에 있어서,

여기에는 하기 단계,

단계 1: 검출 시스템을 구축하고, 검출 시스템은 공작 기계 상측에 위치한 가이드 레일, 가이드 레일상에 장착되어 가이드 레일 횡방향을 따라 이동할 수 있는 레이저 변위 센서, 가이드 레일 상에 장착되어 레이저 변위 센서가 이동하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 이동 장치, 가이드 레일 양측에 위치하며 가이드 레일이 종방향으로 이동하도록 연동시키는 데 사용되는 종방향 이동 장치 및 샤프트 공작물을 클램핑하는 데 사용되는 공작 기계를 포함하고; 여기에서 레이저 변위 센서의 측정 방향은 수직 방향이며, 먼저 레이저 변위 센서를 가이드 레일을 따라 샤프트 공작물의 키 홈이 없는 구간으로 이동시키고, 가이드 레일 양단의 이동 장치를 통해 가이드 레일을 공작물 축선에 수직으로 수평 이동시켜, 이동 과정 중의 측정값을 비교하며, 레이저 변위 센서가 최대 측정값 위치에 위치하도록, 즉 샤프트 공작물 축선 상에 위치하도록 조절한 후, 레이저 변위 센서가 가이드 레일을 따라 샤프트 공작물의 키 홈 상방까지 이동하도록 하고; 시스템을 구축하고 좌표계를 계산하며, 레이저와 샤프트 공작물 축선의 이론적 교차점을 원점 0으로 하고, 샤프트 공작물 축선을 Z축으로 하고, 레이저가 위치한 직선이 수직으로 위를 향한 것은 Y축의 양의 방향이며, 오른손 법칙으로 X축을 결정하여, 검출 좌표계 O-XYZ를 구축하고, 레이저 변위 센서에 의해 검출된 단면이 바로 XOY 평면이고;

단계 2: 공작 기계가 주어진 회전 속도로 회전하도록 제어하고, 샤프트 공작물을 연동시켜 균일한 속도로 회전시키고, 레이저 변위 센서는 샤프트 공작물의 실시간 검출 데이터를 획득하며, 변환하여 Y축 상의 측정 값 y 를 획득하고;

단면 직각 좌표계 X-O-Y 상에서, 키 홈 바닥부가 수평일 때 키 홈 횡단면 등고선 수학 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{R-b}{\sin \theta}, & \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{a+\delta_0}{R} < \theta < \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{a-\delta_0}{R} \\ R, & \text{기타} \end{cases} \quad (2)$$

식에서, R은 샤프트 반경, b는 키 홈 깊이, θ 는 극각, ρ 는 극반지름, 키 홈의 폭은 $2a$, δ_0 은 해당 단면에 실제로 존재하는 키 홈의 대칭도 오차이고, 대칭도 오차가 존재하지 않으면, δ_0 은 0이고;

단면 직각 좌표계 X-O-Y 하에서, 윤곽 상의 한 점 (x_0, y_0) 은 원점을 기준으로 반시계 방향으로 각도 α 를 회전한 후의 좌표가 (x, y) 이고, 이의 변환 공식은 다음과 같고,

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

레이저 변위 센서에 의해 획득된 검출 궤적 방정식은 회전의 원래 곡선 방정식 (2)가 1사이클 회전 내에서 Y축과 교차하는 양의 값 점으로 간주될 수 있으며, 모델 표현식은 다음과 같고,

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho(\theta) \cos \theta \\ \rho(\theta) \sin \theta \end{bmatrix} \\ x = 0 \end{cases} \quad (4)$$

검출 궤적에 존재하는 2개의 값 변이점 A와 B는 키 홈의 왼쪽과 오른쪽 가장자리 점이며, 이의 회전 각도는 각

각 α_1 과 α_2 이고, $\alpha_1 < \alpha_2$ 이며; 궤적 중 값이 가장 작을 때의 회전 각도를 α_0 으로 설정하고, 이때 키 홈 바닥부는 X 축과 평행하고, 즉, 샤프트의 초기 위치에 관계없이, 그 반시계 방향을 α_0 각도로 회전하면, 키 홈 바닥부 수평을 구현할 수 있고, 이 위치에서 키 홈 양단 점 좌표를 계산할 수 있는데, 이때 A와 B점은 y축 양측에 분포하고, 횡좌표 계산 공식은 각각 다음과 같고,

$$\begin{aligned} x_A &= R \sin(\alpha_1 - \alpha_0) \\ x_B &= R \sin(\alpha_2 - \alpha_0) \end{aligned} \quad (5)$$

x_A 는 A점의 횡좌표이고, x_B 는 B점의 횡좌표이고;

A, B점의 횡좌표에서 키 홈 중심점의 횡좌표를 계산하며, 이것과 이상적인 좌표의 차이값이 대칭도 오차이고, 계산 공식은 다음과 같고,

$$\delta_1 = \frac{x_A + x_B}{2} - 0 \quad (6)$$

레이저 변위 센서 장착 시 X 방향을 따르는 위치결정 오차가 존재하고, 레이저 변위 센서가 X 방향에서 오프셋 거리가 l 일 때, 단면 직각 좌표계 X-O-Y에서, 검출 직선이 $x=l$ 로 변하고; 키 홈 구간 궤적은 검출 광선이 A와 B점을 검출할 때의 회전 각도에 의해 결정되고; 공간 기하학적 이론에 따라, 키 홈이 없는 구간의 궤적은 변화가 일어나지 않고, 공식 (4)의 검출 직선을 $x=0$ 에서 $x=l$ 으로 변경하여, A, B점의 회전 각도를 얻을 수 있으며, 이때 1사이클 내의 궤적 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{r-b}{\sin \theta}, & \alpha'_1 < \alpha < \alpha'_2 \\ R, & \text{기타} \end{cases} \quad (7)$$

α'_1 , α'_2 는 각각 레이저 변위 센서가 2개의 키 홈 가장자리 꼭지점을 검출할 때의 회전 각도이며, 연립을 통해 센서가 오프셋된 후의 검출 곡선 모델을 획득할 수 있고;

y 값이 R-b이고 최저점 이후의 점이 수평 시의 점일 때, 해당 회전 각도는 α'_0 이고;

레이저 변위 센서는 x축 방향을 따라 편차가 존재하고, 그 측정된 최댓값과 최솟값이 모두 변화가 발생하고, 오프셋 후 검출된 수치 최댓값은 R_{\max} 이고, R_{\max} 는 단면 반경 R보다 작고, A, B점 회전 각도 오프셋을 보상하며, 보상 공식은 다음과 같이,

$$\gamma = \arccos \frac{R_{\max}}{R} \quad (8) \text{이고; } \gamma \text{ 는 보상 각도이고;}$$

보상 각도를 이용해 레이저 변위 센서의 수평 방향 오프셋의 영향을 제거하며, A, B점의 횡좌표 계산 공식은 다음과 같고,

$$\begin{aligned} x_A &= R \sin(\alpha'_1 - \alpha'_0 + \gamma) \\ x_B &= R \sin(\alpha'_2 - \alpha'_0 + \gamma) \end{aligned} \quad (9)$$

x_A , x_B 를 공식 (6)에 대입하면 해당 단면의 센서 오프셋 오차가 제거된 대칭도 오차 계산값을 획득할 수 있고;

단계 3: 레이저 변위 센서를 Z축 방향을 따라 키 홈 상에서 이동시키고, 상이한 위치에서 여러 번 반복하여 검출하여, n개 단면 상의 대칭도 오차를 계산하고, 그 최댓값이 키 홈의 대칭도 오차이며, 표현식은 다음과 같고,

$$\delta = \max(\delta_i), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (10)$$

δ_i 는 i 번째 단면 상에서 계산한 대칭도 오차값이며, δ 는 샤프트 키 홈의 대칭도 오차값인 단계;가 포함되는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단계 2에서 레이저 변위 센서는 샤프트 공작물의 실시간 검출 데이터를 획득하고, 변환하여 Y축 상의 측정값 y 를 획득하는 구체적인 방법은 다음과 같고,

레이저 변위 센서 검출 데이터를 0-XYZ 좌표계 상에서 대응시키며, 레이저 변위 센서는 키 홈 구간 축선 상에 위치하고, 공작물이 1사이클 회전할 때 레이저 변위 센서가 획득하는 측정값은 y_c 이고, 최대값은 y_{cmax} 이고, 키 홈 구간 값 외의 최소값은 y_{cmin} 이고, 검출 데이터의 Y 축 상에 대응하는 값은 y 이고, 대응 관계는 다음과 같이,

$$y = y_c - \frac{y_{cmax} - y_{cmin}}{2} \quad (1)$$

인 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 횡방향 이동 장치는 가이드 레일 하방에 평행하게 설치된 횡방향 나사봉, 가이드 레일에 연결되어 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 모터를 포함하고, 레이저 변위 센서는 횡방향 나사봉의 볼 너트 시트 상에 고정되고, 횡방향 모터는 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시켜, 레이저 변위 센서가 가이드 레일 횡방향을 따라 이동하도록 연동시키는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 종방향 이동 장치는 가이드 레일 양측에 대칭 설치된 2개의 평행 설치된 종방향 나사봉 및 종방향 나사봉 단부에 위치하며 종방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 종방향 모터를 포함하고, 가이드 레일의 양단은 양측의 종방향 나사봉의 볼 너트 시트 상에 고정되고, 종방향 모터는 양측 종방향 나사봉이 회전하도록 동기적으로 구동하여, 가이드 레일이 종방향 나사봉을 따라 이동하도록 연동시키는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 공작 기계는 샤프트 공작물을 클램핑시키는 데 사용되는 척 및 샤프트 공작물을 잭킹시키는 데 사용되는 팁을 포함하고, 척의 회전을 제어하여 샤프트 공작물이 균일한 속도로 회전하도록 연동시키는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 가공 분야에서 샤프트 공작물의 검출 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 샤프트 공작물 키 홈 대

[0001]

칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 키 전동은 기계 전동의 중요한 형태이다. 샤프트 키는 통상적으로 철강으로 제작되며, 쌍을 이루는 샤프트와 상기 부재의 축방향 휠 허브 사이에 거치되거나 장착되어, 운동을 전달하고 상대적 슬라이딩을 방지하는 목적을 달성한다. 키 홈은 샤프트 상이나 휠 허브 상의 오목홈이며, 키를 수용하여 잠금 어셈블리에 고정하는 데 사용된다.
- [0003] 대칭도 오차는 키 전동 성능에 영향을 미치는 핵심 요소 중 하나이므로, 대칭도는 키 홈 품질을 평가하는 중요한 지표이다. 대칭도 오차는 크지 않아야 하며, 해당 오차가 크면 전동 메커니즘에 고르지 않은 힘이 가해지고 센터링 정밀도가 떨어진다. 샤프트 부품의 키 전동 안전성을 보장하기 위해, 키 홈 대칭도를 엄격하게 검출해야 한다.
- [0004] 현재, 일반적으로 사용되는 키 홈 대칭도 검출 방법은 주로 샤프트의 기준 축선을 시뮬레이션하는 데 사용되어 공작물을 V형 블록 상에 놓고, 키 홈에 게이지 블록을 삽입하여, 피측정 키 홈의 중심 평면을 게이지 블록으로 시뮬레이션한 후, 게이지 블록의 정면 상부 표면과 측정 테이블면을 평행하게 하여, 게이지 블록 양단 거리를 각각 측정하고, 180° 반전시킨 후 다시 측정하며, 측정 데이터를 공식에 대입하여 대칭도 오차값을 계산하는 것이다. 또 다른 검출 방법은 3좌표 측정기를 사용하는 것이나, 검출 비용이 높고 검출 시간이 길다. 기존 측정 도구의 접촉식 측정 방법은 부품 표면을 긁기 쉽고 측정 정밀도가 낮고 자동화 수준이 낮은 문제점이 있어, 현재 고정밀 고효율 대규모 생산 모드의 수요를 적절하게 충족시킬 수 없다.
- [0005] 따라서 상기 문제를 해결하는 것이 시급하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 목적은 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법을 제공하여, 키 홈 검출의 정밀도 및 자동화 수준을 향상시킴으로써, 키 홈 가공의 인플레이스 비접촉 검출을 구현하여, 고정밀 키 홈 제조를 보장하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명은 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법을 개시하며, 여기에는 하기 단계가 포함된다.
- [0008] 단계 1: 검출 시스템을 구축한다. 검출 시스템은 공작 기계 상측에 위치한 가이드 레일, 가이드 레일상에 장착되어 가이드 레일 횡방향을 따라 이동할 수 있는 레이저 변위 센서, 가이드 레일 상에 장착되어 레이저 변위 센서가 이동하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 이동 장치, 가이드 레일 양측에 위치하며 가이드 레일이 종방향으로 이동하도록 연동시키는 데 사용되는 종방향 이동 장치 및 샤프트 공작물을 클램핑하는 데 사용되는 공작 기계를 포함한다. 여기에서 레이저 변위 센서의 측정 방향은 수직 방향이며, 먼저 레이저 변위 센서를 가이드 레일을 따라 샤프트 공작물의 키 홈이 없는 구간으로 이동시키고, 가이드 레일 양단의 이동 장치를 통해 가이드 레일을 공작물 축선에 수직으로 수평 이동시켜, 이동 과정 중의 측정값을 비교하며, 레이저 변위 센서가 최대 측정값 위치에 위치하도록, 즉 샤프트 공작물 축선 상에 위치하도록 조절한 후, 레이저 변위 센서가 가이드 레일을 따라 샤프트 공작물의 키 홈 상방까지 이동하도록 한다. 시스템을 구축하고 좌표계를 계산하며, 레이저와 샤프트 공작물 축선의 이론적 교차점을 원점 0으로 하고, 샤프트 공작물 축선을 Z축으로 하고, 레이저가 위치한 직선이 수직으로 위를 향한 것은 Y축의 양의 방향이며, 오른손 법칙으로 X축을 결정하여, 검출 좌표계 0-XYZ를 구축한다. 레이저 변위 센서에 의해 검출된 단면이 바로 XOY 평면이다.
- [0009] 단계 2: 공작 기계가 주어진 회전 속도로 회전하도록 제어하고, 샤프트 공작물을 연동시켜 균일한 속도로 회전시키고, 레이저 변위 센서는 샤프트 공작물의 실시간 검출 데이터를 획득하며, 변환하여 Y축 상의 측정 값 y 를 획득한다.
- [0010] 단면 직각 좌표계 X-O-Y 상에서, 키 홈 바닥부가 수평일 때 키 홈 횡단면 등고선 수학 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0011]

$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{R-b}{\sin \theta}, & \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{a+\delta_0}{R} < \theta < \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{a-\delta_0}{R} \\ R, & \text{기타} \end{cases} \quad (2)$$

[0012]

식에서, R은 샤프트 반경, b는 키 홈 깊이, θ 는 극각, ρ 는 극반지름, 키 홈의 폭은 $2a$, δ_0 은 해당 단면에 실제로 존재하는 키 홈의 대칭도 오차이고, 대칭도 오차가 존재하지 않으면, δ_0 은 0이다.

[0013]

단면 직각 좌표계 X-O-Y 하에서, 윤곽 상의 한 점 (x_0, y_0) 은 원점을 기준으로 반시계 방향으로 각도 α 를 회전한 후의 좌표가 (x, y) 이고, 이의 변환 공식은 다음과 같다.

[0014]

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0015]

레이저 변위 센서에 의해 획득된 검출 궤적 방정식은 회전의 원래 곡선 방정식 (2)가 1사이클 회전 내에서 Y축과 교차하는 양의 값 점으로 간주될 수 있으며, 모델 표현식은 다음과 같다.

[0016]

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho(\theta) \cos \theta \\ \rho(\theta) \sin \theta \end{bmatrix} \\ x = 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0017]

검출 궤적에 존재하는 2개의 값 변이점 A와 B는 키 홈의 왼쪽과 오른쪽 가장자리 점이며, 이의 회전 각도는 각각 α_1 과 α_2 이고, $\alpha_1 < \alpha_2$ 이다. 궤적 중 값이 가장 작을 때의 회전 각도를 α_0 으로 설정한다. 이때 키 홈 바닥부는 X축과 평행하다. 즉, 샤프트의 초기 위치에 관계없이, 그 반시계 방향을 α_0 각도로 회전하면, 키 홈 바닥부 수평을 구현할 수 있다. 이 위치에서 키 홈 양단 점 좌표를 계산할 수 있는데, 이때 A와 B점은 y축 양측에 분포하고, 횡좌표 계산 공식은 각각 다음과 같다.

[0018]

$$\begin{aligned} x_A &= R \sin(\alpha_1 - \alpha_0) \\ x_B &= R \sin(\alpha_2 - \alpha_0) \end{aligned} \quad (5)$$

[0019]

x_A 는 A점의 횡좌표이고, x_B 는 B점의 횡좌표이다.

[0020]

A, B점의 횡좌표에서 키 홈 중심점의 횡좌표를 계산하며, 이것과 이상적인 좌표의 차이값이 대칭도 오차이다. 계산 공식은 다음과 같다.

[0021]

$$\delta_1 = \frac{x_A + x_B}{2} - 0 \quad (6)$$

[0022]

레이저 변위 센서 장착 시 X 방향을 따르는 위치결정 오차가 존재한다. 레이저 변위 센서가 X 방향에서 오프셋 거리가 l 일 때, 단면 직각 좌표계 X-O-Y에서, 검출 직선이 $x=l$ 로 변한다. 키 홈 구간 궤적은 검출 광선이 A와 B점을 검출할 때의 회전 각도에 의해 결정된다. 공간 기하학적 이론에 따라, 키 홈이 없는 구간의 궤적은 변화가 일어나지 않는다. 공식 (4)의 검출 직선을 $x=0$ 에서 $x=l$ 으로 변경하여, A, B점의 회전 각도를 얻을 수 있으며, 이때 1사이클 내의 궤적 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0023]

$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{r-b}{\sin \theta}, & \alpha'_1 < \alpha < \alpha'_2 \\ R, & \text{기타} \end{cases} \quad (7)$$

[0024] α'_1, α'_2 는 각각 레이저 변위 센서가 2개의 키 홈 가장자리 꼭지점을 검출할 때의 회전 각도이며, 연립을 통해 센서가 오프셋된 후의 검출 곡선 모델을 획득할 수 있다.

[0025] y 값이 R -b이고 최저점 이후의 점이 수평 시의 점일 때, 해당 회전 각도는 α'_0 이다.

[0026] 레이저 변위 센서는 x 축 방향을 따라 편차가 존재하고, 그 측정된 최댓값과 최솟값이 모두 변화가 발생한다. 오프셋 후 검출된 수치 최댓값은 R_{max} 이고, R_{max} 는 단면 반경 R 보다 작고, A, B점 회전 각도 오프셋을 보상하며, 보상 공식은 다음과 같이

[0027]
$$rs = \arccos \frac{R_{max}}{R} \quad (8)$$
 이고, rs 는 보상 각도이다.

[0028] 보상 각도를 이용해 레이저 변위 센서의 수평 방향 오프셋의 영향을 제거하며, A, B점의 횡좌표 계산 공식은 다음과 같다.

[0029]
$$\begin{aligned} x_A &= R \sin(\alpha'_1 - \alpha'_0 + rs) \\ x_B &= R \sin(\alpha'_2 - \alpha'_0 + rs) \end{aligned} \quad (9)$$

[0030] x_A, x_B 를 공식 (6)에 대입하면 해당 단면의 센서 오프셋 오차가 제거된 대칭도 오차 계산값을 획득할 수 있다.

[0031] 단계 3: 레이저 변위 센서를 Z축 방향을 따라 키 홈 상에서 이동시키고, 상이한 위치에서 여러 번 반복하여 검출하여, n 개 단면 상의 대칭도 오차를 계산한다. 그 최댓값이 키 홈의 대칭도 오차이며, 표현식은 다음과 같다.

[0032]
$$\delta = \max(\delta_i), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (10)$$

[0033] δ_i 는 i 번째 단면 상에서 계산한 대칭도 오차값이며, δ 는 샤프트 키 홈의 대칭도 오차값이다.

[0034] 그 중 단계 2에서 레이저 변위 센서는 샤프트 공작물의 실시간 검출 데이터를 획득하고, 변환하여 Y축 상의 측정값 y 를 획득하는 구체적인 방법은 다음과 같다.

[0035] 레이저 변위 센서 검출 데이터를 0-XYZ 좌표계 상에서 대응시키며, 레이저 변위 센서는 키 홈 구간 축선 상에 위치하고, 공작물이 1사이클 회전할 때 레이저 변위 센서가 획득하는 측정값은 y_c 이고, 최댓값은 y_{cmax} 이고, 키 홈 구간 값 외의 최솟값은 y_{cmin} 이고, 검출 데이터의 Y축 상에 대응하는 값은 y 이고, 대응 관계는 다음과 같다.

[0036]
$$y = y_c - \frac{y_{cmax} - y_{cmin}}{2} \quad (1)$$

[0037] 바람직하게는, 횡방향 이동 장치는 가이드 레일 하방에 평행하게 설치된 횡방향 나사봉, 가이드 레일에 연결되어 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 모터를 포함한다. 레이저 변위 센서는 횡방향 나사봉의 볼너트 시트 상에 고정되고, 횡방향 모터는 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시켜, 레이저 변위 센서가 가이드 레일 횡방향을 따라 이동하도록 연동시킨다.

[0038] 더 나아가, 종방향 이동 장치는 가이드 레일 양측에 대칭 설치된 2개의 평행 설치된 종방향 나사봉 및 종방향 나사봉 단부에 위치하며 종방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 종방향 모터를 포함한다. 가이드 레일의 양단은 양측의 종방향 나사봉의 볼 너트 시트 상에 고정되고, 종방향 모터는 양측 종방향 나사봉이 회전하도록 동기적으로 구동하여, 가이드 레일이 종방향 나사봉을 따라 이동하도록 만든다.

[0039] 또한, 공작 기계는 샤프트 공작물을 클램핑시키는 데 사용되는 척 및 샤프트 공작물을 잭킹시키는 데 사용되는 팁을 포함하고, 척의 회전을 제어하여 샤프트 공작물이 균일한 속도로 회전하도록 연동시킨다.

발명의 효과

[0040] 종래 기술과 비교할 때, 본 발명의 장점은 하기와 같다.

[0041] 먼저 본 발명은 고정밀 센서를 이용하여 윤곽 데이터를 검출하고, 윤곽 레지 데이터를 통해 대칭도 오차값을 계산함으로써, 기존의 V자형 블록이나 게이지 블록이 측정 기준을 도입하여 쉽게 추가적 오차를 유발하는 문제를 방지하였다. 동시에 객관적으로 존재하는 레이저 변위 센서의 위치결정 오차를 고려하여, 계산에서 제거하였다. 본 발명은 가공 현장에서 고정밀 가공 정밀 검출 프로세스를 직접 수행할 수 있으며, 비접촉식 측정은 가공 공작물의 손상과 검출 장비의 손실을 방지하고, 동시에 다중 클램핑으로 인한 위치결정 오차를 방지한다. 다른 검출 방법과 비교하여, 본 발명은 신뢰성이 높고 검출 효율이 높으며 시간이 짧고 다양한 치수의 샤프트 공작물의 인플레이스 비접촉 검출을 구현할 수 있다. 또한 자유도가 높고 대량의 고정 클램핑 도구의 제약을 받지 않아 광범위하게 적용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 계산 좌표계의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 흐름도이다.

도 3은 본 발명에서 검출 시스템의 구조도이다.

도 4는 본 발명에서 가이드 레일의 평면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 이하에서는 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 기술적 해결책을 보다 상세하게 설명한다.

[0044] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 검출 방법은 하기 단계를 포함한다.

[0045] 단계 1: 검출 시스템을 구축한다. 검출 시스템은 공작 기계 상측에 위치한 가이드 레일, 가이드 레일상에 장착되어 가이드 레일 횡방향을 따라 이동할 수 있는 레이저 변위 센서, 가이드 레일 상에 장착되어 레이저 변위 센서가 이동하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 이동 장치, 가이드 레일 양측에 위치하며 가이드 레일이 종방향으로 이동하도록 연동시키는 데 사용되는 종방향 이동 장치 및 샤프트 공작물을 클램핑하는 데 사용되는 공작 기계를 포함한다. 여기에서 횡방향 이동 장치는 가이드 레일 하방에 평행하게 설치된 횡방향 나사봉, 가이드 레일에 연결되어 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 모터를 포함한다. 레이저 변위 센서는 횡방향 나사봉의 볼너트 시트 상에 고정되고, 횡방향 모터는 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시켜, 레이저 변위 센서가 가이드 레일 횡방향을 따라 이동하도록 연동시킨다. 종방향 이동 장치는 가이드 레일 양측에 대칭 설치된 2개의 평행 설치된 종방향 나사봉 및 종방향 나사봉 단부에 위치하며 종방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 종방향 모터를 포함한다. 가이드 레일의 양단은 양측의 종방향 나사봉의 볼너트 시트 상에 고정되고, 종방향 모터는 양측 종방향 나사봉이 회전하도록 동기적으로 구동하여, 가이드 레일이 종방향 나사봉을 따라 이동하도록 연동시킨다. 공작 기계는 샤프트 공작물을 클램핑시키는 데 사용되는 척 및 샤프트 공작물을 잭킹시키는 데 사용되는 팁을 포함한다. 레이저 변위 센서의 측정 방향은 수직 방향이다. 먼저 레이저 변위 센서를 가이드 레일을 따라 샤프트 공작물의 키 홈이 없는 구간으로 이동시키고, 가이드 레일 양단의 이동 장치를 통해 가이드 레일을 공작물 축선에 수직으로 수평 이동시켜, 이동 과정 중의 측정 값을 비교하며, 레이저 변위 센서가 최대 측정값 위치에 위치하도록, 즉 샤프트 공작물 축선 상에 위치하도록 조절한 후, 레이저 변위 센서가 가이드 레일을 따라 샤프트 공작물의 키 홈 상방까지 이동하도록 한다. 시스템을 구축하고 좌표계를 계산하며, 레이저와 샤프트 공작물 축선의 이론적 교차점을 원점 0으로 하고, 샤프트 공작물 축선을 Z축으로 하고, 레이저가 위치한 직선이 수직으로 위를 향한 것은 Y축의 양의 방향이며, 오른손 법칙으로 X축을 결정하여, 검출 좌표계 0-XYZ를 구축한다. 레이저 변위 센서에 의해 검출된 단면이 바로 XOY 평면이다.

[0046] 단계 2: 공작 기계의 척이 주어진 회전 속도로 회전하도록 제어하고, 샤프트 공작물을 연동시켜 균일한 속도로 회전시키고, 레이저 변위 센서는 샤프트 공작물의 실시간 검출 데이터를 획득하며, 변환하여 Y축 상의 측정 값

y 를 획득한다.

[0047] 여기에서 레이저 변위 센서는 샤프트 공작물의 실시간 검출 데이터를 획득하고, 변환하여 Y축 상의 측정값 y 를 획득하는 구체적인 방법은 다음과 같다.

[0048] 레이저 변위 센서 검출 데이터를 0-XYZ 좌표계 상에서 대응시키며, 레이저 변위 센서는 키 홈 구간 축선 상에 위치하고, 공작물이 1사이클 회전할 때 레이저 변위 센서가 획득하는 측정값은 y_c 이고, 최댓값은 y_{cmax} 이고, 키 홈 구간 값 외의 최솟값은 y_{cmin} 이고, 검출 데이터의 Y 축 상에 대응하는 값은 y 이고, 대응 관계는 다음과 같다.

$$y = y_c - \frac{y_{cmax} - y_{cmin}}{2} \quad (1)$$

[0050] 단면 직각 좌표계 X-0-Y 상에서, 키 홈 바닥부가 수평일 때 키 홈 횡단면 등고선 수학 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{R-b}{\sin \theta}, & \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{a+\delta_0}{R} < \theta < \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{a-\delta_0}{R} \\ \text{기타} & \end{cases} \quad (2)$$

[0052] 식에서, R은 샤프트 반경, b는 키 홈 깊이, θ 는 극각, ρ 는 극반지름, 키 홈의 폭은 $2a$, δ_0 은 해당 단면에 실제로 존재하는 키 홈의 대칭도 오차이고, 대칭도 오차가 존재하지 않으면, δ_0 은 0이다.

[0053] 단면 직각 좌표계 X-0-Y 하에서, 윤곽 상의 한 점 (x_0, y_0) 은 원점을 기준으로 반시계 방향으로 각도 α 를 회전한 후의 좌표가 (x, y) 이고, 이의 변환 공식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0055] 레이저 변위 센서에 의해 획득된 검출 궤적 방정식은 회전의 원래 곡선 방정식 (2)가 1사이클 회전 내에서 Y축과 교차하는 양의 값 점으로 간주될 수 있으며, 모델 표현식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho(\theta) \cos \theta \\ \rho(\theta) \sin \theta \end{bmatrix} \\ x = 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0057] 검출 궤적에 존재하는 2개의 값 변이점 A와 B는 키 홈의 왼쪽과 오른쪽 가장자리 점이며, 이의 회전 각도는 각각 α_1 과 α_2 이고, $\alpha_1 < \alpha_2$ 이다. 궤적 중 값이 가장 작을 때의 회전 각도를 α_0 으로 설정한다. 이때 키 홈 바닥부는 X 축과 평행하다. 즉, 샤프트의 초기 위치에 관계없이, 그 반시계 방향을 α_0 각도로 회전하면, 키 홈 바닥부 수평을 구현할 수 있다. 이 위치에서 키 홈 양단 점 좌표를 계산할 수 있는데, 이때 A와 B점은 y축 양측에 분포하고, 횡좌표 계산 공식은 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_A &= R \sin(\alpha_1 - \alpha_0) \\ x_B &= R \sin(\alpha_2 - \alpha_0) \end{aligned} \quad (5)$$

[0059] x_A 는 A점의 횡좌표이고, x_B 는 B점의 횡좌표이다.

[0060] A, B점의 횡좌표에서 키 홈 중심점의 횡좌표를 계산하며, 이것과 이상적인 좌표의 차이값이 대칭도 오차이다. 계산 공식은 다음과 같다.

[0061]
$$\delta_1 = \frac{x_A + x_B}{2} - 0 \quad (6)$$

[0062] 레이저 변위 센서 장착 시 X 방향을 따르는 위치결정 오차가 존재한다. 레이저 변위 센서가 X 방향에서 오프셋 거리가 l 일 때, 단면 직각 좌표계 X-O-Y에서, 검출 직선이 $x=l$ 로 변한다. 키 홈 구간 궤적은 검출 광선이 A와 B점을 검출할 때의 회전 각도에 의해 결정된다. 공간 기하학적 이론에 따라, 키 홈이 없는 구간의 궤적은 변화가 일어나지 않는다. 공식 (4)의 검출 직선을 $x=0$ 에서 $x=l$ 으로 변경하여, A, B점의 회전 각도를 얻을 수 있으며, 이때 1사이클 내의 궤적 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0063]
$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{r-b}{\sin \theta}, & \alpha'_1 < \alpha < \alpha'_2 \\ R, & \text{기타} \end{cases} \quad (7)$$

[0064] α'_1, α'_2 는 각각 레이저 변위 센서가 2개의 키 홈 가장자리 꼭지점을 검출할 때의 회전 각도이며, 연립을 통해 센서가 오프셋된 후의 검출 곡선 모델을 획득할 수 있다.

[0065] y 값이 R-b이고 최저점 이후의 점이 수평 시의 점일 때, 해당 회전 각도는 α'_0 이다.

[0066] 레이저 변위 센서는 x축 방향을 따라 편차가 존재하고, 그 측정된 최댓값과 최솟값이 모두 변화가 발생한다. 오프셋 후 검출된 수치 최댓값은 R_{\max} 이고, R_{\max} 는 단면 반경 R보다 작고, A, B점 회전 각도 오프셋을 보상하며, 보상 공식은 다음과 같이

[0067]
$$rs = \arccos \frac{R_{\max}}{R} \quad (8)$$
이고, rs 는 보상 각도이다.

[0068] 보상 각도를 이용해 레이저 변위 센서의 수평 방향 오프셋의 영향을 제거하며, A, B점의 횡좌표 계산 공식은 다음과 같다.

[0069]
$$\begin{aligned} x_A &= R \sin(\alpha'_1 - \alpha'_0 + rs) \\ x_B &= R \sin(\alpha'_2 - \alpha'_0 + rs) \end{aligned} \quad (9)$$

[0070] x_A, x_B 를 공식 (6)에 대입하면 해당 단면의 센서 오프셋 오차가 제거된 대칭도 오차 계산값을 획득할 수 있다.

[0071] 단계 3: 레이저 변위 센서를 Z축 방향을 따라 키 홈 상에서 이동시키고, 상이한 위치에서 여러 번 반복하여 검출하여, n개 단면 상의 대칭도 오차를 계산한다. 그 최댓값이 키 홈의 대칭도 오차이며, 표현식은 다음과 같다.

[0072]
$$\delta = \max(\delta_i), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (10)$$

[0073] δ_i 는 i 번째 단면 상에서 계산한 대칭도 오차값이며, δ 는 샤프트 키 홈의 대칭도 오차값이다.

[0074] **실시예 1**

[0075] 어느 디젤 엔진 공장에서 생산되는 샤프트를 예로 들면, 그 키 홈 구간의 직경은 40mm이고, 홈 폭은 12mm이며, 키 홈 대칭도 공차는 0.015mm로, 실제로는 0.010mm이었다. 따라서 검출된 캠샤프트의 크기에 따라, 0.25um의 정확도와 150±40mm의 측정 범위를 가진 특정 LK-H150 모델의 레이저 변위 센서를 검출 장치로 선택하였다.

[0076] 샤프트 공작물(1)은 공작 기계의 척(3)과 턴(4)에 의해 고정된다. 먼저 검출 시스템이 구축되어야 하는데, 주의

할 점은 레이저 변위 센서(2)의 위치가 측정할 샤프트 공작물(1) 축선 상방에 최대한 위치할 수 있도록 조절하여 검출 시스템 좌표계를 구축해야 하는 것이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 핵심은 키 홈 단면 윤곽을 나타내는 것이다. 척(3)의 회전을 제어하여 샤프트 공작물(1)이 균일하게 회전하도록 연동한다. 회전 속도는 계산에서 중요한 변수이다. 레이저 변위 센서(2)는 회전 부위에 대해 연속적으로 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 기반으로 점을 취하여 계산하고, 계산 공식을 대입하여 단면 키 홈의 대칭도 오차값을 획득한다. 한 단면의 대칭도 오차값을 획득하려면 키 홈 전체의 대칭도 오차가 필요한 것으로 알려져 있으며, 가이드 레일(5)을 따라 레이저 변위 센서(2)를 이동시켜, 복수개 단면의 키 홈 대칭도 오차값을 계산하고, 최댓값을 전체 키 홈 대칭도 오차값으로 사용한다.

[0077] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 샤프트 공작물 키 홈 대칭도의 인플레이스 비접촉 고효율 검출 방법은 하기 단계를 포함한다.

[0078] 단계 1: 검출 시스템을 구축한다. 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 검출 시스템은 공작 기계 상측에 위치한 가이드 레일(5), 가이드 레일상에 장착되어 가이드 레일 횡방향을 따라 이동할 수 있는 레이저 변위 센서(2), 가이드 레일 상에 장착되어 레이저 변위 센서가 이동하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 이동 장치, 가이드 레일 양측에 위치하며 가이드 레일이 종방향으로 이동하도록 연동시키는 데 사용되는 종방향 이동 장치 및 샤프트 공작물을 클램핑하는 데 사용되는 공작 기계를 포함한다. 여기에서 횡방향 이동 장치는 가이드 레일 하방에 평행하게 설치된 횡방향 나사봉(7), 가이드 레일에 연결되어 횡방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 횡방향 모터(8)를 포함한다. 레이저 변위 센서(2)는 횡방향 나사봉(7)의 볼너트 시트(9) 상에 고정되고, 횡방향 모터(8)는 횡방향 나사봉(7)이 회전하도록 구동시켜, 레이저 변위 센서(2)가 가이드 레일(5) 횡방향을 따라 이동하도록 연동시킨다. 종방향 이동 장치는 가이드 레일 양측에 대칭 설치된 2개의 평행 설치된 종방향 나사봉(6) 및 종방향 나사봉 단부에 위치하며 종방향 나사봉이 회전하도록 구동시키는 데 사용되는 종방향 모터(10)를 포함한다. 가이드 레일(5)의 양단은 양단의 종방향 나사봉(6)의 볼너트 시트(11) 상에 고정되고, 종방향 모터(10)는 양측 종방향 나사봉(6)이 회전하도록 동기적으로 구동하여, 가이드 레일(5)이 종방향 나사봉(6)을 따라 이동하도록 만든다.

[0079] 샤프트 공작물은 공작 기계의 척(3)과 턴(4)에 의해 고정되고, 레이저 변위 센서(2)의 측정 방향은 수직 방향이다. 먼저 가이드 레일(5)을 따라 레이저 변위 센서(2)를 키 홈이 없는 구간으로 이동시키고, 가이드 레일(5) 양단의 종방향 이동 장치를 통해 가이드 레일을 공작물(1) 축선에 수직으로 수평 이동시키며, 이동 과정 중의 측정값을 비교하며, 레이저 변위 센서(2)가 최대 측정값 위치에 위치하도록, 즉 공작물 축선 상에 위치하도록 조절한 후, 레이저 변위 센서(2)가 가이드 레일(5)을 따라 키 홈 상방까지 이동하도록 한다. 시스템을 구축하고 좌표계를 계산하며, 레이저와 공작물 축선의 이론적 교차점을 원점 0으로 하고, 공작물 축선을 Z축으로 하고, 레이저가 위치한 직선이 수직으로 위를 향한 것은 Y축의 양의 방향이며, 오른손 법칙으로 X축을 결정하여, 검출 좌표계 O-XYZ를 구축한다. 레이저 변위 센서에 의해 검출된 단면이 바로 XOY 평면이다.

[0080] 레이저 변위 센서 검출 데이터는 O-XYZ 좌표계 상에서 대응한다. 키 홈 구간 축 반경은 20mm이고, 레이저 변위 센서는 키 홈 구간 축선 상에 위치하고, 공작물이 1사이클 회전하여 레이저 변위 센서가 획득한 측정 최댓값은 22.474mm, 키 홈 구간 값 외의 최솟값은 17.522mm이다. 검출 데이터가 Y축 상에 대응하는 값은 y 이며, 대응 관계는 다음과 같다.

[0081]
$$y = y_c - \frac{22.474 - 17.522}{2}$$

[0082] 단계 2: 척(3)이 주어진 회전 속도로 회전하도록 제어하고, 공작물(1)을 연동시켜 균일한 속도로 회전시키고, 레이저 변위 센서(2)는 샤프트 공작물(1)의 실시간 검출 데이터를 획득할 수 있으며, 변환하여 Y축 상의 측정값 y 를 획득한다.

[0083] 검출 결과에 따르면, 레이저 변위 센서가 2개의 키 홈 가장자리의 꼭지점을 검출할 때의 회전 각도 α'_1, α'_2 는 각각 0.1450π , 0.3380π 이고, α'_0 이 0.2864π 이면, 다음과 같다.

$$\rho(\theta) = \begin{cases} \frac{r-12}{\sin \theta}, & 0.1450\pi < \alpha < 0.3380\pi \\ \text{기타} & \end{cases}$$

[0084]

[0085]

연립을 통해 센서가 오프셋된 후 검출 곡선 모델을 획득할 수 있다.

[0086]

실제 존재하는 레이저 변위 센서의 위치결정 오차를 고려하여 측정된 최댓값은 19.998mm이며, 보상각은 다음과 같다.

[0087]

$$rs = \arccos \frac{19.998}{20} = 0.0045\pi$$

[0088]

A, B점의 횡좌표는 각각 -5.9643과 5.9774이고, 계산된 해당 검출 단면의 대칭도 오차는 0.0065mm이다.

[0089]

단계 3: 레이저 변위 센서(2)를 Z축 방향으로 키 홈 상에서 이동시키고, 상이한 위치에서 여러 번 검출을 반복하여, n개 단면 상의 대칭도 오차를 계산하였다. 획득한 키 홈 대칭도 오차의 검출값은 0.011이며, 실제 오차에 비교적 근접하여, 본 실험 디바이스의 검출 정밀도가 매우 높았다.

[0090]

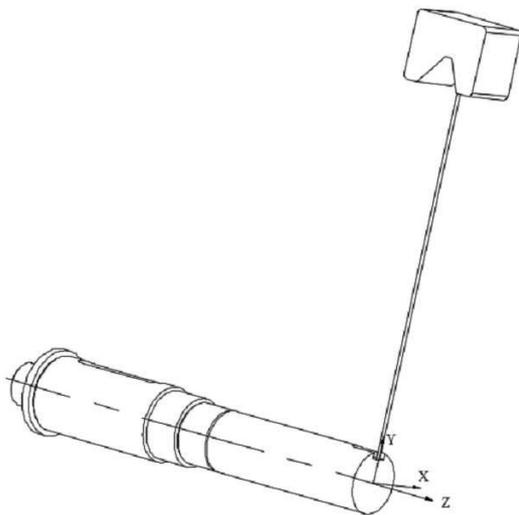
표 1 샤프트의 상이한 단면의 검출 데이터

번호 i	1	2	3	4	5
δ_i / mm	0.0065	0.0084	0.0087	0.0092	0.0108
번호 i	6	7	8	9	10
δ_i / mm	0.0099	0.0103	0.0112	0.0074	0.0079

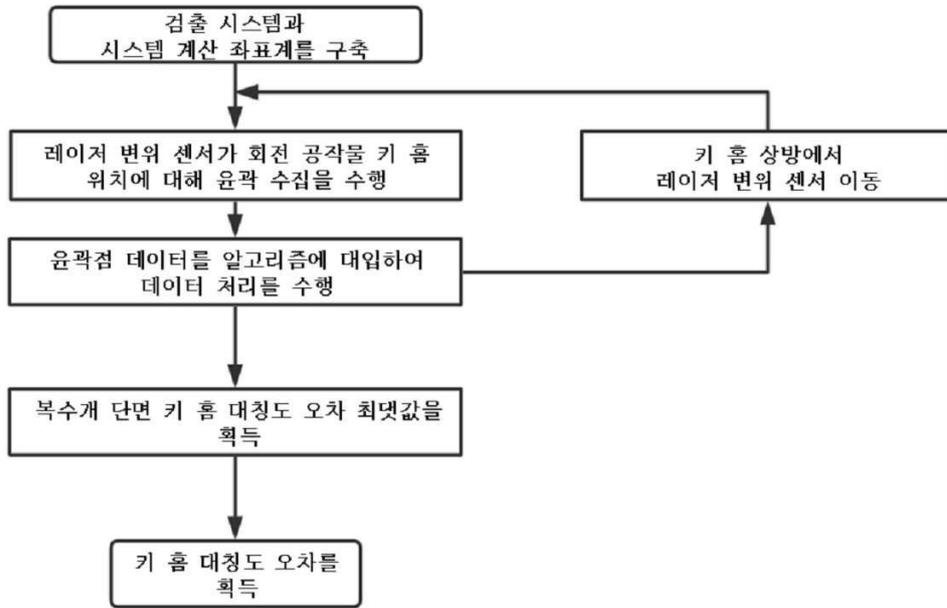
[0091]

도면

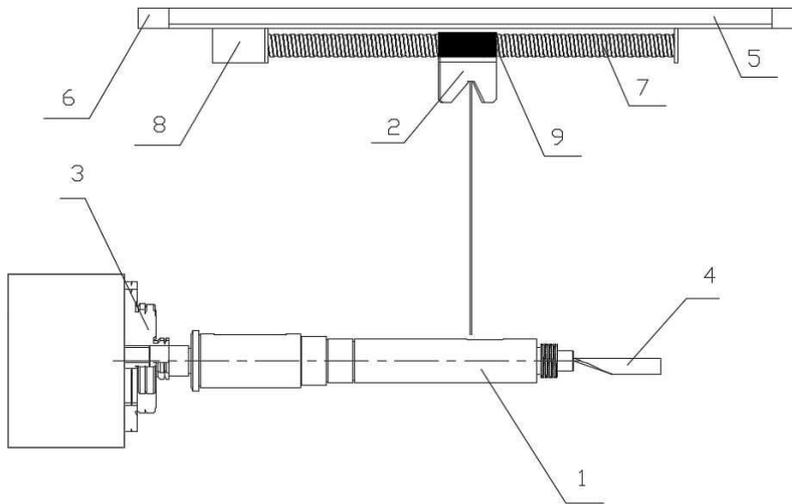
도면1



도면2



도면3



도면4

