(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년07월04일
(11) 등록번호 10-2680987
(24) 등록일자 2024년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23Q 17/20 (2006.01) *G01B 11/02* (2006.01)
G01B 11/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23Q 17/20 (2013.01)
G01B 11/026 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7032083
(22) 출원일자(국제) 2021년06월24일
심사청구일자 2022년09월15일
(85) 번역문제출일자 2022년09월15일
(65) 공개번호 10-2022-0155997
(43) 공개일자 2022년11월24일
(86) 국제출원번호 PCT/CN2021/102006
(87) 국제공개번호 WO 2022/041986
국제공개일자 2022년03월03일
(30) 우선권주장
202010875603.1 2020년08월27일 중국(CN)
(56) 선행기술조사문헌
JP2008039707 A
JP2009068972 A
KR101164046 B1
JP2011053140 A

(73) 특허권자
지앙수 유니버시티 오브 사이언스 앤드 테크놀로지
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
(72) 발명자
리 구어차오
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
관 시아오옌
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이정현

전체 청구항 수 : 총 7 항 심사관 : 김응상

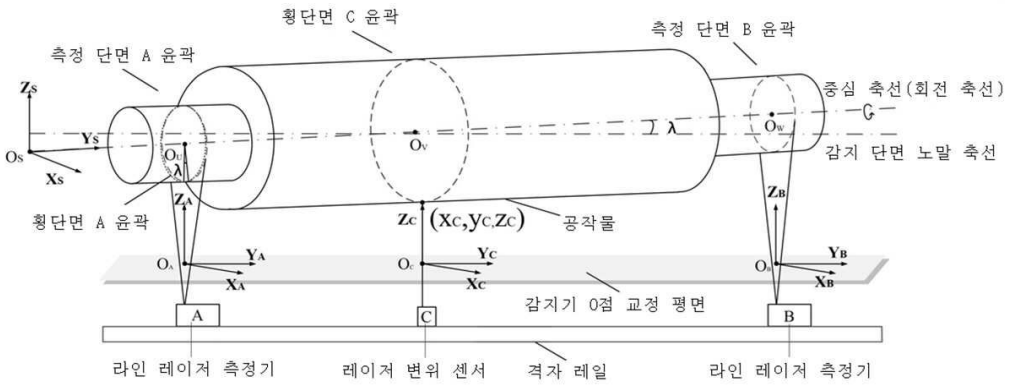
(54) 발명의 명칭 **샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법**

(57) 요 약

본 발명은 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법을 개시하고, 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법은 감지 시스템을 구축하고, 감지 시스템을 교정하며, 감지 좌표계를 구축하는 단계; 감지 시스템에서 공작물의 포즈를 분석하여, 공작물 클램핑 장치의 좌표 시스템을 구축하는 단계; 샤프트 공작물 가공 툴의 클램핑 장치가

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



회동하도록 제어하고, 라인 레이저 측정기로 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 이상적인 기준 축선을 획득하는 단계; 레이저 변위 센서로 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 저널의 실제 런아웃 가공 정밀도를 획득하는 단계; 및 라인 레이저 측정기를 사용하여 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 동축도 가공 정밀도를 획득하는 단계를 포함한다. 본 발명은 샤프트 공작물 저널 원심 및 이의 이상적인 기준 축선을 실시간으로 감지할 수 있어, 기존의 이젝터 핀 기준 또는 V형 블록을 사용하여 발생하는 시스템 오차 및 보상 어려움을 방지한다.

(52) CPC특허분류
G01B 11/03 (2013.01)

(72) 발명자
스 시아오나
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
천 지엔즈
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
저우 홍건
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
우 헝헝
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
순 리
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
리우 용
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
리 레이
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2
리우 진펑
중국 212003, 지앙수, 전지앙 멍시 로드 넘버 2

명 세 서

청구범위

청구항 1

샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법에 있어서,

이하의 단계,

(1) 감지 시스템을 구축하고, 감지 시스템을 교정하며, 감지 좌표계를 구축하는 단계;

(2) 감지 시스템에서 공작물의 포즈를 분석하여, 공작물 클램핑 장치의 좌표 시스템을 구축하는 단계;

(3) 샤프트 공작물 가공 툴의 클램핑 장치가 회동하도록 제어하고, 라인 레이저 측정기로 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 이상적인 기준 축선을 획득하는 단계;

(4) 레이저 변위 센서로 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 저널의 실제 런아웃 가공 정밀도를 획득하는 단계; 및

(5) 라인 레이저 측정기를 사용하여 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 동축도 가공 정밀도를 획득하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단계 (1)은 구체적으로 다음과 같은 단계,

상기 감지 시스템은 툴의 일측에 위치한 격자 레일 및 간격을 두고 순차적으로 격자 레일에 위치하고 라인 레이저 측정기를 사용하여 측정되는 측정 위치 A, 레이저 변위 센서를 사용하여 측정되는 측정 위치 C 및 라인 레이저 측정기를 사용하여 측정되는 측정 위치 B를 포함하되; 여기에서 측정 위치 A 및 측정 위치 B는 감지할 기준 위치이고, 측정 위치 C는 런아웃, 동축도 및 윤곽도를 감지할 위치이며; 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 측정 방향은 일치하고, 측정 방향 앞의 거리 L 위치에 교정 플레이트를 안착하며, 교정 플레이트의 교정 평면이 라인 레이저 측정기 광로와 직교하고 또한 레이저 변위 센서 광로와 수직되도록 조정하되; 라인 레이저 측정기의 XOY 평면은 교정 플레이트의 교정 평면과 평행되고, 레이저 변위 센서의 광로는 XOY 평면과 수직되며, 격자 레일에서 레이저 변위 센서의 장착 방향은 Y축과 평행되고; 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 및 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$ 를 구축한 후, 레이저 변위 센서의 스폿이 라인 레이저 측정기 광로의 Y축에 위치하도록 조정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서의 좌표계 $O_C-X_CY_CZ_C$를 구축하며; 라인 레이저 측정기의 측정 원점을 영점화하면, O_A , O_B의 X, Z 좌표는 0이고; 레이저 변위 센서의 측정 원점을 영점화하면, O_C 의 X, Z 좌표는 0이며;

라인 레이저 측정기는 XOZ 평면 내의 좌표 데이터를 획득할 수 있고, Y축의 좌표 데이터는 라인 레이저 측정기의 광로가 위치한 격자 레일의 위치에서 획득되며; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있을 때의 좌표 원점 O_A를 세계 좌표계 원점으로 설정하고, O_A 의 좌표를 $(0,0,0)$ 으로 교정하면, 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_A,z_A) 인 경우, 위치 A 내의 3차원 좌표는 $(x_A,0,z_A)$ 이며;

위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 광로 거리가 l_{AB} 이면, O_B 의 좌표를 $(0,0,l_{AB})$로 교정하고; 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_B,z_B) 이면, 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$ 내의 좌표는 좌표계

$O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있으며,

$$(x_B, y_B, z_B, 1) = (x_B, 0, z_B, 1)\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & l_{AB} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

위치 A 및 위치 C의 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 광로 거리가 l_{AC}이면, O_C좌표를 $(0,0,l_{AC})$로 교정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서에 의해 측정되는 데이터가 (z_C)이면, 좌표계 $O_C - X_C Y_C Z_C$내의 좌표는 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서 다음과 같이

$$(x_C, y_C, z_C, 1) = (0, 0, z_C, 1)\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & l_{AC} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

로 표시될 수 있는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 단계 (2)는 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함하고,

샤프트 공작물의 감지 단면 노말 축선(normal axis)이 이상적인 기준 축선과 동일선상에 있지 않은 경우, 즉, 샤프트 공작물과 감지 시스템 사이에 X축 방향을 중심으로 회전각 Θ, 및 Z축 방향을 중심으로 회전각 α가 존재하는 경우, 라인 레이저 측정기의 광로에 의해 측정되는 측정 단면은 타원이되, 타원의 단축은 축 직경이고, 타원의 장축 ac와 Z축 사이에는 협각이 존재하며, 타원의 단축 bd 와 X축 사이에는 협각이 존재하고; 획득된 타원 윤곽의 타원 중심은 중심 축선에 있으며, 측정 단면과 횡단면 사이의 협각은 λ이고, 여기서, 타원의 장축 ac 길이가 l_{ac}이고, 단축 bd 길이가 l_{bd}이면, λ의 계산 공식은 다음과 같고,

$$\lambda = \arccos\frac{l_{bd}}{l_{ac}} \quad (3)$$

클램핑 장치에서 샤프트의 게이지 컬럼, 게이지 블록을 클램핑하고, 라인 레이저 측정기를 작동시켜 게이지 컬럼, 게이지 블록에 대해 단면 윤곽 감지를 수행하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록을 라인 레이저 측정기의 측정 광로에 안착하면, 게이지 컬럼, 게이지 블록과 측정 광로의 교차 단면은 타원 윤곽이고; 위치 A에서 레이저 측정기는 임의의 위치에서 게이지 컬럼, 게이지 블록의 반단면 윤곽 원호 $\overset{\frown}{ef}$를 측정할 수 있으며, 이 경우, 원호 $\overset{\frown}{ef}$ 의 윤곽점 좌표가 $Pn(x_n, 0, z_n), (n = 1,2,3\cdots)$ 이라고 가정하면, 좌표점은 공식 (4)를 충족시키며,

$$ax_n^2 + bx_n z_n + cz_n^2 + dx_n + ez_n + f = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (4)$$

식에서 a, b, c, d, e 및 f는 상수 계수로, 이는 좌표점 집합에 대입하여 구하고;

$O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 타원의 장축의 회전각 φ 는 공식 (5)를 통해 구하고,

$$\varphi = \frac{1}{2}\arctan\frac{b}{a - c} \quad (5)$$

타원의 기하학적 중심 O_U 의 좌표를 (x_U, z_U) 로 가정하면, 공식 (6) 및 (7)을 통해 구하고,

$$x_U = \frac{b \times e - 2 \times c \times d}{4 \times a \times c - b^2} \quad (6)$$

$$z_U = \frac{b \times d - 2 \times a \times e}{4 \times a \times c - b^2} \quad (7)$$

장축 길이 l_{ac} 및 단축 길이 l_{bd} 는 각각 공식 (8) 및 (9)를 통해 구하고,

$$l_{ac} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c) - \sqrt{b^2 + \left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (8)$$

$$l_{bd} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c) + \sqrt{b^2 + \left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (9)$$

게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면과 이의 동심 횡단면 사이에 존재하는 협각 λ는, 공식 (3), (4), (8) 및 (9)를 통해 구하고;

게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면 A 윤곽의 단축은 동심 횡단면 A 윤곽의 직경이며, $\overrightarrow{bd}$ 를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 X_S 축으로 하고, 측정 단면 A 윤곽의 중심 O_U 를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 원점 O_S 으로 하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록에 수직인 횡단면 A 윤곽의 중심 축선을 Y_S 축으로 하여, 오른손 법칙에 부합되는 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 를 구축하며;

감지 시스템 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 와 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 사이에는 오프셋 $(x_U, 0, z_U, \varphi, \lambda, 0)$ 을 갖는 바, 즉, 감지 시스템 좌표계 중의 점 (x, y, z) 는 각각 x축 및 z축 방향에서 x_u 및 z_u 평행 이동한 다음, X축을 중심으로 각도 λ만큼 회전하고, 다시 Y축을 중심으로 각도 φ 만큼 회전한 후 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 에 대응되는 점 좌표 (x', y', z') 를 획득할 수 있으므로, 감지 시스템 좌표계 및 공작물 클램핑 장치 좌표계의 변환 관계는 다음과 같이

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & 0 & \sin\lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\lambda & 0 & \cos\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_U \\ y - 0 \\ z - z_U \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

인 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 단계 (3)은 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함하고,

샤프트 공작물을 교정된 클램핑 장치에 클램핑하고, 라인 레이저 측정기의 광로를 샤프트 공작물의 기준 샤프트 세그먼트와 정렬하며, 위치 A 및 위치 B의 라인 레이저 측정기를 작동시켜 측정하고; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있다고 가정하면, 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표는 $P_i(x_i, 0, z_i), (i = 1,2,3\cdots)$ 이고, 좌표점은 공식 (11)을 충족시키고,

$$a_1 x_n^2 + b_1 x_n z_n + c_1 z_n^2 + d_1 x_n + e_1 z_n + f_1 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{11}$$

방정식을 풀어 상수 a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 및 f_1을 구한 다음, 공식 (12) 및 (13)을 통해 구할 수 있고,

$$x_{U_A} = \frac{b_1 \times e_1 - 2 \times c_1 \times d_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \tag{12}$$

$$z_{U_A} = \frac{b_1 \times d_1 - 2 \times a_1 \times e_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \tag{13}$$

측정 위치 A로부터의 거리가 l'_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_j(x_j, l'_{AB}, z_j), (j = 1,2,3\cdots)$ 이고; 좌표점은 공식 (14)를 충족시키고,

$$a_2 x_n^2 + b_2 x_n z_n + c_2 z_n^2 + d_2 x_n + e_2 z_n + f_2 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{14}$$

방정식을 풀어 a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 및 f_2를 구한 다음, 공식 (15) 및 (16)을 통해 구할 수 있고,

$$x_{W_B} = \frac{b_2 \times e_2 - 2 \times c_2 \times d_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \tag{15}$$

$$z_{W_B} = \frac{b_2 \times d_2 - 2 \times a_2 \times e_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \tag{16}$$

측정 위치 A 및 측정 위치 B에서 단면 윤곽에 대응되는 공작물 횡단면의 중심 좌표 $O_{U_A}(x_{U_A}, 0, z_{U_A})$ 와 $O_{W_B}(x_{W_B}, l'_{AB}, z_{W_B})$ 를 각각 획득할 수 있고; 이 경우, $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 기준 샤프트 세그먼트의 중심 축선에 대한 직선 공식은 다음과 같이

$$\frac{x - x_{U_A}}{x_{W_B} - x_{U_A}} = \frac{y - 0}{l'_{AB} - 0} = \frac{z - z_{U_A}}{z_{W_B} - z_{U_A}} \tag{17}$$

인 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 단계 (4)는 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함하고,

샤프트 공작물을 회전시키며, 레이저 변위 센서로 측정 위치 C의 실시간 측정점의 좌표를 획득하고, 어느 시각의 좌표를 $C_1(0, y_{C1}, z_{C1})$ 로 가정하면, 라인 레이저 측정기는 해당 시각에 위치를 회전하는 실시간 윤곽점 데이터를 획득하고, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{i1}(x_{i1}, 0, z_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (18)을 충족시키고,

$$a_{11}x_n^2 + b_{11}x_n z_n + c_{11}z_n^2 + d_{11}x_n + e_{11}z_n + f_{11} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{18}$$

방정식을 풀어 a_{11}, b_{11}, c_{11}, d_{11}, e_{11} 및 f_{11}을 구한 다음, 공식 (19) 및 (20)을 통해 구할 수 있고,

$$x_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times e_{11} - 2 \times c_{11} \times d_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^{\ 2}} \tag{19}$$

$$z_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times d_{11} - 2 \times a_{11} \times e_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^{\ 2}} \tag{20}$$

해당 시각에 측정 위치 A로부터의 거리가 l''_{AB}인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{j1}(x_{j1}, l''_{AB}, z_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (21)을 충족시키고,

$$a_{21}x_n^2 + b_{21}x_n z_n + c_{21}z_n^2 + d_{21}x_n + e_{21}z_n + f_{21} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{21}$$

방정식을 풀어 a_{21}, b_{21}, c_{21}, d_{21}, e_{21} 및 f_{21}을 구한 다음, 공식 (22) 및 (23)을 통해 구할 수 있고,

$$x_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times e_{21} - 2 \times c_{21} \times d_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^{\ 2}} \tag{22}$$

$$z_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times d_{21} - 2 \times a_{21} \times e_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^{\ 2}} \tag{23}$$

해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O_{U_{A1}}(x_{U_{A1}}, 0, z_{U_{A1}})$ 및 $O_{W_{B1}}(x_{W_{B1}}, l''_{AB}, z_{W_{B1}})$ 를 획득할 수 있고; 해당 시각에 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 d_1 를 구하되, 계산 공식은 다음과 같으며,

$$d_1 = \left\| C_1 - \frac{(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})^T}{(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})^T (O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})} (C_1 - O_{U_{A1}}) \right\| \tag{24}$$

샤프트 공작물을 회전시켜, 1회전 후 각 시각에 기록된 데이터를 측정하여 획득하고, 모든 시각에 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i = 1,2,3\cdots)$ 를 계산하여 획득하고,

샤프트 공작물의 반경 방향 런아웃 t는 실시간 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i = 1,2,3\cdots)$중 최대값 $d_{\max}$ 와 최소값 $d_{\min}$ 의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같이

$$t = d_{\max} - d_{\min} \tag{25}$$

인 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 단계 (5)는 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함하고,

우선 라인 레이저 측정기를 이용하여 샤프트 공작물 기준 샤프트 세그먼트의 측정 위치 A 및 측정 위치 B에 대

해 윤곽 감지를 수행하고, 라인 레이저 측정기로 어느 회전 위치에서의 실시간 윤곽점 데이터를 획득하며, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표를 $P'_{i1}(x'_{i1}, 0, z'_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (26)을 충족시키고,

$$a'_{11}x'^{2}_{i1} + b'_{11}x'_{i1}z_{i1} + c'_{11}z'^{2}_{i1} + d'_{11}x'_{i1} + e'_{11}z'_{i1} + f'_{11} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{26}$$

방정식을 풀어 a'$_{11}$, b'$_{11}$, c'$_{11}$, d'$_{11}$, e'$_{11}$ 및 f'$_{11}$을 구한 다음, 공식 (27) 및 (28)을 통해 구할 수 있고,

$$x'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{27}$$

$$z'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{28}$$

해당 시각에 위치 A로부터의 거리가 l'''_{AB} 인 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P'_{j1}(x'_{j1}, l'''_{AB}, z'_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (29)를 충족시키고,

$$a'_{21}x'^{2}_{i1} + b'_{21}x'_{i1}z_{i1} + c'_{21}z'^{2}_{i1} + d'_{21}x'_{i1} + e'_{21}z'_{i1} + f'_{21} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{29}$$

방정식을 풀어 a'$_{21}$, b'$_{21}$, c'$_{21}$, d'$_{21}$, e'$_{21}$ 및 f'$_{21}$을 구한 다음, 공식 (30) 및 (31)을 통해 구할 수 있고,

$$x'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{30}$$

$$z'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{31}$$

해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{A1}}(x'_{U_{A1}}, 0, z'_{U_{A1}})$ 및 $O'_{W_{B1}}(x'_{W_{B1}}, l'''_{AB}, z'_{W_{B1}})$ 를 획득할 수 있고, 이 경우, 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점에 연결된 중심 축선이 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 직선 공식은 다음과 같고,

$$\frac{x - x'_{U_{A1}}}{x'_{W_{B1}} - x'_{U_{A1}}} = \frac{y - 0}{l'''_{AB} - 0} = \frac{z - z'_{U_{A1}}}{z'_{W_{B1}} - z'_{U_{A1}}} \tag{32}$$

라인 레이저 측정기를 Y_A 축 방향을 따라 공작물 감지 샤프트 세그먼트 위치 C'로 이동하고, 격자 레일을 통해 이동 거리 l' 를 획득하며, 해당 시각에 위치 C'에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{k1}(x_{k1}, l', z_{k1}), (k = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식(33)을 충족시키고,

$$a_3x_k^2 + b_3x_kz_k + c_3z_k^2 + d_3x_k + e_3z_k + f_3 = 0 \quad (k = 1,2,3\cdots) \tag{33}$$

방정식을 풀어 a$_3$, b$_3$, c$_3$, d$_3$, e$_3$ 및 f$_3$을 구한 다음, 공식 (34) 및 (35)를 통해 구할 수 있고,

$$x_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times e_3 - 2 \times c_3 \times d_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^{\,2}} \quad (34)$$

$$z_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times d_3 - 2 \times a_3 \times e_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^{\,2}} \quad (35)$$

다른 위치에서 여러 번 감지를 반복하여, 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{Ai}}\left(x'_{U_{Ai}}, 0, z'_{U_{Ai}}\right)$ 및 $O'_{W_{Bi}}\left(x'_{W_{Bi}}, l'''_{AB}, z'_{W_{Bi}}\right)(i=1,2,3\ldots)$ 를 획득하고, 세그먼트 횡단면 중심 좌표점 집합을 측정하여 $C'_i\left(x_{C'i}, l', z_{C'i}\right)(i = 1,2,3\cdots)$ 로 기록하며; 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i 를 구하되, 계산 공식은 다음과 같고,

$$d'_i = \left\| C'_i - \frac{\left(O'_{WBi} - O'_{UAi}\right)\left(O'_{WBi} - O'_{UAi}\right)^T}{\left(O'_{WBi} - O'_{UAi}\right)^T\left(O'_{WBi} - O'_{UAi}\right)}\left(C'_i - O'_{UAi}\right) \right\| (i=1,2,3\ldots) \quad (36)$$

샤프트 공작물 감지 샤프트 세그먼트의 동축도 ϕt 는 획득된 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i 에서의 최대값 $d'_{\max}$ 와 최소값 $d'_{\min}$ 의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같이

$$\phi t = d'_{\max} - d'_{\min} \quad (37)$$

인 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 샤프트 공작물은 캠 샤프트이고, 라인 레이저 측정기로 캠 샤프트 캠의 볼록 피치에 대해 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 캠 윤곽도의 가공 정밀도를 획득하고;

라인 레이저 측정기를 캠의 볼록 피치로 이동하고, 작은 거리를 이동할 때마다 데이터 수집을 수행하여, 수집된 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 데이터 좌표를 알고리즘을 통해 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 공작물 클램핑 장치 좌표계로 변환하며, 윤곽점을 피팅한 다음, 표준 캠 윤곽과 비교하여, 윤곽도를 산출하는 것을 특징으로 하는 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 가공 분야에서 샤프트 공작물의 감지 방법에 관한 것으로, 특히 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 캠 샤프트는 피스톤 엔진의 부재로 밸브의 개폐를 제어하는 역할을 하고, 캠 샤프트의 바디는 실린더 그룹 길이와 거의 같은 하나의 원통형 봉이며, 그 위에 여러 개의 저널이 구비되고 밸브를 구동하기 위해 저널 사이에는 여러 개의 캠이 씌워진다. 캠 샤프트는 엔진의 핵심 부재로, 이의 가공 정밀도는 엔진의 노이즈, 동력 성능, 경제성 등 전체 성능 지표에 직접적인 영향을 미친다. 여기서, 감지 시 필수 검사 항목이기도 한 캠 샤프트 저널 런아웃의 가공 정밀도에 대한 요구가 매우 높은데, 기존의 광툴식 측정기, 접촉식 프로브 측정기 및 샘플 측정 효율이 매우 낮고 대부분 오프라인으로 수행해야 하므로, 현재의 고정밀, 고효율적인 규모화 생산 모드의 요구

에 적응할 수 없다.

[0003] 따라서, 상기 문제를 해결하는 것이 시급하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 목적은 오차가 적고 감지 효과가 높은 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명은 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법을 개시하며, 상기 방법은,

[0006] (1) 감지 시스템을 구축하고, 감지 시스템을 교정하며, 감지 좌표계를 구축하는 단계;

[0007] (2) 감지 시스템에서 공작물의 포즈를 분석하여, 공작물 클램핑 장치의 좌표 시스템을 구축하는 단계;

[0008] (3) 샤프트 공작물 가공 툴의 클램핑 장치가 회동하도록 제어하고, 라인 레이저 측정기로 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 이상적인 기준 축선을 획득하는 단계;

[0009] (4) 레이저 변위 센서로 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 저널의 실제 런아웃 가공 정밀도를 획득하는 단계; 및

[0010] (5) 라인 레이저 측정기를 사용하여 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 동축도 가공 정밀도를 획득하는 단계를 포함한다.

[0011] 여기서, 상기 단계 (1)은 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함한다. 상기 감지 시스템은 툴의 일측에 위치한 격자 레일 및 간격을 두고 순차적으로 격자 레일에 위치하고 라인 레이저 측정기를 사용하여 측정되는 측정 위치 A, 레이저 변위 센서를 사용하여 측정되는 측정 위치 C 및 라인 레이저 측정기를 사용하여 측정되는 측정 위치 B를 포함하되, 측정 위치 A 및 측정 위치 B는 감지할 기준 위치이고, 측정 위치 C는 런아웃, 동축도 및 윤곽도를 감지할 위치이며; 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 측정 방향은 일치하고, 측정 방향 앞의 거리 L 위치에 교정 플레이트를 안착하며, 교정 플레이트의 교정 평면이 라인 레이저 측정기 광로와 직교하고 또한 레이저 변위 센서 광로와 수직되도록 조정하되, 라인 레이저 측정기의 XOY 평면은 교정 플레이트의 교정 평면과 평행되고, 레이저 변위 센서의 광로는 XOY 평면과 수직되며, 격자 레일에서 레이저 변위 센서의 장착 방향은 Y축과 평행되고; 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 및 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$를 구축한 후, 레이저 변위 센서의 스폿이 라인 레이저 측정기 광로의 Y축에 위치하도록 조정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서의 좌표계 $O_C-X_CY_CZ_C$ 를 구축하며; 라인 레이저 측정기의 측정 원점을 영점화하면, O_A, O_B의 X, Z 좌표는 0이고; 레이저 변위 센서의 측정 원점을 영점화하면, O_C 의 X, Z 좌표는 0이며;

[0012] 라인 레이저 측정기는 XOZ 평면 내의 좌표 데이터를 획득할 수 있고, Y축의 좌표 데이터는 라인 레이저 측정기의 광로가 위치한 격자 레일의 위치에서 획득되며; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있을 때의 좌표 원점 O_A를 세계 좌표계 원점으로 설정하고, O_A 의 좌표를 $(0,0,0)$ 으로 교정하면, 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_A,z_A) 인 경우, 위치 A 내의 3차원 좌표는 $(x_A,0,z_A)$ 이며;

[0013] 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 광로 거리가 l_{AB} 이면, O_B 의 좌표를 $(0,0,l_{AB})$로 교정하고; 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_B,z_B) 이면, 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$ 내의 좌표는 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있으며,

$$(x_B, y_B, z_B, 1) = (x_B, 0, z_B, 1)\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & l_{AB} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0014]

[0015] 위치 A 및 위치 C의 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 광로 거리가 l_{AC}이면, O_C좌표를 $(0,0,l_{AC})$로 교정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서에 의해 측정되는 데이터가 (z_C)이면, 좌표계 $O_C - X_C Y_C Z_C$내의 좌표는 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$(x_C, y_C, z_C, 1) = (0, 0, z_C, 1)\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & l_{AC} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0016]

[0017] 바람직하게는, 상기 단계 (2)는 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함한다. 샤프트 공작물의 감지 단면 노말 축선(normal axis)이 이상적인 기준 축선과 동일선상에 있지 않은 경우, 즉, 샤프트 공작물과 감지 시스템 사이에 X축 방향을 중심으로 회전각 Θ, 및 Z축 방향을 중심으로 회전각 α가 존재하는 경우, 라인 레이저 측정기의 광로에 의해 측정되는 측정 단면은 타원이되, 타원의 단축은 축 직경이고, 타원의 장축 ac와 Z축 사이에는 협각이 존재하며, 타원의 단축 bd 와 X축 사이에는 협각이 존재하고; 획득된 타원 윤곽의 타원 중심은 중심 축선에 있으며, 측정 단면과 횡단면 사이의 협각은 λ이고, 여기서, 타원의 장축 ac 길이가 l_{ac}이고, 단축 bd 길이가 l_{bd}이면, λ의 계산 공식은 다음과 같다.

$$\lambda = \arccos\frac{l_{bd}}{l_{ac}} \quad (3)$$

[0018]

[0019] 클램핑 장치에서 샤프트의 게이지 컬럼, 게이지 블록을 클램핑하고, 라인 레이저 측정기를 작동시켜 게이지 컬럼, 게이지 블록에 대해 단면 윤곽 감지를 수행하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록을 라인 레이저 측정기의 측정 광로에 안착하면, 게이지 컬럼, 게이지 블록과 측정 광로의 교차 단면은 타원 윤곽이고; 위치 A에서 레이저 측정기는 임의의 위치에서 게이지 컬럼, 게이지 블록의 반단면 윤곽 원호 $\overset{\frown}{ef}$ 를 측정할 수 있으며, 이 경우, 원호 $\overset{\frown}{ef}$ 의 윤곽점 좌표가 $Pn(x_n, 0, z_n), (n = 1,2,3\cdots)$ 이라고 가정하면, 좌표점은 공식 (4)를 충족시킨다.

$$ax_n^2 + bx_n z_n + cz_n^2 + dx_n + ez_n + f = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (4)$$

[0020]

[0021] 식에서 a, b, c, d, e 및 f는 상수 계수로, 이는 좌표점 집합에 대입하여 구하고;

[0022] $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 타원의 장축의 회전각 φ 는 공식 (5)를 통해 구한다.

$$\varphi = \frac{1}{2}\arctan\frac{b}{a - c} \quad (5)$$

[0023]

[0024] 타원의 기하학적 중심 O_U 의 좌표를 (x_U, z_U) 로 가정하면, 공식 (6) 및 (7)을 통해 구한다.

$$x_U = \frac{b \times e - 2 \times c \times d}{4 \times a \times c - b^2} \quad (6)$$

[0025]

[0026] $$z_U = \frac{b \times d - 2 \times a \times e}{4 \times a \times c - b^2} \quad (7)$$

[0027] 장축 길이 l_{ac} 및 단축 길이 l_{bd}는 각각 공식 (8) 및 (9)를 통해 구한다.

[0028] $$l_{ac} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c) - \sqrt{b^2 + \left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (8)$$

[0029] $$l_{bd} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c) + \sqrt{b^2 + \left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (9)$$

[0030] 게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면과 이의 동심 횡단면 사이에 존재하는 협각 λ는, 공식 (3), (4), (8) 및 (9)를 통해 구하고;

[0031] 게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면 A 윤곽의 단축은 동심 횡단면 A 윤곽의 직경이며, $\overrightarrow{bd}$를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 X_S 축으로 하고, 측정 단면 A 윤곽의 중심 O_U를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 원점 O_S으로 하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록에 수직인 횡단면 A 윤곽의 중심 축선을 Y_S 축으로 하여, 오른손 법칙에 부합되는 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$를 구축하며;

[0032] 감지 시스템 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$와 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 사이에는 오프셋 $(x_U, 0, z_U, \varphi, \lambda, 0)$을 갖는 바, 즉, 감지 시스템 좌표계 중의 점 (x, y, z)는 각각 x축 및 z축 방향에서 x_u 및 z_u 평행 이동한 다음, X축을 중심으로 각도 λ만큼 회전하고, 다시 Y축을 중심으로 각도 φ만큼 회전한 후 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$에 대응되는 점 좌표 (x', y', z')를 획득할 수 있으므로, 감지 시스템 좌표계 및 공작물 클램핑 장치 좌표계의 변환 관계는 다음과 같다.

[0033] $$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & 0 & \sin\lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\lambda & 0 & \cos\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_U \\ y - 0 \\ z - z_U \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0034] 또한, 상기 단계 (3)은 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함한다. 샤프트 공작물을 교정된 클램핑 장치에 클램핑하고, 라인 레이저 측정기의 광로를 샤프트 공작물의 기준 샤프트 세그먼트와 정렬하며, 위치 A 및 위치 B의 라인 레이저 측정기를 작동시켜 측정하고; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있다고 가정하면, 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표는 $P_i(x_i, 0, z_i), (i = 1,2,3\cdots)$이고, 좌표점은 공식 (11)을 충족시킨다.

[0035] $$a_1 x_n^2 + b_1 x_n z_n + c_1 z_n^2 + d_1 x_n + e_1 z_n + f_1 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (11)$$

[0036] 방정식을 풀어 상수 a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 및 f_1을 구한 다음, 공식 (12) 및 (13)을 통해 구할 수 있다.

[0037] $$x_{U_A} = \frac{b_1 \times e_1 - 2 \times c_1 \times d_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \quad (12)$$

[0038] $$z_{U_A} = \frac{b_1 \times d_1 - 2 \times a_1 \times e_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \quad (13)$$

[0039] 측정 위치 A로부터의 거리가 l'_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_j(x_j, l'_{AB}, z_j), (j = 1,2,3\cdots)$ 이고; 좌표점은 공식 (14)를 충족시킨다.

[0040] $$a_2 x_n^2 + b_2 x_n z_n + c_2 z_n^2 + d_2 x_n + e_2 z_n + f_2 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (14)$$

[0041] 방정식을 풀어 a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 및 f_2를 구한 다음, 공식 (15) 및 (16)을 통해 구할 수 있다.

[0042] $$x_{W_B} = \frac{b_2 \times e_2 - 2 \times c_2 \times d_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \quad (15)$$

[0043] $$z_{W_B} = \frac{b_2 \times d_2 - 2 \times a_2 \times e_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \quad (16)$$

[0044] 측정 위치 A 및 측정 위치 B에서 단면 윤곽에 대응되는 공작물 횡단면의 중심 좌표 $O_{U_A}(x_{U_A}, 0, z_{U_A})$ 와 $O_{W_B}(x_{W_B}, l'_{AB}, z_{W_B})$ 를 각각 획득할 수 있고; 이 경우, $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 기준 샤프트 세그먼트의 중심 축선에 대한 직선 공식은 다음과 같다.

[0045] $$\frac{x - x_{U_A}}{x_{W_B} - x_{U_A}} = \frac{y - 0}{l'_{AB} - 0} = \frac{z - z_{U_A}}{z_{W_B} - z_{U_A}} \quad (17)$$

[0046] 나아가, 상기 단계 (4)는 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함한다. 샤프트 공작물을 회전시키며, 레이저 변위 센서로 측정 위치 C의 실시간 측정점의 좌표를 획득하고, 어느 시각의 좌표를 $C_1(0, y_{C1}, z_{C1})$ 로 가정하면, 라인 레이저 측정기는 해당 시각에 위치를 회전하는 실시간 윤곽점 데이터를 획득하고, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{i1}(x_{i1}, 0, z_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (18)을 충족시킨다.

[0047] $$a_{11} x_n^2 + b_{11} x_n z_n + c_{11} z_n^2 + d_{11} x_n + e_{11} z_n + f_{11} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (18)$$

[0048] 방정식을 풀어 a_{11}, b_{11}, c_{11}, d_{11}, e_{11} 및 f_{11}을 구한 다음, 공식 (19) 및 (20)을 통해 구할 수 있다.

[0049] $$x_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times e_{11} - 2 \times c_{11} \times d_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^2} \quad (19)$$

[0050] $$z_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times d_{11} - 2 \times a_{11} \times e_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^2} \quad (20)$$

[0051] 해당 시각에 측정 위치 A로부터의 거리가 l''_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{j1}(x_{j1}, l''_{AB}, z_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (21)을 충족시킨다.

[0052] $$a_{21}x_n^2 + b_{21}x_n z_n + c_{21}z_n^2 + d_{21}x_n + e_{21}z_n + f_{21} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{21}$$

[0053] 방정식을 풀어 a_{21}, b_{21}, c_{21}, d_{21}, e_{21} 및 f_{21}을 구한 다음, 공식 (22) 및 (23)을 통해 구할 수 있다.

[0054] $$x_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times e_{21} - 2 \times c_{21} \times d_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^{\ 2}} \tag{22}$$

[0055] $$z_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times d_{21} - 2 \times a_{21} \times e_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^{\ 2}} \tag{23}$$

[0056] 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O_{U_{A1}}(x_{U_{A1}}, 0, z_{U_{A1}})$ 및 $O_{W_{B1}}(x_{W_{B1}}, l''_{AB}, z_{W_{B1}})$를 획득할 수 있고; 해당 시각에 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 d_1를 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0057] $$d_1 = \left\| C_1 - \frac{(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})^T}{(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})^T (O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})} (C_1 - O_{U_{A1}}) \right\| \tag{24}$$

[0058] 샤프트 공작물을 회전시켜, 1회전 후 각 시각에 기록된 데이터를 측정하여 획득하고, 모든 시각에 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i=1,2,3\cdots)$를 계산하여 획득한다.

[0059] 샤프트 공작물의 반경 방향 런아웃 t는 실시간 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i=1,2,3\cdots)$중 최대값 $d_{\max}$와 최소값 $d_{\min}$의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0060] $$t = d_{\max} - d_{\min} \tag{25}$$

[0061] 또한, 상기 단계 (5)는 구체적으로 다음과 같은 단계를 포함한다. 우선 라인 레이저 측정기를 이용하여 샤프트 공작물 기준 샤프트 세그먼트의 측정 위치 A 및 측정 위치 B에 대해 윤곽 감지를 수행하고, 라인 레이저 측정기로 어느 회전 위치에서의 실시간 윤곽점 데이터를 획득하며, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표를 $P'_{i1}(x'_{i1}, 0, z'_{i1}), (i=1,2,3\cdots)$라고 가정하면, 좌표점은 공식 (26)을 충족시킨다.

[0062] $$a'_{11}x'^2_{i1} + b'_{11}x'_{i1}z_{i1} + c'_{11}z'^2_{i1} + d'_{11}x'_{i1} + e'_{11}z'_{i1} + f'_{11} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{26}$$

[0063] 방정식을 풀어 a'_{11}, b'_{11}, c'_{11}, d'_{11}, e'_{11} 및 f'_{11}을 구한 다음, 공식 (27) 및 (28)을 통해 구할 수 있다.

[0064] $$x'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{\ 2}_{11}} \tag{27}$$

[0065] $$z'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{\ 2}_{11}} \tag{28}$$

[0066] 해당 시각에 위치 A로부터의 거리가 l'''_{AB}인 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표를 $P'_{j1}(x'_{j1}, l'''_{AB}, z'_{j1}), (j=1,2,3\cdots)$라고 가정하면, 좌표점은 공식 (29)를 충족시킨다.

[0067] $$a'_{21}x'^2_{i1} + b'_{21}x'_{i1}z_{i1} + c'_{21}z'^2_{i1} + d'_{21}x'_{i1} + e'_{21}z'_{i1} + f'_{21} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{29}$$

[0068] 방정식을 풀어 a'_{21}, b'_{21}, c'_{21}, d'_{21}, e'_{21} 및 f'_{21}을 구한 다음, 공식 (30) 및 (31)을 통해 구할 수 있다.

[0069] $$x'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \quad (30)$$

[0070] $$z'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \quad (31)$$

[0071] 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{A1}}(x'_{U_{A1}}, 0, z'_{U_{A1}})$ 및 $O'_{W_{B1}}(x'_{W_{B1}}, l'''_{AB}, z'_{W_{B1}})$를 획득할 수 있고, 이 경우, 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점에 연결된 중심 축선이 $O_A - X_A Y_A Z_A$좌표계에서의 직선 공식은 다음과 같다.

[0072] $$\frac{x - x'_{U_{A1}}}{x'_{W_{B1}} - x'_{U_{A1}}} = \frac{y - 0}{l'''_{AB} - 0} = \frac{z - z'_{U_{A1}}}{z'_{W_{B1}} - z'_{U_{A1}}} \quad (32)$$

[0073] 라인 레이저 측정기를 Y_A 축 방향을 따라 공작물 감지 샤프트 세그먼트 위치 C'로 이동하고, 격자 레일을 통해 이동 거리 l'를 획득하며, 해당 시각에 위치 C'에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표를 $P_{k1}(x_{k1}, l', z_{k1}), (k = 1,2,3\cdots)$라고 가정하면, 좌표점은 공식 (33)을 충족시킨다.

[0074] $$a_3 x_k^2 + b_3 x_k z_k + c_3 z_k^2 + d_3 x_k + e_3 z_k + f_3 = 0 \quad (k = 1,2,3\cdots) \quad (33)$$

[0075] 방정식을 풀어 a_3, b_3, c_3, d_3, e_3 및 f_3을 구한 다음, 공식 (34) 및 (35)를 통해 구할 수 있다.

[0076] $$x_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times e_3 - 2 \times c_3 \times d_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^{2}} \quad (34)$$

[0077] $$z_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times d_3 - 2 \times a_3 \times e_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^{2}} \quad (35)$$

[0078] 다른 위치에서 여러 번 감지를 반복하여, 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{Ai}}(x'_{U_{Ai}}, 0, z'_{U_{Ai}})$ 및 $O'_{W_{Bi}}(x'_{W_{Bi}}, l'''_{AB}, z'_{W_{Bi}})\ (i = 1,2,3\ldots)$를 획득하고, 세그먼트 횡단면 중심 좌표점 집합을 측정하여 $C'_i(x_{C'i}, l', z_{C'i})(i = 1,2,3\cdots)$로 기록하며; 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i를 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0079] $$d'_i = \left\| C'_i - \frac{(O'_{WBi} - O'_{UAi})(O'_{WBi} - O'_{UAi})^T}{(O'_{WBi} - O'_{UAi})^T (O'_{WBi} - O'_{UAi})} (C'_i - O'_{UAi}) \right\| (i = 1,2,3\ldots) \quad (36)$$

[0080] 샤프트 공작물 감지 샤프트 세그먼트의 동축도 ϕt는 획득된 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i에서의 최대값 $d'_{\max}$와 최소값 $d'_{\min}$의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0081] $$\phi t = d'_{\max} - d'_{\min} \quad (37)$$

[0082] 바람직하게는, 상기 샤프트 공작물은 캠 샤프트이고, 라인 레이저 측정기로 캠 샤프트 캠의 볼록 피치에 대해 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 캠 윤곽도의 가공 정밀도를 획득하고;

[0083] 라인 레이저 측정기를 캠의 볼록 피치로 이동하고, 작은 거리를 이동할 때마다 데이터 수집을 수행하여, 수집된 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 데이터 좌표를 알고리즘을 통해 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 공작물 클램핑 장치 좌표계로 변환하며, 윤곽점을 피팅한 다음, 표준 캠 윤곽과 비교하여, 윤곽도를 산출한다.

발명의 효과

[0084] 종래 기술과 비교하여, 본 발명은 다음과 같은 현저한 이점을 갖는다. 우선 본 발명은 샤프트 공작물 저널 원심 및 이의 이상적인 기준 축선을 실시간으로 감지할 수 있어, 기존의 이젝터 핀 기준 또는 V형 블록을 사용하여 발생하는 시스템 오차 및 보상 어려움을 방지하고, 비접촉 측정 좌표계의 구축은 각 측면의 공간 좌표를 획득할 수 있으며; 여기서, 본 발명은 고정밀 가공 정밀도 감지 과정을 가공 현장에서 직접 수행하고, 비접촉 측정은 가공 공작물에 대한 파손 및 감지기의 손실을 방지하며, 점-면 결합은 복잡한 교정 과정 및 부품 클램핑 위치의 영향을 방지하는 동시에, 수차례 클램핑으로 인한 위치 오차를 방지하고; 다른 감지 방법에 비해, 본 발명은 신뢰성이 높고, 감지 효율이 높으며 시간이 짧아, 대형 샤프트 공작물에 대한 인플레이스 비접촉 감지를 구현할 수 있고, 자유도가 높아 대량의 고정지그 구속에 의존하지 않으며, 넓은 적용성을 가진다.

도면의 간단한 설명

[0085] 도 1은 본 발명의 감지 시스템 좌표계 모식도이다.

도 2는 본 발명의 흐름 모식도이다.

도 3은 본 발명의 감지 시스템 및 공작물 툴링 장치의 구조 모식도이다.

도 4는 본 발명의 감지 시스템 좌표계 교정 모식도이다.

도 5는 본 발명의 라인 레이저 측정기로 측정한 게이지 컬럼, 게이지 블록이 위치한 횡단면의 좌표계 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0086] 아래 도면을 참조하여 본 발명의 기술적 해결수단에 대해 추가로 설명한다.

[0087] 도 1에 도시된 바와 같이, 우선 감지 시스템과 공작물 클램핑 장치의 좌표계 구축과 통합을 구현하고, 인플레이스 측정에서 축의 좌표 데이터를 감지하여, 기준이 되는 중심 축선을 획득하고, 마지막으로 축 런아웃의 감지 결과를 획득하여, 감지 시스템 좌표계를 구축해야 한다. 격자 레일에 고정된 라인 레이저 측정기를 이용하여 측정 위치 A 및 측정 위치 B의 기준 샤프트 세그먼트에서 단면 윤곽을 측정하되, 측정된 단면 윤곽의 피팅 원심은 O_U , O_W 이고; 레이저 변위 센서로 측정 위치 C에서 런아웃 감지 샤프트 세그먼트를 측정하되, 측정점은 O_V 를 원심으로 하는 횡단면에 있고, O_V 는 중심 축선에 있다. 감지 시스템과 공작물 위치 사이의 상대적인 오프셋으로 인해, 측정된 단면 윤곽과 중심 축선을 법선 벡터로 하는 동심 횡단면 윤곽 사이에 협각 λ가 존재한다. 레이저 레일에서 라인 레이저 측정기가 위치 A에 구축한 좌표 원점 O_A 를 세계 좌표계 원점으로 하고, 라인 레이저 측정기의 XOZ면을 세계 좌표계 XOZ면으로 함으로써, 감지 시스템을 기반으로 한 세계 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 가 구축되며, 라인 레이저 측정기는 격자 레일 B 위치에 좌표계 $O_B - X_B Y_B Z_B$ 를 갖고, 레이저 변위 센서는 격자 레일 C 위치에 좌표계 $O_C - X_C Y_C Z_C$ 를 갖는다.

[0088] 따라서, 기준이 되는 중심 축선 $O_A O_B$ 및 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 세계 좌표계에서의 측정점 좌표 (x_C, y_C, z_C) 를 획득하

기 위해서는 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$ 및 $O_C-X_CY_CZ_C$ 를 $O_A-X_AY_AZ_A$ 시스템 세계 좌표계로 변환하고, 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S-X_SY_SZ_S$ 를 결정해야 한다. 그 후 공작물을 측정하고, 측정 데이터에 대해 런아웃 오차 등 알고리즘 계산을 수행하여, 공작물 런아웃 등 오차를 획득한다.

[0089] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법은 아래와 같은 단계를 포함한다.

[0090] 단계 (1)에서, 감지 시스템을 구축하고, 감지 시스템을 교정하며, 감지 좌표계를 구축한다.

[0091] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 감지 시스템은 툴의 일측에 위치한 격자 레일(8) 및 간격을 두고 순차적으로 격자 레일에 위치하고 라인 레이저 측정기(6)를 사용하여 측정되는 측정 위치 A, 레이저 변위 센서(7)를 사용하여 측정되는 측정 위치 C 및 라인 레이저 측정기(6)를 사용하여 측정되는 측정 위치 B를 포함하되, 라인 레이저 측정기(6) 및 레이저 변위 센서(7)는 격자 레일(8)의 슬라이더에 장착되고; 여기서, 측정 위치 A 및 측정 위치 B는 감지할 기준 위치이고, 측정 위치 C는 런아웃, 동축도 및 윤곽도를 감지할 위치이며; 도 4에 도시된 바와 같이, 라인 레이저 측정기, 레이저 변위 센서와 격자 직선 가이드의 평탄도를 조정하여, 평탄도가 0.001mm가 되도록 하고, 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 측정 방향은 일치하며, 측정 방향 앞의 거리 L 위치에 교정 플레이트를 안착하고, 교정 플레이트의 교정 평면이 라인 레이저 측정기 광로와 직교하고 또한 레이저 변위 센서 광로와 수직되도록 조정하되, 라인 레이저 측정기의 XOY 평면은 교정 플레이트의 교정 평면과 평행되고, 레이저 변위 센서의 광로는 XOY 평면과 수직되며, 격자 레일에서 레이저 변위 센서의 장착 방향은 Y축과 평행되고; 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 및 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$ 를 구축한 후, 레이저 변위 센서의 스폿이 라인 레이저 측정기 광로의 Y축에 위치하도록 조정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서의 좌표계 $O_C-X_CY_CZ_C$ 를 구축하며; 라인 레이저 측정기의 측정 원점을 영점화하면, O_A, O_B의 X, Z 좌표는 0이고; 레이저 변위 센서의 측정 원점을 영점화하면, O_C의 X, Z 좌표는 0이며;

[0092] 라인 레이저 측정기는 XOZ 평면 내의 좌표 데이터를 획득할 수 있고, Y축의 좌표 데이터는 라인 레이저 측정기의 광로가 위치한 격자 레일의 위치에서 획득되며; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있을 때의 좌표 원점 O_A를 세계 좌표계 원점으로 설정하고, O_A 의 좌표를 $(0,0,0)$ 으로 교정하면, 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_A,z_A) 인 경우, 위치 A 내의 3차원 좌표는 $(x_A,0,z_A)$ 이며;

[0093] 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 광로 거리가 l_{AB}이면, O_B의 좌표를 $(0,0,l_{AB})$로 교정하고; 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_B,z_B) 이면, 좌표계 $O_B-X_BY_BZ_B$ 내의 좌표는 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있다.

[0094]
$$(x_B,y_B,z_B,1)=(x_B,0,z_B,1)\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&l_{AB}&0&1\end{bmatrix} \quad (1)$$

[0095] 위치 A 및 위치 C의 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 광로 거리가 l_{AC}이면, O_C 좌표를 $(0,0,l_{AC})$로 교정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서에 의해 측정되는 데이터가 (z_C) 이면, 좌표계 $O_C-X_CY_CZ_C$ 내의 좌표는 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$(x_C, y_C, z_C, 1) = (0, 0, z_C, 1)\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & l_{AC} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0096]

[0097] 본 발명은 감지 시스템 중의 레이저 센서를 사용하여 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 공작물의 좌표 데이터를 획득한 다음, 후속 계산 분석을 수행하며;

[0098] 단계 (2)에서, 감지 시스템에서 공작물의 포즈를 분석하여, 공작물 클램핑 장치의 좌표 시스템을 구축한다.

[0099] 도 5에 도시된 바와 같이, 공작물 클램핑 장치는 클램프 베드 컨트롤 박스(1), 클램프 베드 척(2), 검사 대상 캠 샤프트(3), 이젝터 핀(4) 및 이젝터 핀 슬라이드 레일(5)을 포함하고, 샤프트 공작물의 감지 단면 노말 축선이 이상적인 기준 축선과 동일선상에 있지 않은 경우, 즉, 샤프트 공작물과 감지 시스템 사이에 X축 방향을 중심으로 회전각 Θ, 및 Z축 방향을 중심으로 회전각 α가 존재하는 경우, 라인 레이저 측정기의 광로에 의해 측정되는 측정 단면은 타원이되, 타원의 단축은 축 직경이고, 타원의 장축 ac와 Z축 사이에는 협각이 존재하며, 타원의 단축 bd와 X축 사이에는 협각이 존재하고; 획득된 타원 윤곽의 타원 중심은 중심 축선에 있으며, 측정 단면과 횡단면 사이의 협각은 λ이고, 여기서, 타원의 장축 ac 길이가 l_{ac} 이고 단축 bd 길이가 l_{bd} 이면, λ의 계산 공식은 다음과 같다.

$$\lambda = \arccos \frac{l_{bd}}{l_{ac}} \quad (3)$$

[0100]

[0101] 클램핑 장치에서 하나의 샤프트의 게이지 컬럼, 게이지 블록을 클램핑하고, 라인 레이저 측정기를 작동시켜 게이지 컬럼, 게이지 블록에 대해 단면 윤곽 감지를 수행하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록을 라인 레이저 측정기의 측정 광로에 안착하면, 게이지 컬럼, 게이지 블록과 측정 광로의 교차 단면은 타원 윤곽이고; 위치 A에서 레이저 측정기는 임의의 위치에서 게이지 컬럼, 게이지 블록의 반단면 윤곽 원호 $\overset{\frown}{ef}$ 를 측정할 수 있으며, 이 경우, 원호 $\overset{\frown}{ef}$ 의 윤곽점 좌표를 $Pn(x_n, 0, z_n), (n = 1,2,3\cdots)$ 으로 가정하면, 좌표점은 공식 (4)를 충족시킨다.

$$ax_n^2 + bx_n z_n + cz_n^2 + dx_n + ez_n + f = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (4)$$

[0102]

[0103] 식에서 a, b, c, d, e 및 f는 상수 계수로, 이는 좌표점 집합에 대입하여 구하고;

[0104] $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 타원의 장축의 회전각 φ 는 공식 (5)를 통해 구한다.

$$\varphi = \frac{1}{2} arctan \frac{b}{a - c} \quad (5)$$

[0105]

[0106] 타원의 기하학적 중심 O_U 의 좌표를 (x_U, z_U) 로 가정하면, 공식 (6) 및 (7)를 통해 구한다.

$$x_U = \frac{b \times e - 2 \times c \times d}{4 \times a \times c - b^2} \quad (6)$$

[0107]

$$z_U = \frac{b \times d - 2 \times a \times e}{4 \times a \times c - b^2} \quad (7)$$

[0108]

[0109] 장축 길이 l_{ac} 및 단축 길이 l_{bd} 는 각각 공식 (8) 및 (9)를 통해 구한다.

$$l_{ac} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c)-\sqrt{b^2+\left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (8)$$

[0110]

$$l_{bd} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c)+\sqrt{b^2+\left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (9)$$

[0111]

[0112] 게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면과 이의 동심 횡단면 사이에 존재하는 협각 λ는, 공식 (3), (4), (8) 및 (9)를 통해 구하고;

[0113] 게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면 A 윤곽의 단축은 동심 횡단면 A 윤곽의 직경이며, $\overrightarrow{bd}$ 를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 X_S 축으로 하고, 측정 단면 A 윤곽의 중심 O_U 를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 원점 O_S 으로 하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록에 수직인 횡단면 A 윤곽의 중심 축선을 Y_S 축으로 하여, 오른손 법칙에 부합되는 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 를 구축하며;

[0114] 감지 시스템 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 와 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 사이에는 오프셋 $(x_U, 0, z_U, \varphi, \lambda, 0)$ 을 갖는 바, 즉, 감지 시스템 좌표계 중의 점 (x, y, z) 는 각각 x축 및 z축 방향에서 x_u 및 z_u 평행 이동한 다음, X축을 중심으로 각도 λ만큼 회전하고, 다시 Y축을 중심으로 각도 φ 만큼 회전한 후 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 에 대응되는 점 좌표 (x', y', z') 를 획득할 수 있으므로, 감지 시스템 좌표계 및 공작물 클램핑 장치 좌표계의 변환 관계는 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & 0 & \sin\lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\lambda & 0 & \cos\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_U \\ y - 0 \\ z - z_U \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0115]

[0116] 단계 (3)에서, 샤프트 공작물 가공 툴의 클램핑 장치가 회동하도록 제어하고, 라인 레이저 측정기로 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 이상적인 기준 축선을 획득한다.

[0117] 샤프트 공작물을 교정된 클램핑 장치에 클램핑하고, 라인 레이저 측정기의 광로를 샤프트 공작물의 기준 샤프트 세그먼트와 정렬하며, 위치 A 및 위치 B의 라인 레이저 측정기를 작동시켜 측정하고; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있다고 가정하면, 획득된 단면 윤곽의 점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_i(x_i, 0, z_i), (i = 1,2,3\cdots)$ 이고, 좌표점은 공식 (11)을 충족시킨다.

$$a_1 x_n^2 + b_1 x_n z_n + c_1 z_n^2 + d_1 x_n + e_1 z_n + f_1 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (11)$$

[0118]

[0119] 방정식을 풀어 상수 a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 및 f_1을 구한 다음, 공식 (12) 및 (13)을 통해 구할 수 있다.

$$x_{U_A} = \frac{b_1 \times e_1 - 2 \times c_1 \times d_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \quad (12)$$

[0120]

[0121] $$z_{U_A} = \frac{b_1 \times d_1 - 2 \times a_1 \times e_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \quad (13)$$

[0122] 측정 위치 A로부터의 거리가 l'_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_j(x_j, l'_{AB}, z_j), (j = 1,2,3\cdots)$ 이고; 좌표점은 공식 (14)를 충족시킨다.

[0123] $$a_2 x_n^2 + b_2 x_n z_n + c_2 z_n^2 + d_2 x_n + e_2 z_n + f_2 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (14)$$

[0124] 방정식을 풀어 a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 및 f_2를 구한 다음, 공식 (15) 및 (16)을 통해 구할 수 있다.

[0125] $$x_{W_B} = \frac{b_2 \times e_2 - 2 \times c_2 \times d_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \quad (15)$$

[0126] $$z_{W_B} = \frac{b_2 \times d_2 - 2 \times a_2 \times e_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \quad (16)$$

[0127] 측정 위치 A 및 측정 위치 B에서 단면 윤곽에 대응되는 공작물 횡단면의 중심 좌표 $O_{U_A}(x_{U_A}, 0, z_{U_A})$ 와 $O_{W_B}(x_{W_B}, l'_{AB}, z_{W_B})$ 를 각각 획득할 수 있고; 이 경우, $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 기준 샤프트 세그먼트의 중심 축선에 대한 직선 공식은 다음과 같다.

[0128] $$\frac{x - x_{U_A}}{x_{W_B} - x_{U_A}} = \frac{y - 0}{l'_{AB} - 0} = \frac{z - z_{U_A}}{z_{W_B} - z_{U_A}} \quad (17)$$

[0129] 단계 (4)에서, 레이저 변위 센서로 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 저널의 실제 런아웃 가공 정밀도를 획득한다.

[0130] 샤프트 공작물을 회전시키며, 레이저 변위 센서로 측정 위치 C의 실시간 측정점의 좌표를 획득하고, 어느 시각의 좌표를 $C_1(0, y_{C1}, z_{C1})$ 로 가정하면, 라인 레이저 측정기는 해당 시각에 위치를 회전하는 실시간 윤곽점 데이터를 획득하고, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{i1}(x_{i1}, 0, z_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (18)을 충족시킨다.

[0131] $$a_{11} x_n^2 + b_{11} x_n z_n + c_{11} z_n^2 + d_{11} x_n + e_{11} z_n + f_{11} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (18)$$

[0132] 방정식을 풀어 a_{11}, b_{11}, c_{11}, d_{11}, e_{11} 및 f_{11}을 구한 다음, 공식 (19) 및 (20)을 통해 구할 수 있다.

[0133] $$x_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times e_{11} - 2 \times c_{11} \times d_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^2} \quad (19)$$

[0134] $$z_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times d_{11} - 2 \times a_{11} \times e_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^2} \quad (20)$$

[0135] 해당 시각에 측정 위치 A로부터의 거리가 l''_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{j1}(x_{j1}, l''_{AB}, z_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (21)을

충족시킨다.

[0136] $$a_{21}x_n^2 + b_{21}x_n z_n + c_{21}z_n^2 + d_{21}x_n + e_{21}z_n + f_{21} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{21}$$

[0137] 방정식을 풀어 a_{21}, b_{21}, c_{21}, d_{21}, e_{21} 및 f_{21}을 구한 다음, 공식 (22) 및 (23)을 통해 구할 수 있다.

[0138] $$x_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times e_{21} - 2 \times c_{21} \times d_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^2} \tag{22}$$

[0139] $$z_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times d_{21} - 2 \times a_{21} \times e_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^2} \tag{23}$$

[0140] 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O_{U_{A1}}\left(x_{U_{A1}},0,z_{U_{A1}}\right)$ 및 $O_{W_{B1}}\left(x_{W_{B1}},l''_{AB},z_{W_{B1}}\right)$를 획득할 수 있고; 해당 시각에 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 d_1를 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0141] $$d_1 = \left\| C_1 - \frac{\left(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}}\right)\left(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}}\right)^T}{\left(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}}\right)^T\left(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}}\right)}\left(C_1 - O_{U_{A1}}\right) \right\| \tag{24}$$

[0142] 샤프트 공작물을 회전시켜, 1회전 후 각 시각에 기록된 데이터를 측정하여 획득하고, 모든 시각 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i=1,2,3\cdots)$를 계산하여 획득하며;

[0143] 샤프트 공작물의 반경 방향 런아웃 t는 실시간 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i=1,2,3\cdots)$중 최대값 $d_{\max}$와 최소값 $d_{\min}$의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0144] $$t = d_{\max} - d_{\min} \tag{25}$$

[0145] 본 발명은 실시간으로 감지되는 중심 축선을 이용함으로써, 공작물 클램핑 장치의 회전 편심으로 인한 영향을 방지하고, 계산 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0146] 단계 (5)에서, 라인 레이저 측정기를 이용하여 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 샤프트 공작물의 동축도 가공 정밀도를 획득한다.

[0147] 우선 라인 레이저 측정기를 이용하여 샤프트 공작물 기준 샤프트 세그먼트의 측정 위치 A 및 측정 위치 B에 대해 윤곽 감지를 수행하고, 라인 레이저 측정기로 어느 회전 위치에서의 실시간 윤곽점 데이터를 획득하며, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표를 $P'_{i1}\left(x'_{i1},0,z'_{i1}\right),(i=1,2,3\cdots)$라고 가정하면, 좌표점은 공식 (26)을 충족시킨다.

[0148] $$a'_{11}x'^2_{i1} + b'_{11}x'_{i1}z_{i1} + c'_{11}z'^2_{i1} + d'_{11}x'_{i1} + e'_{11}z'_{i1} + f'_{11} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{26}$$

[0149] 방정식을 풀어 a'_{11}, b'_{11}, c'_{11}, d'_{11}, e'_{11} 및 f'_{11}을 구한 다음, 공식 (27) 및 (28)을 구할 수 있다.

[0150] $$x'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^2_{11}} \tag{27}$$

[0151] $$z'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^2_{11}} \tag{28}$$

[0152] 해당 시각에 위치 A로부터의 거리가 l'''_{AB}인 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이

좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P'_{j1}(x'_{j1}, l'''_{AB}, z'_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (29)를 충족시킨다.

[0153] $$a'_{21}x'^{2}_{i1} + b'_{21}x'_{i1}z_{i1} + c'_{21}z'^{2}_{i1} + d'_{21}x'_{i1} + e'_{21}z'_{i1} + f'_{21} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{29}$$

[0154] 방정식을 풀어 a'$_{21}$, b'$_{21}$, c'$_{21}$, d'$_{21}$, e'$_{21}$ 및 f'$_{21}$을 구한 다음, 공식 (30) 및 (31)을 통해 구할 수 있다.

[0155] $$x'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{30}$$

[0156] $$z'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{31}$$

[0157] 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{A1}}(x'_{U_{A1}}, 0, z'_{U_{A1}})$ 및 $O'_{W_{B1}}(x'_{W_{B1}}, l'''_{AB}, z'_{W_{B1}})$ 를 획득할 수 있고, 이 경우, 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점에 연결된 중심 축선이 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 직선 공식은 다음과 같다.

[0158] $$\frac{x - x'_{U_{A1}}}{x'_{W_{B1}} - x'_{U_{A1}}} = \frac{y - 0}{l'''_{AB} - 0} = \frac{z - z'_{U_{A1}}}{z'_{W_{B1}} - z'_{U_{A1}}} \tag{32}$$

[0159] 라인 레이저 측정기를 Y_A 축 방향을 따라 공작물 감지 샤프트 세그먼트 위치 C'로 이동하고, 격자 레일을 통해 이동 거리 l' 를 획득하며, 해당 시각에 위치 C'에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{k1}(x_{k1}, l', z_{k1}), (k = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (33)을 충족시킨다.

[0160] $$a_3 x_k^2 + b_3 x_k z_k + c_3 z_k^2 + d_3 x_k + e_3 z_k + f_3 = 0 \quad (k = 1,2,3\cdots) \tag{33}$$

[0161] 방정식을 풀어 a$_3$, b$_3$, c$_3$, d$_3$, e$_3$ 및 f$_3$을 구한 다음, 공식 (34) 및 (35)를 통해 구할 수 있다.

[0162] $$x_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times e_3 - 2 \times c_3 \times d_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^{2}} \tag{34}$$

[0163] $$z_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times d_3 - 2 \times a_3 \times e_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^{2}} \tag{35}$$

[0164] 다른 위치에서 여러 번 감지를 반복하여, 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{Ai}}(x'_{U_{Ai}}, 0, z'_{U_{Ai}})$ 및 $O'_{W_{Bi}}(x'_{W_{Bi}}, l'''_{AB}, z'_{W_{Bi}})$ $(i = 1,2,3\ldots)$ 를 획득하고, 세그먼트 횡단면 중심 좌표점 집합을 측정하여 $C'_i(x_{C'i}, l', z_{C'i})(i = 1,2,3\cdots)$ 로 기록하며; 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i 를 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0165] $$d'_i = \left\| C'_i - \frac{(O'_{WBi} - O'_{UAi})(O'_{WBi} - O'_{UAi})^{T}}{(O'_{WBi} - O'_{UAi})^{T}(O'_{WBi} - O'_{UAi})}(C'_i - O'_{UAi}) \right\| (i = 1,2,3\ldots) \tag{36}$$

[0166] 샤프트 공작물 감지 샤프트 세그먼트의 동축도 ϕt 는 획득된 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i 에서의 최대값 $d'_{\max}$ 와 최소값 $d'_{\min}$ 의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0167] $$\phi t = d'_{\max} - d'_{\min} \quad (37)$$

[0168] 본 발명의 방법을 사용함으로써, 정적 또한 비접촉으로 공작물의 감지 샤프트 세그먼트의 횡단면 중심점 집합을 획득하고, 나아가 감지 샤프트 세그먼트의 축선과 기준 축선의 오차 크기를 얻을 수 있으므로, 클램핑 장치 및 공작물의 회전 편심으로 인한 영향 및 이동 공작물의 번거로운 공정을 방지할 수 있다.

[0169] 샤프트 공작물이 캠 샤프트인 본 발명의 샤프트 공작물 인플레이스 비접촉 감지 방법은 다음과 같은 단계를 포함한다.

[0170] 단계 (1)에서, 감지 시스템을 구축하고, 감지 시스템을 교정하며, 감지 좌표계를 구축한다.

[0171] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 감지 시스템은 툴의 일측에 위치한 격자 레일(8) 및 간격을 두고 순차적으로 격자 레일에 위치하고 라인 레이저 측정기(6)를 사용하여 측정되는 측정 위치 A, 레이저 변위 센서 (7)를 사용하여 측정되는 측정 위치 C 및 라인 레이저 측정기(6)를 사용하여 측정되는 측정 위치 B를 포함하되, 라인 레이저 측정기(6) 및 레이저 변위 센서(7)는 격자 레일(8)의 슬라이더에 장착되고; 여기서, 측정 위치 A 및 측정 위치 B는 감지할 기준 위치이고, 측정 위치 C는 런아웃, 동축도 및 윤곽도 감지할 위치이며; 도 4에 도시된 바와 같이, 라인 레이저 측정기, 레이저 변위 센서와 격자 직선 가이드의 평탄도를 조정하여, 평탄도가 0.001mm가 되도록 하고, 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 측정 방향은 일치하며, 측정 방향 앞의 거리 L 위치에 교정 플레이트를 안착하고, 교정 플레이트의 교정 평면이 라인 레이저 측정기 광로와 직교하고 또한 레이저 변위 센서 광로와 수직되도록 조정하되, 라인 레이저 측정기의 XOY 평면은 교정 플레이트의 교정 평면과 평행되고, 레이저 변위 센서의 광로는 XOY 평면과 수직되며, 격자 레일에서 레이저 변위 센서의 장착 방향은 Y축과 평행되고; 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$및 좌표계 $O_B - X_B Y_B Z_B$ 를 구축한 후, 레이저 변위 센서의 스폿이 라인 레이저 측정기 광로의 Y축에 위치하도록 조정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서의 좌표계 $O_C - X_C Y_C Z_C$ 를 구축하며; 라인 레이저 측정기의 측정 원점을 영점화하면, O_A, O_B 의 X, Z 좌표는 0이고; 레이저 변위 센서의 측정 원점을 영점화하면, O_C 의 X, Z 좌표는 0이며;

[0172] 라인 레이저 측정기는 XOZ 평면 내의 좌표 데이터를 획득할 수 있고, Y축의 좌표 데이터는 라인 레이저 측정기의 광로가 위치한 격자 레일의 위치에서 획득되며; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있을 때의 좌표 원점 O_A 를 세계 좌표계 원점으로 설정하고, O_A 의 좌표를 $(0,0,0)$ 으로 교정하면, 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_A, z_A) 인 경우, 위치 A 내의 3차원 좌표는 $(x_A, 0, z_A)$ 이며;

[0173] 위치 A 및 위치 B에서 라인 레이저 측정기의 광로 거리가 l_{AB} 이면, O_B 의 좌표를 $(0,0,l_{AB})$로 교정하고; 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 측정되는 데이터가 (x_B, z_B) 이면, 좌표계 $O_B - X_B Y_B Z_B$ 내의 좌표는 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있다.

[0174] $$(x_B, y_B, z_B, 1) = (x_B, 0, z_B, 1)\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & l_{AB} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0175] 위치 A 및 위치 C에서 라인 레이저 측정기 및 레이저 변위 센서의 광로 거리가 l_{AC} 이면, O_C 좌표를

$(0,0,l_{AC})$로 교정하고, 위치 C에서 레이저 변위 센서에 의해 측정되는 데이터가 (z_C)이면, 좌표계 $O_C-X_CY_CZ_C$ 내의 좌표는 좌표계 $O_A-X_AY_AZ_A$ 에서 다음과 같이 표시될 수 있다.

[0176] $$(x_C,y_C,z_C,1)=(0,0,z_C,1)\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&l_{AC}&0&1\end{bmatrix} \quad (2)$$

[0177] 본 발명은 감지 시스템 중의 레이저 센서를 사용하여 $O_A-X_AY_AZ_A$ 좌표계에서 공작물의 좌표 데이터를 획득한 다음, 후속 계산 분석을 수행하며;

[0178] 단계 (2)에서, 감지 시스템에서 공작물의 포즈를 분석하여, 공작물 클램핑 장치의 좌표 시스템을 구축한다.

[0179] 도 5에 도시된 바와 같이, 공작물 클램핑 장치는 클램프 베드 컨트롤 박스(1), 클램프 베드 척(2), 검사 대상 캠 샤프트(3), 이젝터 핀(4) 및 이젝터 핀 슬라이드 레일(5)를 포함하고, 캠 샤프트의 감지 단면 노말 축선이 이상적인 기준 축선과 동일선상에 있지 않은 경우, 즉, 캠 샤프트와 감지 시스템 사이에 X축 방향을 중심으로 회전각 Θ, 및 Z축 방향을 중심으로 회전각 α가 존재하는 경우, 라인 레이저 측정기의 광로에 의해 측정되는 측정 단면은 타원이되, 타원의 단축은 축 직경이고, 타원의 장축 ac와 Z축 사이에는 협각이 존재하며, 타원의 단축 bd 와 X축 사이에는 협각이 존재하고; 획득된 타원 윤곽의 타원 중심은 중심 축선에 있으며, 측정 단면과 횡단면 사이의 협각은 λ이고, 여기서, 타원의 장축 ac 길이가 l_{ac} 이고 단축 bd 길이가 l_{bd} 이면, λ의 계산 공식은 다음과 같다.

[0180] $$\lambda=\arccos\frac{l_{bd}}{l_{ac}} \quad (3)$$

[0181] 클램핑 장치에서 샤프트의 게이지 컬럼, 게이지 블록을 클램핑하고, 라인 레이저 측정기를 작동시켜 게이지 컬럼, 게이지 블록에 대해 단면 윤곽 감지를 수행하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록을 라인 레이저 측정기의 측정 광로에 안착하면, 게이지 컬럼, 게이지 블록과 측정 광로의 교차 단면은 타원 윤곽이고; 위치 A에서 레이저 측정기는 임의의 위치에서 게이지 컬럼, 게이지 블록의 반단면 윤곽 원호 $\overset{\frown}{ef}$를 측정할 수 있으며, 이 경우, 원호 $\overset{\frown}{ef}$ 의 윤곽점 좌표를 $Pn(x_n,0,z_n),(n=1,2,3\cdots)$ 으로 가정하면, 좌표점은 공식 (4)를 충족시킨다.

[0182] $$ax_n^2+bx_nz_n+cz_n^2+dx_n+ez_n+f=0 \quad (n=1,2,3\cdots) \quad (4)$$

[0183] 식에서 a, b, c, d, e 및 f는 상수 계수로, 이는 좌표점 집합에 대입하여 구하고;

[0184] $O_A-X_AY_AZ_A$ 좌표계에서 타원의 장축의 회전각 φ는 공식 (5)를 통해 구한다.

[0185] $$\varphi=\frac{1}{2}arctan\frac{b}{a-c} \quad (5)$$

[0186] 타원의 기하학적 중심 O_U 의 좌표를 (x_U,z_U) 로 가정하면, 공식 (6) 및 (7)를 통해 구한다.

[0187] $$x_U=\frac{b\times e-2\times c\times d}{4\times a\times c-b^2} \quad (6)$$

[0188] $$z_U = \frac{b \times d - 2 \times a \times e}{4 \times a \times c - b^2} \quad (7)$$

[0189] 장축 길이 l_{ac} 및 단축 길이 l_{bd} 는 각각 공식 (8) 및 (9)를 통해 구한다.

[0190] $$l_{ac} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c) - \sqrt{b^2 + \left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (8)$$

[0191] $$l_{bd} = 2\sqrt{\frac{-2f}{(a+c) + \sqrt{b^2 + \left(\frac{a-c}{f}\right)^2}}} \quad (9)$$

[0192] 게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면과 이의 동심 횡단면 사이에 존재하는 협각 λ는, 공식 (3), (4), (8) 및 (9)를 통해 구하고;

[0193] 게이지 컬럼, 게이지 블록의 측정 단면 A 윤곽의 단축은 동심 횡단면 A 윤곽의 직경이며, $\overrightarrow{bd}$ 를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 X_S 축으로 하고, 측정 단면 A 윤곽의 중심 O_U 를 공작물 클램핑 장치 좌표계의 원점 O_S 으로 하며, 게이지 컬럼, 게이지 블록에 수직인 횡단면 A 윤곽의 중심 축선을 Y_S 축으로 하여, 오른손 법칙에 부합되는 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 를 구축하며;

[0194] 감지 시스템 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 와 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 사이에는 오프셋 $(x_U, 0, z_U, \varphi, \lambda, 0)$ 을 갖는 바, 즉, 감지 시스템 좌표계 중의 점 (x, y, z) 는 각각 X축 및 z축 방향에서 x_u 및 z_u 평행 이동한 다음, X축을 중심으로 각도 λ만큼 회전하고, 다시 Y축을 중심으로 각도 φ 만큼 회전한 후 공작물 클램핑 장치 좌표계 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 에 대응되는 점 좌표 (x', y', z') 를 획득할 수 있으므로, 감지 시스템 좌표계 및 공작물 클램핑 장치 좌표계의 변환 관계는 다음과 같다.

[0195] $$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & 0 & \sin\lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\lambda & 0 & \cos\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_U \\ y - 0 \\ z - z_U \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0196] 단계 (3)에서, 캠 샤프트 가공 툴의 클램핑 장치가 회동하도록 제어하고, 라인 레이저 측정기로 연속 데이터 수집을 수행하며, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트의 이상적인 기준 축선을 획득한다.

[0197] 캠 샤프트를 교정된 클램핑 장치에 클램핑하고, 라인 레이저 측정기의 광로를 캠 샤프트의 기준 샤프트 세그먼트와 정렬하며, 위치 A 및 위치 B의 라인 레이저 측정기를 작동시켜 측정하고; 라인 레이저 측정기가 위치 A에 있다고 가정하면, 획득된 단면 윤곽의 점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_i(x_i, 0, z_i), (i = 1,2,3\cdots)$ 이고, 좌표점은 공식 (11)을 충족시킨다.

[0198] $$a_1 x_n^2 + b_1 x_n z_n + c_1 z_n^2 + d_1 x_n + e_1 z_n + f_1 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (11)$$

[0199] 방정식을 풀어 상수 a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 및 f_1을 구한 다음, 공식 (12) 및 (13)을 통해 구할 수 있다.

[0200] $$x_{U_A} = \frac{b_1 \times e_1 - 2 \times c_1 \times d_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \quad (12)$$

[0201] $$z_{U_A} = \frac{b_1 \times d_1 - 2 \times a_1 \times e_1}{4 \times a_1 \times c_1 - b_1^2} \quad (13)$$

[0202] 측정 위치 A로부터의 거리가 l'_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_j(x_j, l'_{AB}, z_j), (j = 1,2,3\cdots)$ 이고; 좌표점은 공식 (14)를 충족시킨다.

[0203] $$a_2 x_n^2 + b_2 x_n z_n + c_2 z_n^2 + d_2 x_n + e_2 z_n + f_2 = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (14)$$

[0204] 방정식을 풀어 a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 및 f_2를 구한 다음, 공식 (15) 및 (16)을 통해 구할 수 있다.

[0205] $$x_{W_B} = \frac{b_2 \times e_2 - 2 \times c_2 \times d_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \quad (15)$$

[0206] $$z_{W_B} = \frac{b_2 \times d_2 - 2 \times a_2 \times e_2}{4 \times a_2 \times c_2 - b_2^2} \quad (16)$$

[0207] 측정 위치 A 및 측정 위치 B에서 단면 윤곽에 대응되는 공작물 횡단면의 중심 좌표 $O_{U_A}(x_{U_A}, 0, z_{U_A})$ 와 $O_{W_B}(x_{W_B}, l'_{AB}, z_{W_B})$ 를 각각 획득할 수 있고; 이 경우, $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 기준 샤프트 세그먼트의 중심 축선에 대한 직선 공식은 다음과 같다.

[0208] $$\frac{x - x_{U_A}}{x_{W_B} - x_{U_A}} = \frac{y - 0}{l'_{AB} - 0} = \frac{z - z_{U_A}}{z_{W_B} - z_{U_A}} \quad (17)$$

[0209] 단계 (4)에서, 레이저 변위 센서로 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 저널의 실제 런아웃 가공 정밀도를 획득한다.

[0210] 캠 샤프트를 회전시키며, 레이저 변위 센서로 측정 위치 C의 실시간 측정점의 좌표를 획득하고, 어느 시각의 좌표를 $C_1(0, y_{C1}, z_{C1})$ 로 가정하면, 라인 레이저 측정기는 해당 시각에 위치를 회전하는 실시간 윤곽점 데이터를 획득하고, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{i1}(x_{i1}, 0, z_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (18)을 충족시킨다.

[0211] $$a_{11} x_n^2 + b_{11} x_n z_n + c_{11} z_n^2 + d_{11} x_n + e_{11} z_n + f_{11} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \quad (18)$$

[0212] 방정식을 풀어 a_{11}, b_{11}, c_{11}, d_{11}, e_{11} 및 f_{11}을 구한 다음, 공식 (19) 및 (20)을 통해 구할 수 있다.

[0213] $$x_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times e_{11} - 2 \times c_{11} \times d_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^2} \quad (19)$$

[0214] $$z_{U_{A1}} = \frac{b_{11} \times d_{11} - 2 \times a_{11} \times e_{11}}{4 \times a_{11} \times c_{11} - b_{11}^2} \quad (20)$$

[0215] 해당 시각에 측정 위치 A로부터의 거리가 l''_{AB} 인 측정 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽

내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_{j1}(x_{j1}, l''_{AB}, z_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (21)을 충족시킨다.

[0216] $$a_{21}x_n^2 + b_{21}x_n z_n + c_{21}z_n^2 + d_{21}x_n + e_{21}z_n + f_{21} = 0 \quad (n = 1,2,3\cdots) \tag{21}$$

[0217] 방정식을 풀어 a_{21}, b_{21}, c_{21}, d_{21}, e_{21} 및 f_{21}을 구한 다음, 공식 (22) 및 (23)을 통해 구할 수 있다.

[0218] $$x_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times e_{21} - 2 \times c_{21} \times d_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^{\ 2}} \tag{22}$$

[0219] $$z_{W_{B1}} = \frac{b_{21} \times d_{21} - 2 \times a_{21} \times e_{21}}{4 \times a_{21} \times c_{21} - b_{21}^{\ 2}} \tag{23}$$

[0220] 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O_{U_{A1}}(x_{U_{A1}}, 0, z_{U_{A1}})$ 및 $O_{W_{B1}}(x_{W_{B1}}, l''_{AB}, z_{W_{B1}})$ 를 획득할 수 있고; 해당 시각에 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 d_1 를 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0221] $$d_1 = \left\| C_1 - \frac{(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})^T}{(O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})^T (O_{W_{B1}} - O_{U_{A1}})} (C_1 - O_{U_{A1}}) \right\| \tag{24}$$

[0222] 캠 샤프트를 회전시켜, 1회전 후 각 시각에 기록된 데이터를 측정하여 획득하고, 모든 시각 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i = 1,2,3\cdots)$ 를 계산하여 획득하며;

[0223] 캠 샤프트의 반경 방향 런아웃 t는 실시간 측정점에서 실시간 중심 축선까지의 거리 $d_i(i = 1,2,3\cdots)$중 최대값 $d_{\max}$ 와 최소값 $d_{\min}$ 의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0224] $$t = d_{\max} - d_{\min} \tag{25}$$

[0225] 본 발명은 실시간으로 감지되는 중심 축선을 이용함으로써, 공작물 클램핑 장치의 회전 편심으로 인한 영향을 방지하고, 계산 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0226] 단계 (5)에서, 라인 레이저 측정기를 이용하여 감지 부위에 대한 연속 데이터 수집을 수행하고, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트의 동축도 가공 정밀도를 획득한다.

[0227] 우선 라인 레이저 측정기를 이용하여 샤프트 공작물 기준 샤프트 세그먼트의 측정 위치 A 및 측정 위치 B에 대해 윤곽 감지를 수행하고, 라인 레이저 측정기로 어느 회전 위치에서의 실시간 윤곽점 데이터를 획득하며, 해당 시각에 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$에서의 좌표를 $P'_{i1}(x'_{i1}, 0, z'_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (26)을 충족시킨다.

[0228] $$a'_{11}x'^2_{i1} + b'_{11}x'_{i1}z_{i1} + c'_{11}z'^2_{i1} + d'_{11}x'_{i1} + e'_{11}z'_{i1} + f'_{11} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{26}$$

[0229] 방정식을 풀어 a'_{11}, b'_{11}, c'_{11}, d'_{11}, e'_{11} 및 f'_{11}을 구한 다음, 공식 (27) 및 (28)을 통해 구할 수 있다.

[0230] $$x'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{\ 2}_{11}} \tag{27}$$

[0231] $$z'_{U_{A1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{\ 2}_{11}} \tag{28}$$

[0232] 해당 시각에 위치 A로부터의 거리가 l'''_{AB} 인 위치 B에서 시각 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부 점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P'_{j1}(x'_{j1}, l'''_{AB}, z'_{j1}), (j = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (29)를 충족시킨다.

[0233] $$a'_{21}x'^{2}_{i1} + b'_{21}x'_{i1}z_{i1} + c'_{21}z'^{2}_{i1} + d'_{21}x'_{i1} + e'_{21}z'_{i1} + f'_{21} = 0 \quad (i = 1,2,3\cdots) \tag{29}$$

[0234] 방정식을 풀어 a'_{21}, b'_{21}, c'_{21}, d'_{21}, e'_{21} 및 f'_{21}을 구한 다음, 공식 (30) 및 (31)을 통해 구할 수 있다.

[0235] $$x'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times e'_{11} - 2 \times c'_{11} \times d'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{30}$$

[0236] $$z'_{W_{B1}} = \frac{b'_{11} \times d'_{11} - 2 \times a'_{11} \times e'_{11}}{4 \times a'_{11} \times c'_{11} - b'^{2}_{11}} \tag{31}$$

[0237] 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{A1}}(x'_{U_{A1}}, 0, z'_{U_{A1}})$ 및 $O'_{W_{B1}}(x'_{W_{B1}}, l'''_{AB}, z'_{W_{B1}})$ 를 획득할 수 있고, 이 경우, 해당 시각에 기준 샤프트 세그먼트의 중심점에 연결된 중심 축선이 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 직선 공식은 다음과 같다.

[0238] $$\frac{x - x'_{U_{A1}}}{x'_{W_{B1}} - x'_{U_{A1}}} = \frac{y - 0}{l'''_{AB} - 0} = \frac{z - z'_{U_{A1}}}{z'_{W_{B1}} - z'_{U_{A1}}} \tag{32}$$

[0239] 라인 레이저 측정기를 Y_A 축 방향을 따라 공작물 감지 샤프트 세그먼트 위치 C' 로 이동하고, 격자 레일을 통해 이동 거리 l' 를 획득하며, 해당 시각에 위치 C' 에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{k1}(x_{k1}, l', z_{k1}), (k = 1,2,3\cdots)$ 라고 가정하면, 좌표점은 공식 (33)을 충족시킨다.

[0240] $$a_3 x_k^2 + b_3 x_k z_k + c_3 z_k^2 + d_3 x_k + e_3 z_k + f_3 = 0 \quad (k = 1,2,3\cdots) \tag{33}$$

[0241] 방정식을 통해 a_3, b_3, c_3, d_3, e_3 및 f_3을 구한 다음, 공식 (34) 및 (35)를 통해 구할 수 있다.

[0242] $$x_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times e_3 - 2 \times c_3 \times d_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^2} \tag{34}$$

[0243] $$z_{U_{C'}} = \frac{b_3 \times d_3 - 2 \times a_3 \times e_3}{4 \times a_3 \times c_3 - b_3^2} \tag{35}$$

[0244] 다른 위치에서 여러 번 감지를 반복하여, 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O'_{U_{Ai}}(x'_{U_{Ai}}, 0, z'_{U_{Ai}})$ 및 $O'_{W_{Bi}}(x'_{W_{Bi}}, l'''_{AB}, z'_{W_{Bi}})$ $(i = 1,2,3\ldots)$ 를 획득하고, 세그먼트 횡단면 중심 좌표점 집합을 측정하여 $C'_i(x_{C'i}, l', z_{C'i})(i = 1,2,3\cdots)$ 로 기록하며; 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d'_i 를 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0245] $$d_i' = \left\| C_i' - \frac{(O_{WBi}' - O_{UAi}')(O_{WBi}' - O_{UAi}')^T}{(O_{WBi}' - O_{UAi}')^T (O_{WBi}' - O_{UAi}')} (C_i' - O_{UAi}') \right\| (i = 1,2,3\ldots) \quad (36)$$

[0246] 캠 샤프트 감지 샤프트 세그먼트의 동축도 ϕt 는 획득된 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d_i' 에서의 최대값 $d_{\max}'$ 와 최소값 $d_{\min}'$ 의 차이값을 통해 구하되, 계산 공식은 다음과 같다.

[0247] $$\phi t = d_{\max}' - d_{\min}' \quad (37)$$

[0248] 공작물의 회전 편심으로 인한 영향을 및 이동 공작물의 번거로운 공정을 방지할 수 있다.

[0249] 단계 (6)에서, 라인 레이저 측정기는 캠 샤프트 캠의 볼록 피치에 대한 연속 데이터 수집을 수행하되, 수집된 데이터를 계산 및 분석하여 캠 샤프트 캠 윤곽도 가공 정밀도를 획득한다.

[0250] 라인 레이저 측정기를 캠의 볼록 피치로 이동하고, 작은 거리를 이동할 때마다 데이터 수집을 수행하여, 수집된 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 데이터 좌표를 알고리즘을 통해 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 공작물 클램핑 장치 좌표계로 변환하며, 윤곽점을 피팅한 다음, 표준 캠 윤곽과 비교하여, 윤곽도를 산출한다.

[0251] 실시예

[0252] 디젤 엔진 공장에서 생산되는 캠 샤프트를 예로 들면, 캠 샤프트의 저널 직경은 180mm이고, 길이는 1780mm이며, 런아웃 허용 오차는 0.05mm이고, 동축도 허용 오차는 0.05mm이며, 볼록 피치 윤곽도는 0.08mm이다. 따라서 감지 캠 샤프트 크기에 따라, 감지 장치의 라인 레이저 측정기는 최대 폭 320mm, 정밀도 5um 측정이 가능한 LJ-X8400 유형을 선택하고; CCD 레이저 변위 센서는 정밀도 2um, 측정 가능 범위가 400±100mm인 LK-G400 유형을 선택한다.

[0253] 감지 시스템을 툴의 일측에 안착하고, 캠 샤프트는 상기 감지 시스템에 교정된 공작물 클램핑 장치에 안착하며, 라인 레이저 측정기의 광로를 공작물의 기준 샤프트 세그먼트와 정렬하고, 위치 A, B의 라인 레이저 측정기를 작동시켜 측정하며; 위치 A에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표를 $P_{i1}(x_{i1}, 0, z_{i1}), (i = 1,2,3\cdots)$ 이라고 가정하면, 위치 A로부터의 거리가 l_{AB} 인 위치 B에서 라인 레이저 측정기에 의해 획득된 단면 윤곽의 내부점이 좌표계 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 에서의 좌표는 $P_j(x_j, l'_{AB}, z_j), (j = 1,2,3\cdots)$ 이다. 계산을 통하여 위치 A, B 단면 윤곽에 대응되는 공작물 횡단면의 중심 좌표 $O_U(x_U, 0, z_U)$ 와 $O_W(x_W, l_{AB}, z_W)$ 를 각각 획득하고, 결과를 표 1의 O_U 좌표 및 O_W 좌표에 나타내었다.

[0254] 공작물을 회전시키며, 레이저 변위 센서로 실시간 측정점의 좌표 $C_i(0, y_{Ci}, z_{Ci})(i = 1,2,3\cdots)$ 를 획득하고, 라인 레이저 측정기로 동일한 회전 위치에서의 실시간 윤곽점 데이터를 획득하며, 계산을 통하여, 기준 샤프트 세그먼트의 중심점 좌표 $O_{Ui}(x_{Ui}, 0, z_{Ui})$ 및 $O_{Wi}(x_{Wi}, l_{AB}, z_{Wi})(i = 1,2,3\cdots)$ 를 획득한다. 계산을 통하여 실시간 측정점으로부터 실시간 중심 축선까지의 거리 d_i 를 구하고, 계산을 통하여 공작물의 반경 방향 런아웃 t를 획득할 수 있으며, 결과를 표 1 내의 t값에 나타내었다.

[0255] 다음, 라인 레이저 측정기를 Y_A 축 방향을 따라 공작물 감지 샤프트 세그먼트로 이동하고, 격자 레일을 통해 이동 거리 l 를 획득하며, 계산을 통해 공작물 감지 샤프트 세그먼트 윤곽이 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서의 좌표를 획득할 수 있고, 계산을 통해 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심점의 좌표를 구할 수 있다. 다른 위치에서 여러 번 감지를 반복하면, 세그먼트 횡단면 중심 좌표점 집합을 구하여 $D_i(0, y_{Di}, z_{Di})(i = 1,2,3\cdots)$ 로 기록할 수 있고;

계산을 통해 감지 샤프트 세그먼트 횡단면 중심 좌표점에서 기준 세그먼트 중심 축선까지의 거리 d_i 를 구할 수 있으며, 계산을 통해 공작물 감지 샤프트 세그먼트의 동축도 ϕt 를 구할 수 있고, 결과를 표 1의 ϕt 값에 나타내었다.

[0256] 라인 레이저 측정기를 캠의 볼록 피치로 이동하고, 작은 거리를 이동할 때마다 데이터 수집을 수행하여, 수집된 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계에서 데이터 좌표를 컴퓨터 시스템 알고리즘을 통해 $O_S - X_S Y_S Z_S$ 공작물 및 클램핑 시스템 좌표계로 변환한다. 시스템의 2차원 또는 3차원 소프트웨어를 이용하여 윤곽점을 피팅한 다음, 설계된 표준 캠 윤곽과 비교하여, 윤곽도를 산출하며, 결과를 표 1의 윤곽도값에 나타내었다.

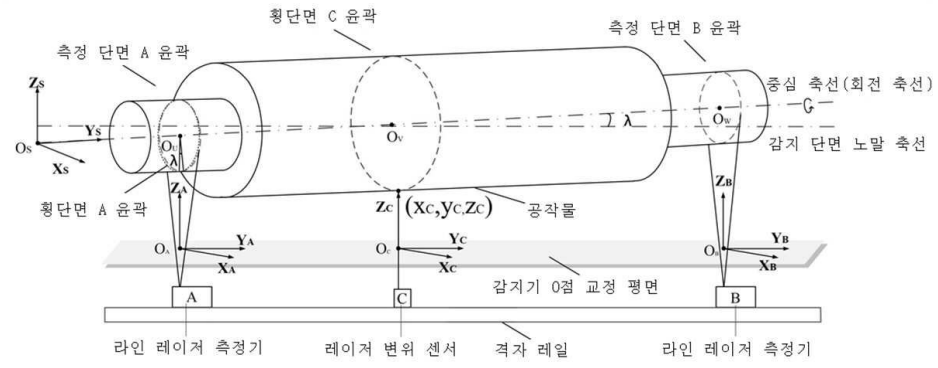
[0257] 표 1 축 감지 결과 부분 데이터

[0258]

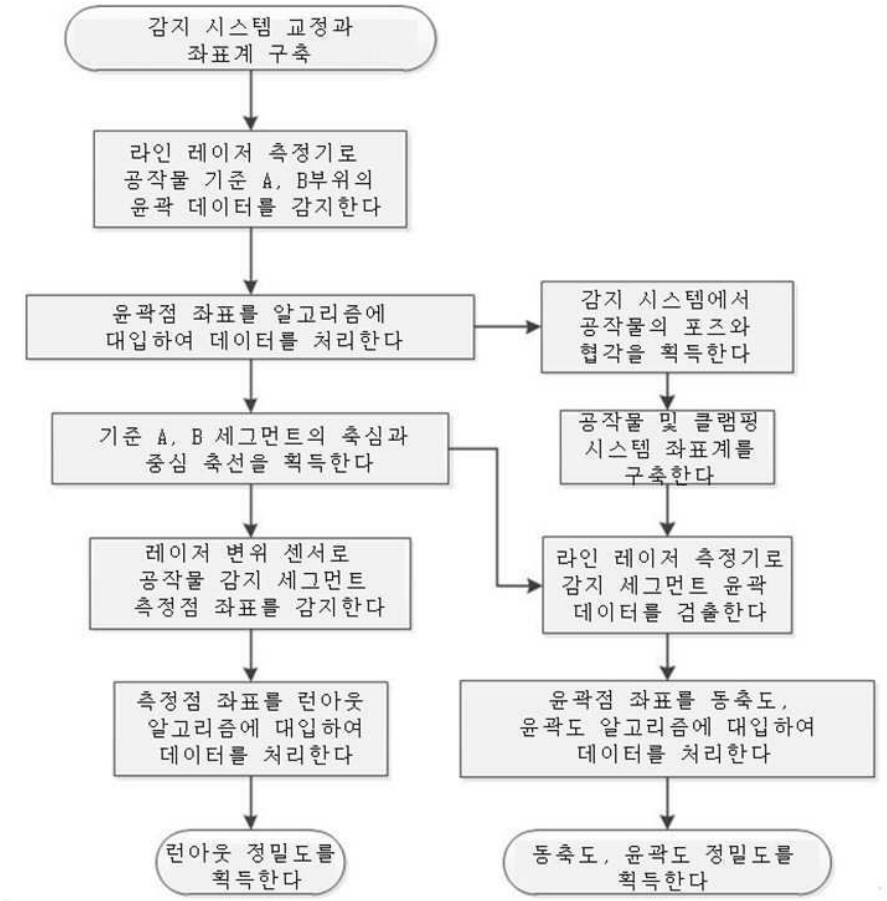
번호	O_U 좌표	O_W 좌표	λ(°)	φ(°)	t(㎜)	ϕt (㎜)	윤곽도(㎜)	...
1	(22.992, 0.000, 510.193)	(64.947, 1600.022, 426.341)	2.847	33.720	0.038	0.029	0.056	
2	(23.254, 10.012, 509.669)	(65.209, 1610.038, 425.817)	2.853	33.731	0.042	0.041	0.063	
3	(23.778, 30.029, 508.621)	(65.733, 1630.045, 424.768)	2.848	33.728	0.039	0.036	0.058	
4	(24.303, 50.033, 507.573)	(66.258, 1650.021, 423.721)	2.843	33.723	0.037	0.032	0.052	
5	(24.565, 60.021, 507.049)	(66.520, 1660.045, 423.196)	2.846	33.712	0.035	0.025	0.061	
6	(24.827, 70.013, 506.525)	(66.782, 1670.027, 422.672)	2.850	33.721	0.040	0.031	0.065	
7	(25.089, 80.047, 506.001)	(67.044, 1680.034, 422.148)	2.845	33.715	0.038	0.026	0.059	
...								
극차	—	—	0.001	0.019	0.007	0.016	0.013	
평균	—	—	2.847	33.721	0.0384	0.031	0.059	

도면

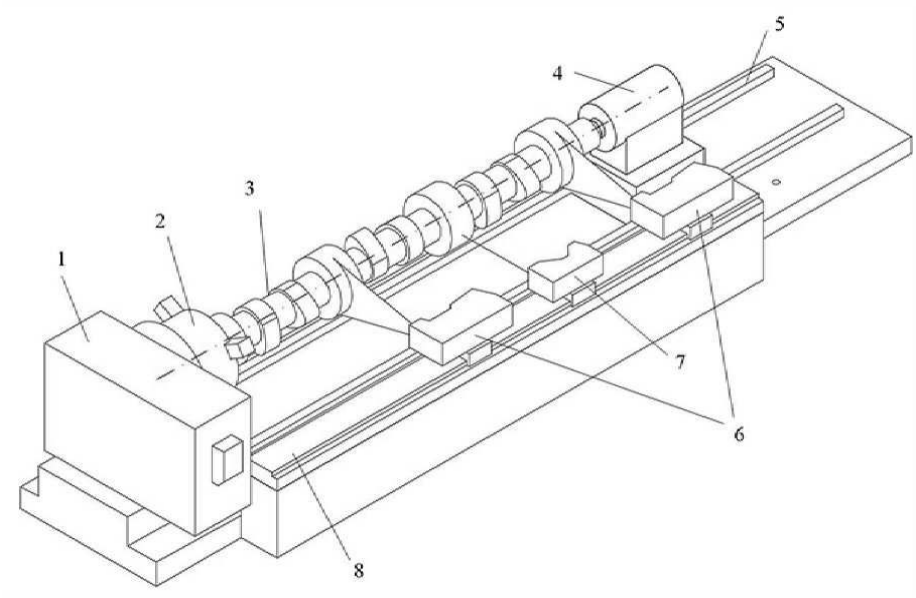
도면1



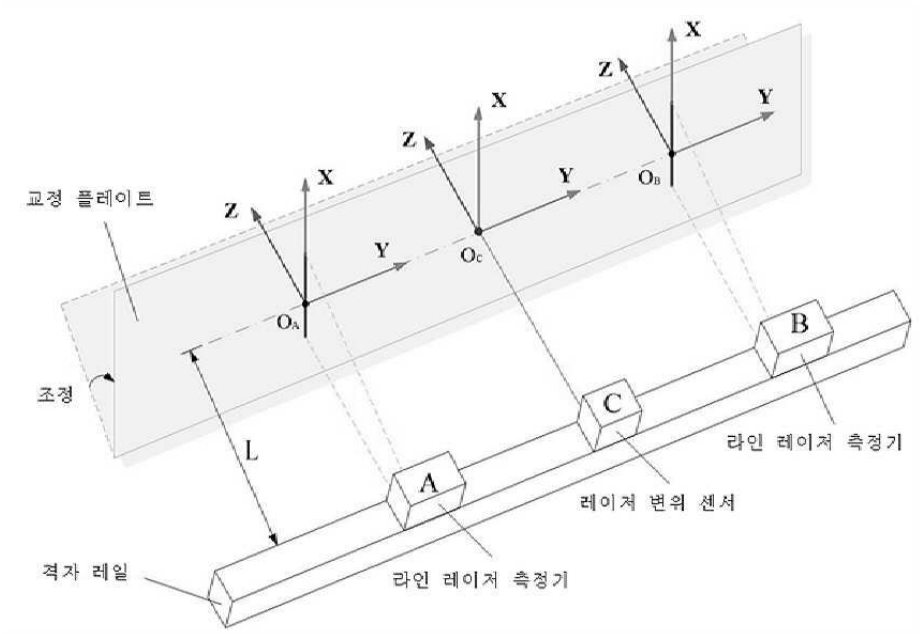
도면2


감지 시스템 교정과
좌표계 구축
라인 레이저 측정기로
공작물 기준 A, B부위의
윤곽 데이터를 감지한다
윤곽점 좌표를 알고리즘에
대입하여 데이터를 처리한다
감지 시스템에서
공작물의 포즈와
협각을 획득한다
기준 A, B 세그먼트의 축심과
중심 축선을 획득한다
공작물 및 클램핑
시스템 좌표계를
구축한다
레이저 변위 센서로
공작물 감지 세그먼트
측정점 좌표를 감지한다
라인 레이저 측정기로
감지 세그먼트 윤곽
데이터를 검출한다
측정점 좌표를 런아웃
알고리즘에 대입하여
데이터를 처리한다
윤곽점 좌표를 동축도,
윤곽도 알고리즘에 대입하여
데이터를 처리한다
런아웃 정밀도를
획득한다
동축도, 윤곽도 정밀도를
획득한다

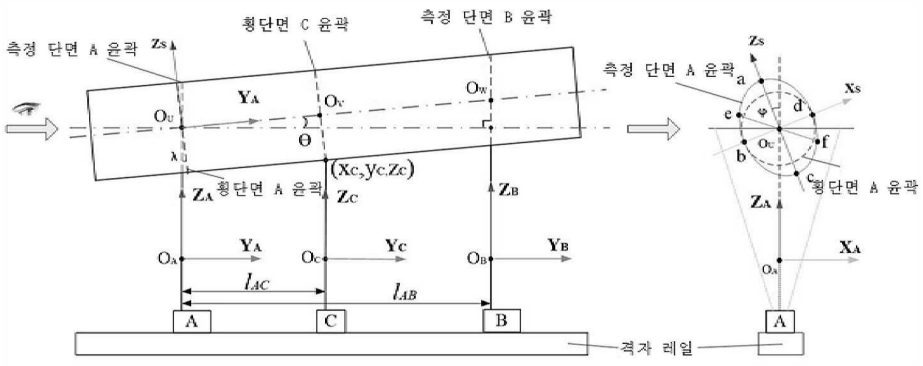
도면3


1
2
3
4
5
6
7
8

도면4


교정 플레이트
조정
L
격자 레일
라인 레이저 측정기
레이저 변위 센서
라인 레이저 측정기
A
B
C
X
Y
Z
OA
OB
OC

도면5


측정 단면 A 윤곽
횡단면 C 윤곽
측정 단면 B 윤곽
Zs
YA
OC
OW
θ
(Xc,Yc,Zc)
ZA
횡단면 A 윤곽
ZC
ZB
OA
YC
OB
YB
lAC
lAB
A
C
B
격자 레일
측정 단면 A 윤곽
Xs
a
b
c
d
e
f
φ
XA