

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7532848号  
(P7532848)

(45)発行日 令和6年8月14日(2024.8.14)

(24)登録日 令和6年8月5日(2024.8.5)

(51)国際特許分類	F I
B 2 3 F 5/16 (2006.01)	B 2 3 F 5/16
B 2 3 F 23/12 (2006.01)	B 2 3 F 23/12
G 0 5 B 19/4093(2006.01)	G 0 5 B 19/4093 H
G 0 5 B 19/4069(2006.01)	G 0 5 B 19/4069

請求項の数 12 (全23頁)

(21)出願番号	特願2020-60969(P2020-60969)	(73)特許権者	000001247 株式会社ジェイテクト 愛知県刈谷市朝日町一丁目1番地
(22)出願日	令和2年3月30日(2020.3.30)	(74)代理人	110000648 弁理士法人あいち国際特許事務所
(65)公開番号	特開2021-11011(P2021-11011A)	(74)代理人	110000604 弁理士法人 共立特許事務所
(43)公開日	令和3年2月4日(2021.2.4)	(72)発明者	吉永 克仁 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
審査請求日	令和5年2月17日(2023.2.17)	(72)発明者	柴田 英紀 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
(31)優先権主張番号	特願2019-127052(P2019-127052)	審査官	中川 康文
(32)優先日	令和1年7月8日(2019.7.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 歯車加工支援装置及び歯車加工装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

工作物の中心軸線回りへの前記工作物の回転と加工用工具の中心軸線回りへの前記加工用工具の回転とを同期させながら、前記工作物と前記加工用工具を相対移動させて、前記工作物に歯車の歯を加工するときに加工支援する歯車加工支援装置であって、

前記歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、パイアス及びねじれ角の少なくとも2つ目標修整量を記憶する目標修整量記憶部と、

前記修整要素のうち少なくとも2つが前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量に近似するように、加工動作中における加工制御要素の補正量を決定する補正量決定部と、

を備える、歯車加工支援装置。

【請求項2】

工作物の中心軸線回りへの前記工作物の回転と加工用工具の中心軸線回りへの前記加工用工具の回転とを同期させながら、前記工作物と前記加工用工具を相対移動させて、前記工作物に歯車の歯を加工するときに加工支援する歯車加工支援装置であって、

前記歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、パイアス及びねじれ角の少なくとも2つ目標修整量を記憶する目標修整量記憶部と、

前記修整要素のうち少なくとも2つが前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量に近似するように、加工動作中における加工制御要素の補正量を決定する補正量決定部と、

前記加工制御要素を変化させたときの前記歯車の歯面形状に基づいて、前記修整要素と前記加工制御要素との相関を算出する相関算出部と、を備え、

前記補正量決定部は、前記相関算出部で算出した前記相関に基づいて、前記加工制御要素の補正量を決定する、歯車加工支援装置。

【請求項 3】

工作物の中心軸線回りへの前記工作物の回転と加工用工具の中心軸線回りへの前記加工用工具の回転とを同期させながら、前記工作物と前記加工用工具を相対移動させて、前記工作物に歯車の歯を加工するときに加工支援する歯車加工支援装置であって、

前記歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、ピアス、ねじれ角、圧力角及び歯形丸みの少なくとも2つ目標修整量を記憶する目標修整量記憶部と、

前記修整要素のうち少なくとも2つが前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量に近似するように、加工動作中における加工制御要素の補正量を決定する補正量決定部と、を備え、

前記加工用工具と前記工作物の加工点が、前記加工用工具の中心軸線と前記工作物の中心軸線との成す交差角を作るための軸に向かって移動することで、前記工作物に前記歯車の歯を加工する場合、

前記交差角を作るための軸の中心軸線と前記加工点との距離を算出する加工点距離算出部と、

算出した前記距離に基づいて、加工動作中における前記加工点の位置を算出する加工点位置算出部と、を備える、歯車加工支援装置。

【請求項 4】

前記歯車加工支援装置は、さらに、

前記補正量決定部で決定した前記加工制御要素の補正量を用いて前記歯車の歯面形状を算出する歯面形状算出部と、

前記歯面形状算出部で算出した前記歯面形状と前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量とを比較して誤差を算出する形状誤差算出部と、

を備え、

前記補正量決定部は、前記形状誤差算出部で算出した前記誤差が許容値外のとき、前記加工制御要素の補正量を変更して決定する、請求項 1 - 3 の何れか一項に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 5】

前記歯車加工支援装置は、さらに、

前記加工制御要素を変化させたときの前記歯車の歯面形状に基づいて、前記修整要素と前記加工制御要素との相関を算出する相関算出部を備え、

前記補正量決定部は、前記相関算出部で算出した前記相関に基づいて、前記加工制御要素の補正量を決定する、請求項 1 又は 3 に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 6】

前記加工制御要素は、前記加工用工具の中心軸線と前記工作物の中心軸線との中心間距離、前記加工用工具の中心軸線と前記工作物の中心軸線との成す交差角、前記加工用工具と前記工作物の加工点を前記工作物の周方向にずらしたときのオフセット角、及び、前記加工用工具の回転角に対する前記工作物の回転角であり、

前記補正量決定部は、前記加工制御要素のうち少なくとも2つの補正量を決定する、請求項 1 - 5 の何れか一項に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 7】

前記補正量決定部は、前記クラウニングの修整量に基づいて、前記加工制御要素の補正量を決定する、請求項 1 - 6 の何れか一項に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 8】

前記補正量決定部は、前記ピアスの修整量に基づいて、前記加工制御要素の補正量を決定する、請求項 7 に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

前記補正量決定部は、前記ねじれ角に基づいて、前記加工制御要素の補正量を決定する、請求項 8 に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 10】

前記加工用工具と前記工作物の加工点が、前記加工用工具の中心軸線と前記工作物の中心軸線との成す交差角を作るための軸に向かって移動することで、前記工作物に前記歯車の歯を加工する場合、

前記交差角を作るための軸の中心軸線と前記加工点との距離を算出する加工点距離算出部と、

算出した前記距離に基づいて、加工動作中における前記加工点の位置を算出する加工点位置算出部と、を備える、請求項 1 又は 2 に記載の歯車加工支援装置。

10

【請求項 11】

前記加工点位置算出部は、前記補正量決定部で決定した前記加工制御要素である前記交差角の補正量を含む補正交差角に応じて、前記加工点が前記工作物の中心軸線上に位置するように、前記加工制御要素である前記加工用工具と前記工作物の相対移動位置を算出する、請求項 3 又は 10 に記載の歯車加工支援装置。

【請求項 12】

請求項 1 - 11 の何れか一項に記載の歯車加工支援装置を備える歯車加工装置であって、前記補正量決定部で決定した前記加工制御要素の補正量に基づいて、前記歯車の歯の加工を制御する加工制御部を備える、歯車加工装置。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、歯車加工支援装置及び歯車加工装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

歯車は、負荷を受けると歯や軸の変形で噛み合い状態が悪化し、騒音が発生する場合がある。歯車は、負荷時に理想的な噛み合いになるようにして、静粛性を向上させる要求が高まっており、歯の歯面形状を修整する必要がある。歯車の歯の歯面形状の修整要素としては、例えば、クラウニング、バイアス、ねじれ角、圧力角及び歯形丸みがある（特許文献 1 - 3 参照）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2012 - 152837 号公報

【文献】特開平 5 - 274027 号公報

【文献】特開平 8 - 197332 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

歯車の歯の歯面形状の修整では、加工用工具の中心軸線と工作物の中心軸線との中心間距離を変化させてクラウニングを修整すると、バイアスも同時に修整されてしまうという不具合が発生する。クラウニングの修整量とバイアスの修整量は比例関係にあり、クラウニングの修整量を決めるとバイアスの修整量も決まってしまう。このため、複数の修整要素を目標修整量に近似させることは困難であり、設計できる歯面形状の自由度が著しく低下するという問題がある。よって、現状は、トライアンドエラーで歯面形状の修整を行った後、修整した歯面形状を有する歯車の歯の加工を行っており、加工時間が掛かるという問題がある。

40

【0005】

本発明は、歯車の歯の歯面形状の複数の修整要素を目標修整量に近似できる歯車加工支援装置、及び目標修整量に近似させた修整要素の歯面形状を有する歯車の歯を加工できる

50

歯車加工装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

(歯車加工支援装置)

本発明の第一の態様は、工作物の中心軸線回りへの前記工作物の回転と加工用工具の中心軸線回りへの前記加工用工具の回転とを同期させながら、前記工作物と前記加工用工具を相対移動させて、前記工作物に歯車の歯を加工するときに加工支援する歯車加工支援装置であって、

前記歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、バイアス及びねじれ角の少なくとも2つの目標修整量を記憶する目標修整量記憶部と、

前記修整要素のうち少なくとも2つが前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量に近似するように、加工動作中における加工制御要素の補正量を決定する補正量決定部と、を備える、歯車加工支援装置にある。

本発明の第二の態様は、工作物の中心軸線回りへの前記工作物の回転と加工用工具の中心軸線回りへの前記加工用工具の回転とを同期させながら、前記工作物と前記加工用工具を相対移動させて、前記工作物に歯車の歯を加工するときに加工支援する歯車加工支援装置であって、

前記歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、バイアス及びねじれ角の少なくとも2つ目標修整量を記憶する目標修整量記憶部と、

前記修整要素のうち少なくとも2つが前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量に近似するように、加工動作中における加工制御要素の補正量を決定する補正量決定部と、

前記加工制御要素を変化させたときの前記歯車の歯面形状に基づいて、前記修整要素と前記加工制御要素との相関を算出する相関算出部と、を備え、

前記補正量決定部は、前記相関算出部で算出した前記相関に基づいて、前記加工制御要素の補正量を決定する、歯車加工支援装置にある。

本発明の第三の態様は、工作物の中心軸線回りへの前記工作物の回転と加工用工具の中心軸線回りへの前記加工用工具の回転とを同期させながら、前記工作物と前記加工用工具を相対移動させて、前記工作物に歯車の歯を加工するときに加工支援する歯車加工支援装置であって、

前記歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、バイアス、ねじれ角、圧力角及び歯形丸みの少なくとも2つ目標修整量を記憶する目標修整量記憶部と、

前記修整要素のうち少なくとも2つが前記目標修整量記憶部に記憶されている前記目標修整量に近似するように、加工動作中における加工制御要素の補正量を決定する補正量決定部と、を備え、

前記加工用工具と前記工作物の加工点が、前記加工用工具の中心軸線と前記工作物の中心軸線との成す交差角を作るための軸に向かって移動することで、前記工作物に前記歯車の歯を加工する場合、

前記交差角を作るための軸の中心軸線と前記加工点との距離を算出する加工点距離算出部と、

算出した前記距離に基づいて、加工動作中における前記加工点の位置を算出する加工点位置算出部と、を備える、歯車加工支援装置にある。

【0007】

歯車の歯の歯面形状の修整要素は、工作物に歯車の歯を加工する動作中における加工制御要素を変化させることで変化する。よって、複数の修整要素を目標修整量に近似させるように加工制御要素の補正量を決定でき、設計できる歯面形状の自由度を高めることができる。

【0008】

(歯車加工装置)

本発明の歯車加工装置は、歯車加工支援装置を備える歯車加工装置であって、前記補正

10

20

30

40

50

量決定部で決定した前記加工制御要素の補正量に基づいて、前記歯車の歯の加工を制御する加工制御部を備える。決定された加工制御要素の補正量に基づいて工作物に歯車の歯を加工することで、修整した歯面形状を有する歯車の歯の加工時間（加工検討時間）の短縮化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】歯車加工装置の構成を示す図である。

【図2A】ギヤスカイピング加工における工作物と加工用工具において、交差角を設定したときを加工用工具の径方向に見た図である。

【図2B】図2Aを加工用工具の中心軸線方向に見た図である。

【図3A】ギヤスカイピング加工の動作を説明する図であって、加工用工具の径方向に見た図である。

【図3B】図3Aを加工用工具の中心軸線方向に見た図である。

【図4A】修整要素のクラウニングの修整量を示す図である。

【図4B】修整要素のバイアスの修整量を示す図である。

【図4C】修整要素のねじれ角の修整量を示す図である。

【図4D】修整要素の圧力角の修整量を示す図である。

【図4E】修整要素の歯形丸みの修整量を示す図である。

【図5A】加工用工具の中心軸線と工作物の中心軸線との中心間距離を放物線状に変化させる運動を示す図である。

【図5B】加工用工具の中心軸線と工作物の中心軸線との成す交差角を直線状に変化させる運動を示す図である。

【図5C】加工用工具の回転角に対する工作物の回転角を直線状に変化させる運動を示す図である。

【図6A】Y軸の変化量とクラウニングの形成量との相関、Y軸の変化量とバイアスの形成量との相関、及び、Y軸の変化量とねじれ角の形成量との相関を示す図である。

【図6B】B軸の変化量とクラウニングの形成量との相関、B軸の変化量とバイアスの形成量との相関、B軸の変化量とねじれ角との相関を示す図である。

【図6C】Cw軸の変化量とクラウニングの形成量との相関、Cw軸の変化量とバイアスの形成量との相関、Cw軸の変化量とねじれ角の形成量との相関を示す図である。

【図6D】X、Y軸の変化量とクラウニングの形成量との相関、X、Y軸の変化量とバイアスの形成量との相関、X、Y軸の変化量とねじれ角の形成量との相関を示す図である。

【図7】インポリュート歯面を直交座標系（X方向 Y方向 Z方向）上で示した場合と半径方向と歯幅（Z）方向の平面座標系にて置き換え、誤差を縦軸で示した場合の図である。

【図8】歯車加工支援装置の構成を示す図である。

【図9】歯車加工支援装置を構成する相関算出部による処理を示すフローチャートである。

【図10】歯車加工支援装置による補正量決定処理を示すフローチャートである。

【図11A】B軸により交差角  $\theta_1$  を作る場合における工作物と加工用工具の位置を示す図である。

【図11B】B軸により作られる交差角を  $\theta$  とした場合における工作物と加工用工具の位置を示す図である。

【図11C】加工開始から  $L$   $\theta$  だけ離れた  $P$   $\theta$  に移動したときの工作物と加工用工具の位置を示す図である。

【図12A】歯幅と工作物旋回角との関係を示す図である。

【図12B】歯幅の位置と工作物旋回角の補正量との関係を示す図である。

【図12C】歯幅の位置と補正量を含む工作物旋回角との関係を示す図である。

【図12D】歯幅の位置とX座標値との関係を示す図である。

【図12E】歯幅の位置とZ座標値との関係を示す図である。

【図13】別形態の歯車加工支援装置の構成を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 4 A】別形態の歯車加工支援装置による補正量決定処理を示すフローチャートである。

【図 1 4 B】別形態の歯車加工支援装置による補正量決定処理を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

(1. 歯車加工装置 10 の構成)

歯車加工装置の構成について図 1 を参照して説明する。図 1 に示すように、歯車加工装置 10 は、例えば、工作物 W と加工用工具 T の相対的な位置及び姿勢を変化させる駆動軸として、3 つの直進軸及び 2 つの回転軸を有する 5 軸マシニングセンタである。本例では、歯車加工装置 10 は、直進軸としての直交 3 軸 (X 軸, Y 軸, Z 軸)、並びに、回転軸としての B 軸及び C w 軸を有する。本例においては、B 軸は、Y 軸線に平行な回転テーブル 14 の中心軸線 R B 回りの回転軸であり、C w 軸は、工作物 W の中心軸線 R W 回りの回転軸である。なお、歯車加工装置 10 は、加工用工具 T の中心軸線 R T 回りの回転軸である C t 軸を有し、C t 軸を含めると 6 軸マシニングセンタとなる。

10

【0011】

歯車加工装置 10 は、加工用工具 T を支持して C t 軸に回転可能であり、且つ、Y 軸方向及び Z 軸方向にそれぞれ移動可能な工具主軸 11 を備える。さらに、歯車加工装置 10 は、工作物 W を支持して C w 軸に回転可能であり、且つ、B 軸に回転可能であり、X 軸方向に移動可能な工作物主軸 12 を備える。歯車加工装置 10 は、歯車の歯の加工の動作制御を行う加工制御部 13 等を備える。本例では、加工制御部 13 は、スカイピング加工により工作物 W に歯車の歯を加工する制御を行う場合について説明する。但し、ネジ状砥石による歯車研削やホブ加工による歯車切削にも適用できる。なお、上記構成に限定されず、工具主軸 11 と工作物主軸 12 は相対移動可能な構成であればよい。

20

【0012】

(2. スカイピング加工)

スカイピング加工について、図 2 A、図 2 B、図 3 A 及び図 3 B を参照して説明する。スカイピング加工は、図 2 A 及び図 2 B に示すように、加工用工具 T の中心軸線 R T を工作物 W の中心軸線 R W に平行な軸線に対して交差角  $\theta$  を有する状態にする。また、X 軸方向から見た場合に、加工用工具 T の中心軸線 R T と工作物 W の中心軸線 R W とは平行である。そして、加工用工具 T の中心軸線 R T と工作物 W の中心軸線 R W の中心間距離を D とする。

30

【0013】

そして、図 3 A 及び図 3 B に示すように、工作物 W の中心軸線 R W 回りへの工作物 W の回転と加工用工具 T の中心軸線 R T 回りへの加工用工具 T の回転とを同期させながら、加工用工具 T を工作物 W に対して工作物 W の中心軸線 R W 方向に送ることで、工作物 W に歯車の歯を加工する方法である。スカイピング加工においては、工作物 W が 1 回転する間に、工作物 W の各歯溝の部分が、加工用工具 T によって 1 回だけ加工される。

【0014】

(3. 歯面修整要素)

歯車の歯面形状を修整する場合における歯面修整要素について、図 4 A - 図 4 E を参照して説明する。図 4 A - 図 4 E に示すように、歯車の歯 G の歯面 G f の形状の修整要素としては、クラウニング (図 4 A)、バイアス (図 4 B)、ねじれ角 (図 4 C)、圧力角 (図 4 D) 及び歯形丸み (図 4 E) がある。ここで、クラウニングとは、歯すじ方向において歯幅の中央部が両端部よりも高くなるようにすることである。バイアスとは、歯すじ方向に圧力角を連続的に変化させ、歯面にねじれを持たせることである。

40

【0015】

図 4 A に示すように、クラウニングの修整量 M c は、歯 G の歯面 G f において歯すじ方向の評価範囲 D c の中央位置 (本例では、歯厚中央位置) の基準円が通る部位の距離で表される。図 4 B に示すように、バイアスの修整量 M b は、歯 G の歯面 G f において歯すじ

50

方向の評価範囲  $D_b$  の両端位置（本例では、歯厚中央から両側に  $D_b / 2$  の位置）の圧力角  $M_{p1}$  ,  $M_{p2}$  の差の二分の一の角度で表される。

【0016】

図4Cに示すように、ねじれ角の修整量  $M_h$  は、歯  $G$  の歯面  $G_f$  において歯すじ方向の評価範囲  $D_h$  の両端位置（本例では、歯の一端面の位置と歯厚中央位置）の基準円が通る部位の歯すじ方向の角度で表される。図4Dに示すように、圧力角の修整量  $M_p$  は、歯  $G$  の歯面  $G_f$  において歯すじ方向の評価範囲  $D_p$  の中央位置（本例では、歯厚中央位置）の歯たけ方向の角度で表される。図4Eに示すように、歯形丸みの修整量  $M_r$  は、歯  $G$  の歯面  $G_f$  において歯すじ方向の評価範囲  $D_r$  の中央位置（本例では、歯厚中央位置）の基準円が通る部位の距離で表される。

10

【0017】

（4．歯面修整方法の基本）

歯面形状の修整要素のうち、圧力角及び歯形丸みは、歯形方向の修整であり、工具形状の転写となる。すなわち、加工用工具  $T$  の刃形、刃数、転位係数、ねじれ角（交差角）、刃付け角、すくい角等の工具諸元で修整可能である。一方、クラウニング、バイアス及びねじれ角は、歯幅方向の修整であり、歯車加工装置 10 の運動軌跡の転写となる。すなわち、歯車加工装置 10 の加工制御要素である  $C_w$  軸、 $B$  軸、 $X$  軸及び  $Y$  軸で修整可能である。なお、圧力角及び歯形丸みも、歯車加工装置 10 の加工制御要素で修整可能であるが、本例では加工用工具  $T$  の工具刃形（諸元）に基づいて修整する。

【0018】

具体的には、クラウニングは、図5Aに示すように、加工用工具  $T$  の中心軸線  $R_T$  と工作物  $W$  の中心軸線  $R_W$  との中心間距離  $D$ （図2B及び図3Bに示す）を歯幅方向に放物線状に変化させて運動させることで形成できる。従って、クラウニングは、歯車加工装置 10 では  $Y$  軸の動作を制御することで修整できる。

20

【0019】

バイアスは、図5Bに示すように、加工用工具  $T$  の中心軸線  $R_T$  と工作物  $W$  の中心軸線  $R_W$  との成す交差角を歯幅方向に直線状に変化させて運動させることで形成できる。従って、バイアスは、加工用工具  $T$  を  $Y$  軸に平行な軸線回りに回転させる動作を制御することで修整できる。ただし、歯車加工装置 10 では、加工用工具  $T$  は回転しないので、工作物  $W$  の回転軸である  $B$  軸の動作（工作物回転角（交差角））を制御することで修整できる。ここで、加工点  $P$  とは、加工用工具  $T$  の刃先円と工作物  $W$  の歯底円が接する点のことである。

30

【0020】

また、図示省略するが、バイアスは、加工用工具  $T$  と工作物  $W$  の加工点を工作物  $W$  の周方向にずらしたときのオフセット角を歯幅方向に変化させても形成できるので、歯車加工装置 10 では  $X$  軸及び  $Y$  軸の動作を制御することで修整できる。

【0021】

ねじれ角は、図5Cに示すように、加工用工具  $T$  の回転角に対する工作物  $W$  の回転角を歯幅方向に直線状に変化させて運動させることで形成できる。従って、ねじれ角は、歯車加工装置 10 では  $C_w$  軸の動作を制御することで修整できる。なお、図5A - 図5Cの横軸は、加工用工具  $T$  と工作物  $W$  の加工点の歯幅の位置、すなわち歯の一端面側における右歯面の位置（加工開始位置）から歯の他端面側における右歯面の位置（加工終了位置）までを示している。

40

【0022】

（5．修整要素と加工制御要素との相関）

次に、各修整要素と各加工制御要素との相関について、図6A - 図6Dを参照して説明する。ここで、各修整要素と各加工制御要素との相関は、加工用工具  $T$  の諸元によって異なる。そして、加工用工具  $T$  の工具諸元は、工作物  $W$  に加工する歯車諸元に基づいて決定される。従って、図6A - 図6Dに示す各相関は、ある加工用工具  $T$  における相関を表し、加工用工具  $T$  が異なれば、異なる相関を示す。また、修整要素は、クラウニング、バイ

50

アス及びねじれ角を例示し、加工制御要素は、Y軸、B軸、Cw軸、オフセット角(X, Y軸による同期2軸)を例示する。

【0023】

図6Aは、Y軸の変化量Yとクラウニングの形成量 $M_c$ との相関、Y軸の変化量Yとバイアスの形成量 $M_b$ との相関、及び、Y軸の変化量Yとねじれ角の形成量 $M_h$ との相関を示す。各相関は、Y軸のみを基準加工制御要素から変化させた状態で歯車加工シミュレーションを行った場合に、歯車加工シミュレーションにより得られた歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて算出される。

【0024】

例えば、各相関は、歯車加工シミュレーションにより得られた歯車の歯面形状に基づいて、修整要素と加工制御要素との相関を例えば2次関数で算出する。具体的には、歯車加工シミュレーションにより得られた歯車の歯面形状と基準の歯面形状であるインボリュートヘリコイドの歯面との誤差を算出し、算出した誤差と当該加工制御要素(Y軸)の変化量との相関を算出する。

10

【0025】

詳しくは、まず、歯車加工シミュレーションにより、加工制御要素であるY軸を少しずつ変化させて複数の歯面形状を算出する。この処理は、逐次行って歯面の全体形状を算出する。そして、相関は、各歯面形状の修整要素であるクラウニング、バイアス及びねじれ角の各形成量 $M_c$ ,  $M_b$ ,  $M_h$ を算出し、算出したクラウニング、バイアス及びねじれ角の各形成量 $M_c$ ,  $M_b$ ,  $M_h$ と、加工制御要素であるY軸の変化量Yとを対応させてグラフを作成する。

20

【0026】

また、Y軸の変化量Yは、基準値から正方向に複数変化させた値と、基準値から負方向に複数変化させた値とを含む。図6Aに示すように、Y軸を変化させると、クラウニングを大きく変化させることができる。ただし、Y軸を変化させると、バイアス及びねじれ角も変化する。

【0027】

ここで、歯車加工シミュレーションは、例えば、特開2017-144502号公報等に記載されている。基準加工制御要素とは、クラウニング、バイアス、修整ねじれ角、圧力角及び歯形丸みを付与していない歯車を加工するための加工制御要素である。なお、修整ねじれ角とは、歯車の諸元である基準ねじれ角に対するねじれ角を意味する。

30

【0028】

図6Bは、B軸の変化量Bとクラウニングの形成量 $M_c$ との相関、B軸の変化量Bとバイアスの形成量 $M_b$ との相関、及び、B軸の変化量Bとねじれ角の形成量 $M_h$ との相関を示す。各相関は、B軸のみを基準加工制御要素から変化させた状態で歯車加工シミュレーションを行った場合に、歯車加工シミュレーションにより得られた歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて算出される。

【0029】

クラウニング、バイアス及びねじれ角の各形成量 $M_c$ ,  $M_b$ ,  $M_h$ と、加工制御要素であるB軸の変化量Bとを対応させたグラフは、実質的に、上述したY軸と同様に作成される。B軸の変化量Bは、基準値から正方向に複数変化させた値と、基準値から負方向に複数変化させた値とを含む。図6Bに示すように、B軸を変化させると、バイアスを大きく変化させることができる。ただし、B軸を変化させると、クラウニング及びバイアスが僅かに変化する。

40

【0030】

図6Cは、Cw軸の変化量Cwとクラウニングの形成量 $M_c$ との相関、Cw軸の変化量Cwとバイアスの形成量 $M_b$ との相関、及び、Cw軸の変化量Cwとねじれ角の形成量との相関を示す。各相関は、Cw軸のみを基準加工制御要素から変化させた状態で歯車加工シミュレーションを行った場合に、歯車加工シミュレーションにより得られた歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて算出される。

50

## 【 0 0 3 1 】

クラウニング、バイアス及びねじれ角の各形成量  $M_c$  ,  $M_b$  ,  $M_h$  と、加工制御要素である  $C_w$  軸の変化量  $C_w$  とを対応させたグラフは、実質的に、上述した  $Y$  軸と同様に作成される。 $C_w$  軸の変化量  $C_w$  は、基準値から正方向に複数変化させた値と、基準値から負方向に複数変化させた値とを含む。図 6 C に示すように、 $C_w$  軸を変化させると、ねじれ角を大きく変化させることができる。なお、 $C_w$  軸を変化させたときには、クラウニング及びバイアスはほとんど変化しない。

## 【 0 0 3 2 】

図 6 D は、オフセット角の変化量と各修整要素との相関を示す。ここで、オフセット角とは、加工用工具  $T$  と工作物  $W$  の加工点を工作物  $W$  の周方向にずらしたときの角度である。従って、オフセット角は、 $X$  軸と  $Y$  軸とを同期させることにより表すことができる。つまり、オフセット角の変化量は、 $X$  軸と  $Y$  軸の同期 2 軸による変化量  $X$  ,  $Y$  により表すことができる。以下、オフセット角の変化量は、 $X$  ,  $Y$  と表す。

10

## 【 0 0 3 3 】

つまり、図 6 D は、オフセット角の変化量  $X$  ,  $Y$  とクラウニングの形成量  $M_c$  との相関、オフセット角の変化量  $X$  ,  $Y$  とバイアスの形成量  $M_b$  との相関、オフセット角の変化量  $X$  ,  $Y$  とねじれ角の形成量  $M_h$  との相関を示す。各相関は、オフセット角のみを基準加工制御要素から変化させた状態で歯車加工シミュレーションを行った場合に、歯車加工シミュレーションにより得られた歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて算出される。

20

## 【 0 0 3 4 】

クラウニング、バイアス及びねじれ角の各形成量  $M_c$  ,  $M_b$  ,  $M_h$  と、加工制御要素であるオフセット角の変化量  $X$  ,  $Y$  とを対応させたグラフは、実質的に、上述した  $Y$  軸と同様に作成される。図 6 D に示すように、オフセット角を変化させると、バイアスを大きく変化させることができる。ただし、オフセット角を変化させると、クラウニング及びねじれ角も変化する。

## 【 0 0 3 5 】

以上から、各修整要素と各加工制御要素とは、相互に影響し合っている。従って、1つの修整要素を修整する場合であっても、他の修整要素が影響を受けるため、当該他の修整要素の修整が必要となる。なお、上記においては、各加工制御要素 ( $Y$  軸、 $B$  軸、 $C_w$  軸、オフセット角) をそれぞれ単独で変化させたが、複数の要素を規定の同期条件に基づいて同期して変化させてもよい。この場合も、加工制御要素と修整要素との相関を得ることが可能となる。

30

## 【 0 0 3 6 】

( 6 . 基準歯面との誤差の算出方法 )

上述したように、各相関は、各加工制御要素を変化させたときの歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて算出される。そして、基準の歯面形状は、例えば、インボリュート歯面である。

## 【 0 0 3 7 】

ここで、図 7 ( a ) に示す歯車の歯  $G$  の歯面  $G_f$  がインボリュート歯面  $a b c d$  である場合の特徴は、歯車加工シミュレーションによる図 7 ( b ) に示す直交座標系 ( $X$  方向  $Y$  方向  $Z$  方向) 上での算出では把握し難い。そこで、インボリュート歯面  $a b c d$  は、歯車加工シミュレーションを改良して算出することで把握が容易となる。

40

## 【 0 0 3 8 】

つまり、図 7 ( c ) に示すように、インボリュート歯面  $a b c d$  は、半径方向と歯幅 ( $Z$ ) 方向の平面座標系にて平面  $a b c d$  に置き換える。置き換えられた平面  $a b c d$  との誤差 (クラウニング、バイアス及びねじれ角の形成量  $M_c$  ,  $M_b$  ,  $M_h$  ) を縦軸で表現する。なお、平面  $a b c d$  への置き換えの代わりに、作用する線のみ置き換えてもよい。

## 【 0 0 3 9 】

( 7 . 歯車加工支援装置 2 0 の構成 )

50

歯車加工支援装置 20 の構成について、図 8 - 図 9 を参照して説明する。歯車加工支援装置 20 は、歯面形状を修整して歯車の歯を加工する際の支援が可能な装置である。歯面形状の修整要素は、上述したように、クラウニング（図 4 A）、バイアス（図 4 B）、ねじれ角（図 4 C）、圧力角（図 4 D）及び歯形丸み（図 4 E）がある。ただし、歯車加工装置 10 は、当該修整要素のうち少なくとも 2 つを対象とする。

#### 【 0 0 4 0 】

図 8 に示すように、歯車加工支援装置 20 は、工具諸元記憶部 21、相関算出部 22、目標修整量記憶部 23、補正量決定部 24、歯面形状算出部 25、及び、形状誤差算出部 26 等を備える。工具諸元記憶部 21 には、工具諸元が記憶されている。工具諸元は、工作物 W に加工する歯車諸元に基づいて決定される。歯車加工支援装置 20 は、例えば、P L C（Programmable Logic Controller）や C N C（Computerized Numerical Control）装置などの組み込みシステム（マイクロコンピュータ）とすることもでき、パーソナルコンピュータやサーバなどとすることもできる。

10

#### 【 0 0 4 1 】

相関算出部 22 は、修整要素（クラウニング、バイアス、ねじれ角、圧力角及び歯形丸み）と加工制御要素（Y 軸、B 軸及び C w 軸）との相関を算出する。なお、加工制御要素は、B 軸に代えてオフセット角とすることもできる。各修整要素と各加工制御要素との相関は、図 6 A - 図 6 D に示すとおりである。

#### 【 0 0 4 2 】

ただし、各修整要素と各加工制御要素との相関は、加工用工具 T の諸元によって異なる。そこで、工具諸元記憶部 21 に記憶された加工用工具 T の諸元に基づいて、各修整要素と各加工制御要素との相関を算出する。各相関は、上述したように、歯車加工シミュレーションを用いて所定の加工制御要素を変化させたときの歯車の歯面形状に基づいて算出される。

20

#### 【 0 0 4 3 】

相関算出部 22 による処理の一例について、図 9 を参照して説明する。まず、歯車形状に基づいて決定された加工用工具 T の諸元を、工具諸元記憶部 21 から取得する（ステップ S 1）。続いて、歯車加工シミュレーションにより、加工制御要素の 1 つである Y 軸を変化させたときの複数の歯面形状を算出する（ステップ S 2）。続いて、歯車加工シミュレーションにより算出された歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて、Y 軸の変化量 Y と各修整要素との相関を算出する（ステップ S 3）。

30

#### 【 0 0 4 4 】

続いて、歯車加工シミュレーションにより、加工制御要素の 1 つである C w 軸を変化させたときの複数の歯面形状を算出する（ステップ S 4）。続いて、歯車加工シミュレーションにより算出された歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて、C w 軸の変化量 C w と各修整要素との相関を算出する（ステップ S 5）。

#### 【 0 0 4 5 】

続いて、歯車加工シミュレーションにより、加工制御要素の 1 つである B 軸を変化させたときの複数の歯面形状を算出する（ステップ S 6）。続いて、歯車加工シミュレーションにより算出された歯車の歯面形状と基準の歯面形状との誤差に基づいて、B 軸の変化量 Y と各修整要素との相関を算出する（ステップ S 7）。なお、Y 軸、C w 軸、B 軸の各相関の算出順序は、適宜変更してもよい。

40

#### 【 0 0 4 6 】

目標修整量記憶部 23 には、歯車の歯の歯面形状の修整要素であるクラウニング、バイアス及びねじれ角の目標修整量が記憶される。なお、圧力角及び歯形丸みを歯車加工装置 10 の加工制御要素で修整する場合は、圧力角及び歯形丸みの目標修整量も目標修整量記憶部 23 に記憶される。

#### 【 0 0 4 7 】

補正量決定部 24 は、修整要素であるクラウニング、バイアス及びねじれ角が目標修整量記憶部 23 に記憶されている目標修整量となるように、加工動作中における加工制御要

50

素である Y 軸、B 軸、C w 軸の補正量  $Y a$ 、 $B a$ 、 $C w a$  を決定する。なお、B 軸の補正量  $B a$  に代えて、オフセット角の補正量とすることもできる。そして、補正量決定部 2 4 は、決定した各加工制御要素である Y 軸、B 軸（又はオフセット角）、C w 軸の補正量  $Y a$ 、 $B a$ 、 $C w a$  に基づいて、加工制御部 1 3 による加工制御を支援する。

【0048】

ここで、歯車の歯 G の歯面 G f の形状の修整要素は、工作物 W に歯車の歯 G を加工する動作中における加工制御要素を変化させることで変化する。よって、修整要素が目標修整量に近似するように加工制御要素の補正量  $Y a$ 、 $B a$ 、 $C w a$  を決定でき、設計できる歯面形状の自由度を高めることができる。

【0049】

なお、補正量決定部 2 4 は、修整要素を目標修整量とするために加工制御要素の補正量を変化させているため、全ての修整要素が目標修整量の許容値内にならない場合がある。そこで、修整要素のうち少なくとも 2 つが目標修整量の許容値内になれば可とする。この加工制御要素の補正量の決定の詳細は後述する。

【0050】

歯面形状算出部 2 5 は、補正量決定部 2 4 で決定した加工制御要素である Y 軸、B 軸、C w 軸の補正量  $Y a$ 、 $B a$ 、 $C w a$  を用いて歯車の歯面形状を算出する。歯車の歯面形状は、歯車加工シミュレーション処理により算出できる。歯車加工シミュレーションは、上述した相関を算出する処理において用いたものと同様である。そして、形状誤差算出部 2 6 は、歯面形状算出部 2 5 で算出した歯面歯面形状と目標修整量記憶部 2 3 に記憶されている目標修整量とを比較してクラウニング、バイアス及びねじれ角の各誤差を算出する。これにより、歯面形状の精度を向上できる。

【0051】

補正量決定部 2 4、歯面形状算出部 2 5 及び形状誤差算出部 2 6 により行われる修整要素の補正量の決定処理について、図 10 を参照して説明する。まず、補正量決定部 2 4 が、目標修整量記憶部 2 3 に記憶されている修整要素であるクラウニング、バイアス及びねじれ角の目標修整量を取得する（ステップ S 1 1）。さらに、補正量決定部 2 4 が、相関算出部 2 2 が算出した各相関を取得する。つまり、補正量決定部 2 4 は、工具諸元に応じた相関であって、各修整要素と各加工制御要素との相関を取得する（ステップ S 1 2）。

【0052】

続いて、補正量決定部 2 4 は、Y 軸の補正量  $Y a$  を算出する（ステップ S 1 3）。例えば、補正量決定部 2 4 は、クラウニングの目標修整量と、Y 軸の変化量  $Y$  とクラウニングの形成量  $M c$  との相関（図 6 A の上段図）とに基づいて、Y 軸の補正量  $Y a$  を算出する。図 6 A のクラウニングの形成量  $M c$  が目標修整量となるとき Y 軸の変化量  $Y$  を、Y 軸の補正量  $Y a$  とする。

【0053】

続いて、補正量決定部 2 4 は、B 軸の補正量  $B a$  を算出する（ステップ S 1 4）。例えば、補正量決定部 2 4 は、バイアスの目標修整量と、B 軸の変化量  $B$  とバイアスの形成量  $M b$ （図 6 B の中段図）と、Y 軸の補正量  $Y a$  のときのバイアスの形成量  $M b$ （図 6 A の中段図）とに基づいて、B 軸の補正量  $B a$  を算出する。例えば、Y 軸の補正量  $Y a$  のときのバイアスの形成量  $M b$ （図 6 A の中段図）と、図 6 B のバイアスの形成量  $M b$  との合計が目標修整量に一致するようにした場合における、図 6 B のバイアスの形成量  $M b$  を決定する。そして、決定された図 6 B のバイアスの形成量  $M b$  のときの B 軸の変化量  $B$  を、B 軸の補正量  $B a$  とする。

【0054】

続いて、補正量決定部 2 4 は、C w 軸の補正量  $C w a$  を算出する（ステップ S 1 5）。例えば、補正量決定部 2 4 は、ねじれ角の目標修整量と、C w 軸の変化量  $C w$  とねじれ角の形成量  $M h$ （図 6 C の下段図）と、Y 軸の補正量  $Y a$  のときのねじれ角の形成量  $M h$ （図 6 A の下段図）と、B 軸の補正量  $B a$  のときのねじれ角の形成量  $M h$ （図 6 B の下段図）とに基づいて、C w 軸の補正量  $C w a$  を算出する。例えば、Y 軸の補正量

10

20

30

40

50

Y aのときのねじれ角の形成量M h (図6 Aの下段図)と、B軸の補正量 B aのときのねじれ角の形成量M h (図6 Bの下段図)と、図6 Cのねじれ角の形成量M hとの合計が、目標修整量に一致するようにした場合における、図6 Cのねじれ角の形成量M hを決定する。そして、決定された図6 Cのねじれ角の形成量M hのときのC w軸の変化量 C wを、C w軸の補正量 C w aとする。

【0055】

続いて、補正量決定部24は、クラウニング、バイアス及びねじれ角の修整量M c' , M b' , M h' を算出する(ステップS16)。各修整要素の修整量M c' , M b' , M h' は、Y軸の補正量 Y a、B軸の補正量 B a、C w軸の補正量 C w a、各相関に基づいて算出される。例えば、クラウニングの修整量M c' は、Y軸の補正量 Y aのときのクラウニングの形成量M c (図6 Aの上段図)、B軸の補正量 B aのときのクラウニングの形成量M c (図6 Bの上段図)、C w軸の補正量 C w aのときのクラウニングの形成量M c (図6 Cの上段図)の合計値により算出される。バイアス及びねじれ角の修整量M b' , M h' についても同様である。

10

【0056】

続いて、補正量決定部24は、クラウニング、バイアス及びねじれ角の修整量M c' , M b' , M h' が各目標修整量に近似したか否かを判断する(ステップS17)。補正量決定部24は、各修整量M c' , M b' , M h' が各目標修整量に近似していないときは(S17:No)、ステップS13に戻って上述の処理を繰り返す。例えば、クラウニングの修整量M c' が目標修整量からずれている場合、当該ずれ量の分を追加で修整することができるよう、各修整要素の補正量 Y a , B a , C w aを算出する。

20

【0057】

上述のように、補正量決定部24は、Y軸の補正量 Y a、B軸の補正量 B a、C w軸の補正量 C w aをこの順に算出している。この理由は、図6 A - 図6 Cに示すように、各修整要素の形成量M c , M b , M hの変化は、Y軸、B軸、C w軸の順に小さくなっているからである。すなわち、B軸は、Y軸の影響が小さく、C w軸は、Y軸及びB軸の影響が小さいからである。この関係から、簡易な演算であっても、各修整要素の修整量M c' , M b' , M h' が各目標修整量付近に早期に到達する。つまり、Y軸、B軸、C w軸の補正量 Y a , B a , C w aの決定において、ステップS13 - S17の繰り返し処理回数を減少できる。

30

【0058】

補正量決定部24は、ステップS17において各修整量M c' , M b' , M h' が各目標修整量に近似したときは(S17:Yes)、算出した加工制御要素であるY軸、B軸、C w軸の補正量 Y a , B a , C w aを決定する(ステップS18)。従って、非常に簡易な演算によって、各修整要素の補正量 Y a , B a , C w aを算出することができる。ここでいう簡易な演算とは、歯車加工シミュレーションによる演算に比べて簡易な演算を意味する。

【0059】

続いて、歯面形状算出部25が、補正量決定部24で決定した加工制御要素であるY軸、B軸、C w軸の補正量 Y a , B a , C w aを用いて、歯車加工シミュレーションにより歯車の歯面形状を算出する(ステップS19)。そして、形状誤差算出部26が、歯面形状算出部25で算出した歯面形状と目標修整量記憶部23に記憶されている目標修整量とを比較してクラウニング、バイアス及びねじれ角の各誤差を算出する(ステップS20)。

40

【0060】

形状誤差算出部26は、算出したクラウニング、バイアス及びねじれ角の各誤差が許容値内であるか否かを判断する(ステップS21)。そして、クラウニング、バイアス及びねじれ角の各誤差が許容値外のときは、ステップS13に戻って上述の処理を繰り返し、新たに決定したY軸、B軸、C w軸の補正量 Y a , B a , C w aを、先に決定したY軸、B軸、C w軸の補正量 Y a , B a , C w aと変更する。

50

## 【 0 0 6 1 】

一方、クラウニング、バイアス及びねじれ角の各誤差が許容値内のときは、補正量決定部 2 4 は、ステップ S 1 8 で決定した Y 軸、B 軸、C w 軸の補正量  $Y a$  ,  $B a$  ,  $C w a$  を加工制御部 1 3 に送信し (ステップ S 2 2 )、全ての処理を終了する。

## 【 0 0 6 2 】

加工制御部 1 3 は、補正量決定部 2 4 で決定した加工制御要素である Y 軸、B 軸、C w 軸の補正量  $Y a$  ,  $B a$  ,  $C w a$  に基づいて、歯車の歯の加工を制御する。すなわち、加工用工具 T の中心軸線 R T を工作物 W の中心軸線 R W に平行な軸線に対して角度を有する状態にする。そして、工作物 W の中心軸線 R W 回りへの工作物 W の回転と加工用工具 T の中心軸線 R T 回りへの加工用工具 T の回転とを同期させながら、加工用工具 T を工作物 W に対して工作物 W の中心軸線 R W 方向に送り、目標修整量に対し図 5 A - 図 5 C に示す曲線や直線の傾きを変化させて Y 軸、B 軸、C w 軸の動作を制御することで、工作物 W に歯車の歯を加工する。

10

## 【 0 0 6 3 】

以上のように、歯車加工支援を受けた歯車加工においては、決定された加工制御要素である Y 軸、B 軸、C w 軸の補正量  $Y a$  ,  $B a$  ,  $C w a$  に基づいて工作物 W に歯車の歯を加工することで、修整した歯面形状を有する歯車の歯の加工時間の短縮化を図ることができる。

## 【 0 0 6 4 】

また、修整要素と加工制御要素との相関算出部は、ニューラルネットワークなどの機械学習によって、相関性を演算し、修整要素に対して加工制御要素を変化させても、高精度に加工可能となる。

20

## 【 0 0 6 5 】

( 8 . 別形態の歯車加工支援装置 3 0 の構成 )

上述の歯車加工支援装置 2 0 では、工作物 W に加工する歯車の歯の歯幅位置に応じて交差角 を補正するため、加工用工具 T を Y 軸に平行な軸の軸線回りに回転させることを前提でシミュレーションを行っている。しかし、本例の歯車加工装置 1 0 は、工作物 W が Y 軸に平行な B 軸の軸線回りに回転して交差角 を補正しているため、加工用工具 T による工作物 W の加工中に加工点は工作物 W の中心軸線 R W 上からずれてしまい、加工誤差が発生することになる。

30

## 【 0 0 6 6 】

そこで、加工点が工作物 W の中心軸線 R W 上を常に移動するように、交差角 を作るための軸 ( B 軸 ) と X 軸及び Z 軸の動作の関係について規定する必要がある。ここで、上述の加工点の挙動について図を参照して説明する。図 1 1 A の一点鎖線で示すように、交差角 が 0 度の状態 ( 工作物 W の中心軸線 R W と加工用工具 T の中心軸線 R T が一致している状態 ) で、工作物 W の加工用工具 T 側の端面の中心点 P w の X , Z 座標値 (  $X w$  ,  $Z w$  ) を求める。

## 【 0 0 6 7 】

そして、B 軸の中心軸線 R B 上の中心点 O B と工作物 W の端面の中心点 P w との距離と、加工条件で定められている加工用工具 T の助走量 ( 余裕量ともいう ) との和を加工点距離 L として次式 ( 1 ) から求める。なお、助走量とは、工作物 W の端面の中心点 P w と加工開始位置に位置決めされている加工用工具 T の工作物 W 側の端面の中心点 P 0 ( 加工点 ) との距離である。

40

## 【 0 0 6 8 】

## 【 数 1 】

$$L = \beta + \alpha \cdots (1)$$

## 【 0 0 6 9 】

そして、図 1 1 A の実線で示すように、加工条件で定められている加工開始時の交差角 1 に B 軸を回転させると、加工点は P 0 から P 1 に移動することになる。よって、加工

50

点 P 1 の X 座標値  $X_1$  及び Z 座標値  $Z_1$  は次式 ( 2 )、( 3 ) で表される。

【 0 0 7 0 】

【数 2】

$$X_1 = X_W + L \sin \theta_1 \cdots (2)$$

【 0 0 7 1 】

【数 3】

$$Z_1 = Z_W + L \cos \theta_1 \cdots (3)$$

【 0 0 7 2 】

そして、図 1 1 B の実線で示すように、仮に B 軸が回転しても加工用工具 T は停止しているとすると、加工開始により B 軸が回転して交差角が  $\theta_1$  から  $\theta_t$  に変動したとき、加工点 P 1 は P 2 の位置に移動しないと工作物 W の中心軸線 RW 上からずれることになる。このずれを無くすには、B 軸の回転に伴って加工用工具 T の移動を行う必要がある。

【 0 0 7 3 】

そこで、図 1 1 C に示すように、加工開始により B 軸が回転して交差角が  $\theta_1$  から  $\theta_t$  に変動したとき、加工点 P 2 が工作物 W の中心軸線 RW 上を  $L \sin \theta_1$  だけ離れた P t に移動したとする。このときの加工点位置、すなわち加工点 P t の X 座標値  $X_t$  及び Z 座標値  $Z_t$  は次式 ( 4 )、( 5 ) で表される。なお、交差角  $\theta_t$  は、次式 ( 6 ) で表される。式 ( 6 ) の A は、係数である。

【 0 0 7 4 】

【数 4】

$$X_t = (L - \Delta L t) \sin \theta_t \cdots (4)$$

【 0 0 7 5 】

【数 5】

$$Z_t = (L - \Delta L t) \cos \theta_t \cdots (5)$$

【 0 0 7 6 】

【数 6】

$$\theta_t = A \Delta L t \cdots (6)$$

【 0 0 7 7 】

そして、バイアスは、図 1 2 A ( 図 5 B と同一 ) に示すように、加工用工具 T の中心軸線 RT と工作物 W の中心軸線 RW との成す交差角  $\theta$  を歯幅方向に直線状に変化させて運動させることで形成できる。従って、バイアスは、工作物 W の回転軸である B 軸の動作 ( 工作物旋回角 ( 交差角  $\theta$  ) ) を制御することで修整できる。ここで、図 1 2 B に示すように、B 軸の補正量 ( 工作物旋回角の補正量 )  $B a$  は歯幅方向に直線状に変化する。

【 0 0 7 8 】

よって、図 1 2 C に示すように、補正量  $B a$  を含む B 軸の角度 ( 工作物旋回角 ( 交差角  $\theta_t$  ) ) は、加工点 P t の歯幅の位置が加工開始位置から加工終了位置に移動するにつれて、正の傾きで直線変化する。このとき、図 1 2 D に示すように、加工点位置、すなわち加工点 P t の X 座標値  $X_t$  は、右肩上がりで曲線変化し、図 1 2 E に示すように、加工点 P t の Z 軸位置  $Z_t$  は、右肩下がり曲線変化する。

【 0 0 7 9 】

以上から、B 軸の回転制御に伴って X 軸及び Z 軸の移動制御を行うことで、工作物 W の中心軸線 RW 上からの加工点 P t のずれを抑制できる。すなわち、式 ( 4 )、( 5 ) で得

10

20

30

40

50

られた点群をNCプログラムに与えて加工用工具Tにより工作物Wに歯を加工することで、加工中における加工点P tは工作物Wの中心軸線RW上を移動し、シミュレーションで得られた歯面と一致させることができる。

#### 【0080】

次に、別形態の歯車加工支援装置30の構成について、図8及び図10に対応させて示す図13、図14A及び図14Bを参照して説明する。なお、図13、図14A及び図14Bにおいて、図8及び図10に示す構成部及びステップと同一の構成部及びステップは、同一番号及び同一符号を付してそれらの詳細な説明を省略する。また、図9に示すステップは、歯車加工支援装置30についても同一ステップであるため、図示省略する。

#### 【0081】

図13に示すように、別形態の歯車加工支援装置30は、図8に示す歯車加工支援装置20の構成に新たに補正交差角算出部31、加工点距離算出部32及び加工点位置算出部33を加えた構成となっている。補正交差角算出部31は、補正量決定部24からB軸の補正量Baを読み出す。そして、加工制御部13から読み出した加工条件で定められている交差角の変動(図5B参照)を、B軸の補正量Baで補正して補正交差角t(図12C参照)を求める。

#### 【0082】

加工点距離算出部32は、B軸の中心点OBと工作物Wの端面の中心点PWとの距離と、加工制御部13から読み出した加工条件で定められている助走量(余裕量)との和を加工点距離L(図11A参照)として算出する。具体的には、式(1)を用いて算出する。

#### 【0083】

加工点位置算出部33は、補正交差角算出部31から読み出した補正交差角t及び加工点距離算出部32から読み出した加工点距離Lを用いて加工点位置として算出する。つまり、加工開始によりB軸が回転して交差角が1からtに変動し、加工点P2が工作物Wの中心軸線RW上をLtだけ離れたPtに移動したときの加工点PtのX座標値Xt及びZ座標値Ztを加工点位置として算出する(図11C参照)。具体的には、式(4)、(5)、(6)を用いて算出する。

#### 【0084】

歯車加工支援装置30における補正量決定部24、歯面形状算出部25及び形状誤差算出部26により行われる修整要素の補正量の決定処理は、図14A及び図14Bにおいて図10のステップS11-S21までと同一であるので、詳細な説明は省略する。ステップS21において、クラウニング、バイアス及びねじれ角の各誤差が許容値内のときは、補正交差角算出部31は、交差角の変動をB軸の補正量Baで補正して補正交差角tを算出する(ステップS31)。

#### 【0085】

そして、加工点距離算出部32は、B軸の中心点OBと工作物Wの端面の中心点PWとの距離と、助走量(余裕量)との和である加工点距離Lを算出する(ステップS32)。加工点位置算出部33は、交差角が1からtに変動したときの加工点Ptの加工点位置(Xt, Zt)を算出する(ステップS33)。そして、補正量決定部24は、ステップS18で決定したY軸、B軸、Cw軸の補正量Ya, Ba, Cwa及びステップS33で決定した交差角が1からtに変動したときの加工点Ptの加工点位置(Xt, Zt)を加工制御部13に送信し(ステップS22)、全ての処理を終了する。

#### 【0086】

上述の実施形態では、交差角を作るための軸としてB軸とX軸及びZ軸の動作の関係について規定したが、交差角を作るための軸としてA軸とX軸及びY軸の動作の関係について規定し、もしくはY軸とX軸及びZ軸の動作の関係について規定することも同様にLtで定義することで可能である。すなわち、加工点PtのY軸座標値Ytは次式(7)で表され、A軸座標値Atは次式(8)で表される。なお、式(7)、(8)のD, Fは、係数である。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

【数 7】

$$Y_t = D \Delta L t^2 + \Delta L t \cdots (7)$$

【 0 0 8 8 】

【数 8】

$$A_t = F \Delta L t \cdots (8)$$

10

【符号の説明】

【 0 0 8 9 】

1 0 : 歯車加工装置、 1 1 : 工具主軸、 1 2 : 工作物主軸、 1 3 : 加工制御部、 2  
 0 : 歯車加工支援装置、 2 1 : 工具諸元記憶部、 2 2 : 相関算出部、 2 3 : 目標修整  
 量記憶部、 2 4 : 補正量決定部、 2 5 : 歯面形状算出部、 2 6 : 形状誤差算出部、  
 T : 加工用工具、 W : 工作物、 G : 歯車、 G f : 歯面、 M c : クラウニングの形成  
 量、 M b : バイアスの形成量、 M h : ねじれ角の形成量、 M p : 圧力角の形成量、  
 M r : 歯形丸みの形成量、 M c ' : クラウニングの修整量、 M b ' : バイアスの修整量  
 、 M h ' : ねじれ角の修整量、 D : 中心間距離、 : 工作物旋回角(交差角)、  
 : 工作物回転角、 Y : Y軸の変化量、 B : B軸の変化量、 C w : C w軸の変化  
 量、 X , Y : オフセット角の変化量、 Y a : Y軸の補正量、 B a : B軸の補  
 正量、 C w a : C w軸の補正量

20

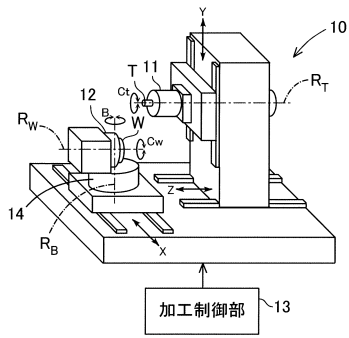
30

40

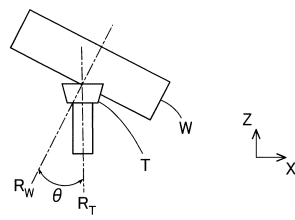
50

【図面】

【図 1】

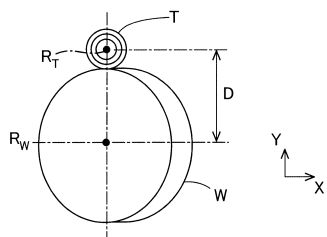


【図 2 A】

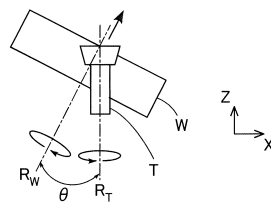


10

【図 2 B】

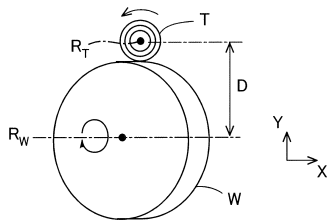


【図 3 A】

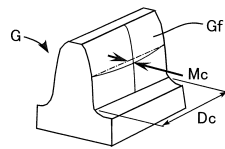


20

【図 3 B】



【図 4 A】

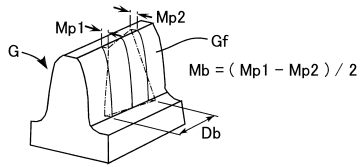


30

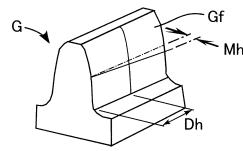
40

50

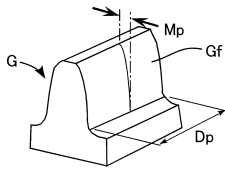
【図 4 B】



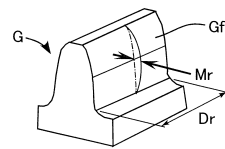
【図 4 C】



【図 4 D】

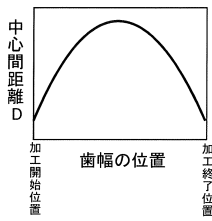


【図 4 E】

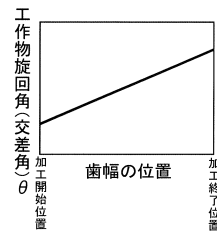


10

【図 5 A】

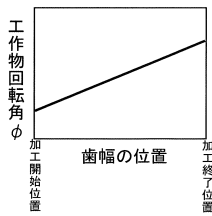


【図 5 B】

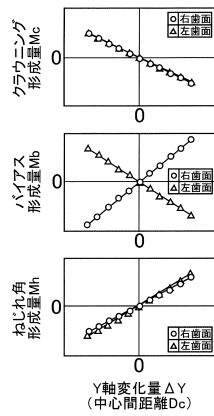


20

【図 5 C】



【図 6 A】

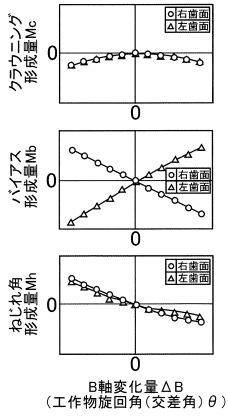


30

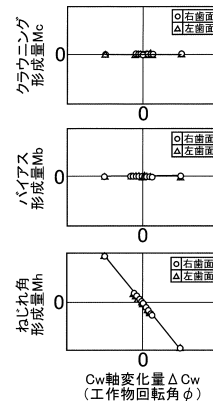
40

50

【図 6 B】

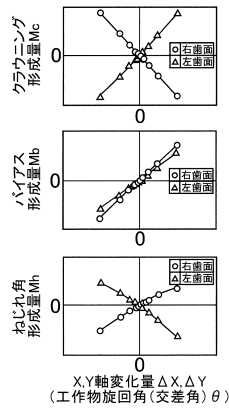


【図 6 C】

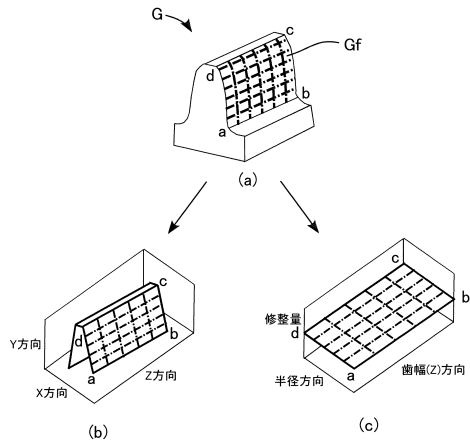


10

【図 6 D】



【図 7】



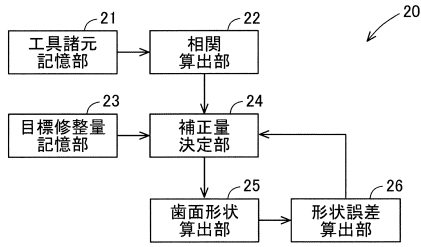
20

30

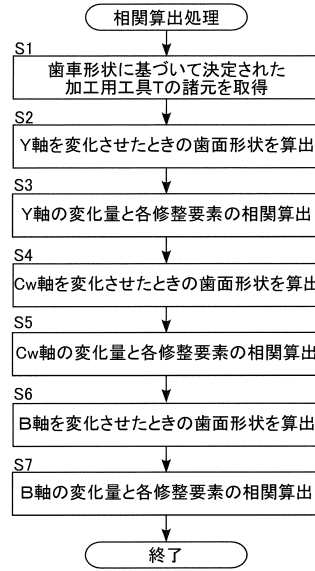
40

50

【図 8】

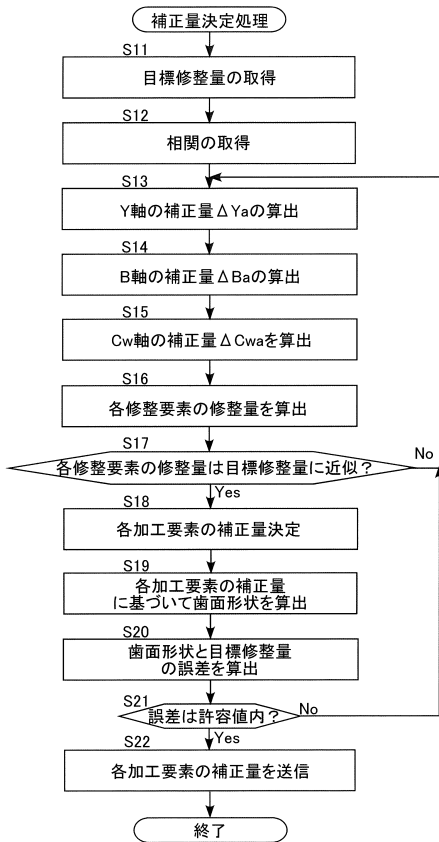


【図 9】

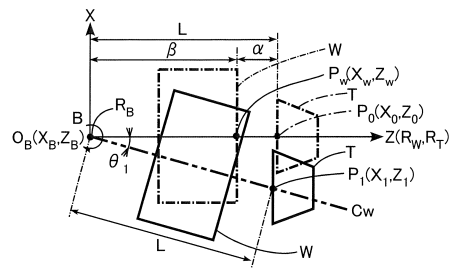


10

【図 10】



【図 11 A】



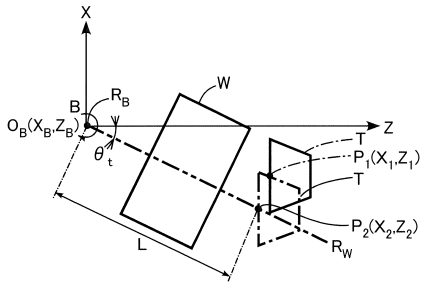
20

30

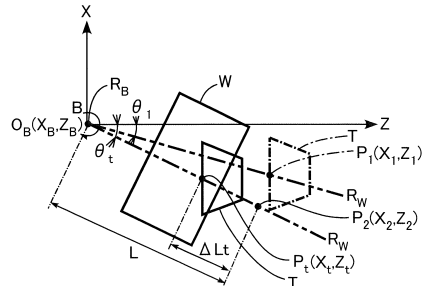
40

50

【図 1 1 B】

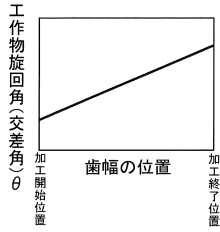


【図 1 1 C】

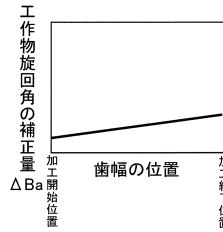


10

【図 1 2 A】

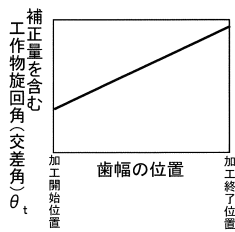


【図 1 2 B】

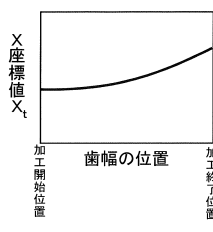


20

【図 1 2 C】



【図 1 2 D】

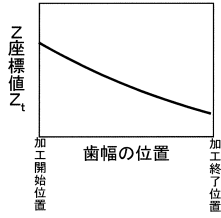


30

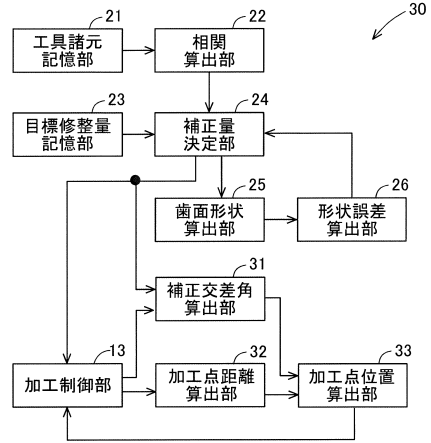
40

50

【図 1 2 E】

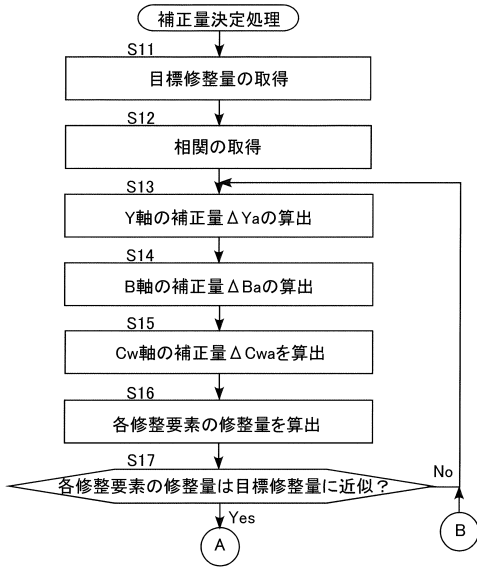


【図 1 3】

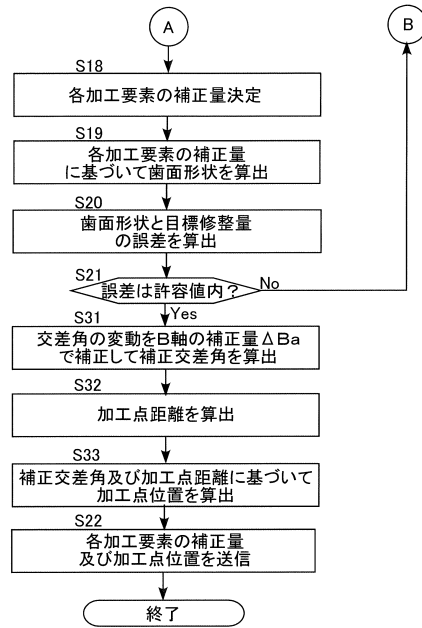


10

【図 1 4 A】



【図 1 4 B】



20

30

40

50

## フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭63-180766(JP,A)  
特開2012-051049(JP,A)  
特開2018-069435(JP,A)  
特開2018-062056(JP,A)  
特開平06-031532(JP,A)  
特開平03-098714(JP,A)  
米国特許出願公開第2020/0332877(US,A1)  
米国特許出願公開第2018/0126472(US,A1)  
米国特許出願公開第2016/0158860(US,A1)  
米国特許第05174699(US,A)  
中国特許出願公開第108015361(CN,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
B23F 1/00 - 23/12  
B23Q 15/00 - 15/28  
G05B 19/18 - 19/416