舞いツールによるスクリー圧縮機用ロータ
の精密仕上^{*} (第2報, 実機ロータの場合)久曾神煌^{**}, 菊田和重^{***}, 田中政則^{****}, 豊山晃^{**}A Rotor Finishing Method in a Screw-Compressor by a Fly Tool
(2nd Report; an Example of a Practical Tooth-Profile)by Akira KYUSOJIN, Kazushige KIKUTA,
Masanori TANAKA, and Akira TOYAMA

The purpose of this paper is to finish the helicoidal surface accurately by using a fly tool. A rotor used in a screw-compressor of a non-lubrication-type is used as an example of the helicoidal surface. We deal with a helicoidal rotor having the circular arc in the preceding paper, and a practical rotor having the plural curved lines in the section perpendicular to the rotor axis in this paper. In order to manufacture the rotor of a non-lubrication-type by a fly tool, cutter shape is numerically analyzed. Then the rotor was hobbled with this cutter and measured by a three-dimensional measuring machine. In the result, it became clear that it is possible to manufacture the rotor of a non-lubrication-type by using a fly tool.

Key Words: Fluid Transportation Systems, Numerical Analysis, Fly Tool, Screw-compressor of Non-lubrication-type, Helicoidal Surface

1. 緒 言

舞いツールによるねじ状曲面の精密仕上を目的としその一例として無潤滑式のスクリー圧縮機用ロータを取り上げる。前報¹⁾では、軸直角断面が円弧のはず歯ロータを考え、これを加工するための舞いツールの刃形解析、ホブ盤による加工、三次元測定機によるロータの形状精度評価を行った。本報では、軸直角断面が多数の曲線群からなる実機ロータについて、これを加工するための舞いツールの刃形解析、ホブ盤による加工、三次元測定機によるロータの形状精度評価を行った。

記 号

S : 舞いツールとロータの中心間距離(mm)
 R_n : ロータ歯面のねじれ角を規定する半径(mm)
 N_e : ねじれ角(rad)
 R_0 : ロータのピッチ円半径(mm)
 R_{f0} : 舞いツールのピッチ円半径(mm)
 ω_b : ロータの角速度(rad/s)
 ω_f : 舞いツールの角速度(rad/s)
 V_f : 舞いツールの垂直方向の送り速度(mm/s)
 ただし、 $V_f = a \cdot \omega_b \cdot t$ の関係があり、 a は定数である。

N : 函数

 Ψ : 舞いツールの傾き角(rad)

t : 時間

$$\alpha = \omega_b t + \tan(N_e) \{ -1 / 4 \sin \Psi - x_4 \sin(\omega_f t) \cos \Psi + a \omega_b t \} / R_n$$

* 昭和61年9月28日 北海道支部第28回講演会において講演, 原稿受付 昭和61年3月27日.

** 正員, 長岡技術科学大学工学部(〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1).

*** 学生員, 長岡技術科学大学大学院(〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1).

**** 北越工業KK開発部(〒959-01 新潟県西蒲原郡分水町大武新田113-1).

2. 理 論

2・1 刃形解析 実機はす歯ロータを加工するための舞いツールの設定条件(舞いツールの傾き角、ロータと舞いツールの角速度および舞いツールの送り速度との関係)は、以下になる。

$$\Psi = N_e - \sin^{-1} \left\{ \frac{R_0 \cos(N_e) \omega_b}{R_{f0} \omega_f} \right\} \dots (1)$$

$$\omega_f = N \left\{ 1 + \frac{a \tan(N_e)}{R_n} \right\} \omega_b \dots (2)$$

この設定条件を満足し図1の状態で加工するときの舞いツールの刃形を求めるには、初めにxyz座標系でのす歯歯面を方程式により表わす。ロータの軸直角断面の座標値(X', Y')を用いると、

$$\begin{aligned} X &= X' \cos \left\{ \frac{\omega_b t + \tan(N_e) Z}{R_n} \right\} \\ &\quad - Y' \sin \left\{ \frac{\omega_b t + \tan(N_e) Z}{R_n} \right\} \end{aligned} \dots (3)$$

$$\begin{aligned} Y &= X' \sin \left\{ \frac{\omega_b t + \tan(N_e) Z}{R_n} \right\} \\ &\quad - Y' \cos \left\{ \frac{\omega_b t + \tan(N_e) Z}{R_n} \right\} \end{aligned}$$

次に舞いツールすくい面上に固定された $x_4 y_4 z_4$ 座標系に座標変換すると、

$$\begin{cases} X = S - X_4 \cos(\omega_f t) - Z_4 \sin(\omega_f t) \\ Y = -X_4 \sin(\omega_f t) \sin \Psi + Y_4 \cos \Psi \\ \quad + Z_4 \cos(\omega_f t) \sin \Psi \\ Z = a \omega_b t - X_4 \sin(\omega_f t) \cos \Psi \\ \quad - Y_4 \sin \Psi + Z_4 \cos(\omega_f t) \cos \Psi \end{cases} \dots (4)$$

式(3)に式(4)を代入し、舞いツールのすくい面 $z_4 = 0$ と連立することにより、ロータ歯面と舞いツールすくい面の交線の方程式は以下になる。

$$\begin{cases} X' \cos \alpha - Y' \sin \alpha - S + X_4 \cos(\omega_f t) = 0 \\ X' \sin \alpha + Y' \cos \alpha - Y_4 \cos \Psi \\ \quad + X_4 \sin(\omega_f t) \sin \Psi = 0 \end{cases} \dots (5)$$

式(5)の二式より、舞いツールとロータを微小時間変化させた時の交線群の座標値(x_4, y_4)を求める。この二式は代数的に連立して解くことが困難であるので、二変数の修正ニュートン法を用いて解く。

図1 舞いツールによるロータ加工概念図

以上より得られた交線群の包絡線より、舞いツールの刃形形状が求められる。具体的には一つのロータねじ線の舞いツールすくい面上での動きに着目することにより、包絡線を求めた。舞いツールの法線方向の計算精度は約 $1\text{ }\mu\text{m}$ と考えられる。

2・2 実機ロータ軸直角断面歯形 実機のロータでは、熱膨張、歯形誤差などを考慮して法線方向に適当な隙間を設けている。バックラッシュ0の理論歯形が与えられた場合、実用歯形は以下のように求めた。

図2に示すように、軸直角断面の接線 AB に垂直な平面 P 内にあるねじ線上の点を考え、直線 AB と BE に垂直な直線が法線であるとした。この方法による計算値と理論値の差は $3\text{ }\mu\text{m}$ 以内であった。

2・3 三次元測定機によるロータの形状精度評価方法 本研究で用いた形状精度評価方法は、理想的に加工されたロータ歯面に球面プローブを接触させたときのプローブ中心座標の軌跡曲面を求め、図3に示すように、実際に加工されたロータ歯面に球面プロ

ブを接触させて得られたプローブ中心座標 P_i から下した垂線の足を P_j とし、距離 $P_i P_j$ をロータの法線方向の誤差とみなす。

3、舞いツールの形状精度

NC研削盤で加工した舞いツールの形状精度を図4に示す。実線が解析結果であり、点線が実際に加工された結果で、両曲線の法線方向の差が誤差である。これより形状精度が $76\text{ }\mu\text{m}$ であることがわかる。

4、加工ロータの評価

4・1 形状精度 加工ロータの素材寸法を図5に示す。表1の切削条件により加工されたロータを三次元測定機を用いて2.3節の評価方法に基づいて評価する。図6にその一例を示す。横軸はロータ軸直角断面歯形座標値で、縦軸は加工ロータの法線方向の誤差である。3回測定し、その最大振幅は $96\text{ }\mu\text{m}$ であった。

表1 切削条件

Material of Rotor	S45C
Material of FLY TOOL	SKH-9
Cutting Speed	48m/min

	Depth of Cut(mm)	Feed Rate (mm/rev)
Roughing	10	0.15
Medium Finishing	1.5	0.2
Finishing	0.09	0.1

図2 ロータ法線の概念図

図3 ロータ形状精度評価法の概念図

図4 舞いツールの形状精度

図5 加工ロータの素材寸法

図6 加工ロータの形状精度

図7 加工ロータの表面粗さ

4・2 表面粗さ 加工ロータの表面粗さをタリサーフにより測定した結果を図7に示す。cut-off 値0.25mmに対してR_{max} 約6.7 μmである。

5、結 言

無潤滑式スクリー圧縮機用ロータの舞いツールによる加工の可能性を明らかにするため、実機ロータについて、加工用舞いツールの刃形解析、ホブ盤による加工、三次元測定機による形状精度評価を行なった。この結果以下のことがいえる。

1) 軸直角断面が多数の曲線からなるねじ状曲面を有

するロータに対して、軸直角断面歯形座標値からそれを加工するための舞いツールの刃形解析手法を開発した。その計算精度は1 μm程度と考えられる。

2) 理想歯形が与えられた場合、任意の法線隙間を有する実用歯形の計算手法を確立した。

3) 任意のねじ状曲面を有するロータに対して、それを法線方向に精度評価する手法を開発した。

4) 実機ロータを形状精度77 μmを有する舞いツールにより加工した場合、加工ロータ形状精度96 μmであった。

5) 実機ロータのねじれ方向の表面粗さはcut-off 値0.25mmに対してR_{max} 約6.7 μmであるが、細かい凹凸や多角形誤差のない滑らかな面となっているので無潤滑式のスクリー圧縮機用ロータに適していると思われる。

文 献

- 1) 久曾神・宗片・豊山・田中, 機論, 51-471C (昭60), 3131.