409 5 軸制御工作機械によるデルタ型風車用羽根の加工

Machining of Delta Shaped Wind-turbine blade (DSW blade) Using Five-Axis Machine Tools

○学 能勢武士 (函館高専) 正 山田誠 (函館高専)

Takeshi NOSE, Hakodate National College of Technology, 14-1, Tokura-cho, Hakodate, Hokkaido
Makoto YAMADA, Hakodate National College of Technology

Key words : DSW blade, five-axis machine tools, three-axis CAM, ruled surfaces, tilted tool machining

1. 緒 言

5 軸制御工作機械による加工は工具姿勢を変化させることが出来るため、複雑な形状を作成することができる方法である。そのため航空機部品の加工にも用いられている。その航空機部品の中で、主翼に用いられる翼としてデルタ翼がある。デルタ翼はその形状特性から風車に適用することで、従来の風車では運転が困難であった状況での運転が可能になるデルタ型風車が考案されている¹⁾。このデルタ型風車の研究はまだ確立されておらず、その開発に関する加工方法についても同様であるため、本研究ではこのデルタ型風車の一体加工において 5 軸制御工作機械を用いて能率的に行う事を目的としている。本研究では、デルタ型風車の特徴を示してモデルを作成し、5 軸制御工作機械を用いて 3+2 軸制御加工^{2) 3)} による粗加工を行い、デルタ型風車用羽根を線織面加工によってより能率よく加工を行う。また、風車の軸部分の加工に対して連続 3+2 軸加工を提案し、デルタ型風車を作成する。本論文では、その実施するデルタ型風車の形状加工についての方法論を示す。

2. デルタ型風車用羽根の特徴および加工対象モデル

デルタ型風車とは、図 1 に示すデルタ翼を風車羽根として設けた風車のことである。このデルタ翼は翼幅に対して翼面積が大きいいためアスペクト比が小さいことと、前縁後退角が設けられた翼であるということの特徴としている。また、このデルタ型風車は羽根部分が軸方向に対しては長く、円周方向に対して短いという形状特性によって、運転領域内で発生している風が低風速から暴風雨、暴風雪のような状況においても可能な風車である。従って、このデルタ型風車の開発と普及が進むことによって、微弱な風速しか得られない場所や強風によって風車の運転を停止せざるを得ない状況など、従来の風車では運転することが不可能であった状況での風車の使用が可能になると考えられる。

このデルタ型風車用羽根の加工については、デルタ型風車用羽根の曲面を線織面として捉え、図 2 に示すようにエンドミルの側面を用いて加工を行うことで滑らかな曲面が得られるのと同時に、デルタ型風車用羽根の加工時間を短縮することが出来る。よって、本研究ではこの線織面加工を用いてデルタ型風車用羽根の曲面に対して精密かつ能率的な加工を行う。また、図 3 に示したデルタ型風車のモデルのように、デルタ型風車用羽根は軸の円筒部分に巻きついた形状をしている。

Delta Shaped Wind-turbine (DSW)

Fig.1 A shape of DSW blade

Fig.2 Form shaping by side edge of milling tool

Fig.3 Machining shape of DSW

3. デルタ型風車加工方法

3.1 粗加工

デルタ型風車用羽根を粗加工する際に 3+2 軸制御加工を用いる。3+2 軸制御加工は 5 軸制御工作機械の回転軸を固定し並進軸により加工する方法である。今回使用する工具はボールエンドミルで、5 軸制御工作機械は工具側に X, Y, Z 軸を持ち、ワーク側に A 軸と C 軸を持つ工作機械で、この C 軸の角度を割り出し角としている。従って、粗加工の工具経路は CAD データと割り出し角を入力として 3 軸用 CAM (Edge CAM) により得られる。また、この

粗加工において削り残し量を一定にすることは、羽根の曲面を精密に加工する上で重要である。この削り残し量を一定にするためには、割り出し角を適正に決めなければならない。今回の粗加工ではA軸を -90° で固定して、C軸を割り出して加工を行う。図4(a)のような $C=0^\circ$ の状況では、軸の中心線を境にして羽根の曲面の加工可能領域は斜線部分だけである。また、図4(b)のような $C=90^\circ$ では、(a)において削ることの出来なかった領域が加工可能となっている。よって2枚の羽根の曲面全体が加工されるように粗加工するためには、C軸を 90° 間隔で回転させて合計4回の粗加工を行う必要がある。

Fig.4 Machinable area of DSW blade

3.2 羽根曲面の線織面加工

デルタ型風車用羽根を仕上げ削りには、連続工具姿勢制御加工による線織面加工を用いる。連続工具姿勢制御加工とは5軸制御工作機械の回転軸と並進軸を同時に運動させて加工を行う制御加工である。このデルタ型風車用羽根を線織面として加工するためには工具の位置参照点を定義する必要がある。その点を制御点とした。デルタ型風車用羽根の形状を考慮して、羽根の根元部分を工具の制御点として加工を行う。その羽根の根元部分を図5に示すようにA線、B線と定義する。このA線とB線を工具制御点としたとき工具の中心がA線及びB線上を通過するため、羽根を削り出すためには工具径の大きさの分だけオフセットを行わなければならない。しかし、羽根の根元部分と先端部分ではそのオフセット量が一定とはならないため、図5で示すように羽根の根元部分のオフセット量を工具に与えた場合、工具は羽根の先端部分に切り込んでしまう。そのため、線織面加工を行う上で羽根の根元部分と先端部分のオフセット量の違いを踏まえると、根元部分で工具の移動量を制御し、先端部分で工具の姿勢を制御する必要がある。従って、本形状の加工方法には、A軸を固定させ、X軸、Y軸、Z軸、C軸を変化させながら連続工具姿勢制御加工による線織面加工を行う方法を用いる。

3.3 デルタ型風車軸部分の加工

デルタ型風車の軸部分の仕上げ削りでは連続3+2軸制御加工を提案する。連続3+2軸制御加工とは頻りに割り出し角を変化させて3+2軸制御加工を行う方法である。本研究では工具を軸の長手方向にだけ移動させて加工を行うが、軸表面の精度を出すために、C軸の回転中心とボールエンドミルの中心に 10° の割り出し角を持たせて加工を行う。また、軸部分全体を加工する際に工具と羽根の干渉を防ぐため、図4に示した斜線部の領域内で羽根の根元まで軸加工を行う必要がある。そのため図4と図6より、S1とS3部分の軸加工においては工具をX軸のプラス方向に置き、S2とS4部分の軸加工では工具をX軸のマイナス方向に置いて加工を行う。

Fig.5 Control point of cutting tool and cutting tool offset

Fig.6 Avoidance angle and machining position

4. 加工実験

本研究での前段階として、3+2軸制御加工による粗加工および連続工具姿勢制御加工による仕上げ削りを行った。図7の(a)に3+2軸制御加工による粗加工の状況と、(b)に連続工具姿勢制御加工による仕上げ削り(工具側面による線織面加工)の状況を示している。

3+2軸制御加工では割り出し角を 120° として計3回の粗加工を行ったが、より精度の高い羽根を削るためには 90° ずつ計4回の粗加工を行うほうが良いと考えられた。また、連続工具姿勢制御加工を用いてデルタ型風車用羽根の線織面加工を行った結果としては、短い加工時間で滑らかな曲面の羽根を形成することができた。

(a) Rough machining (b) Machining of DSW blade

Fig.7 Shape machining on 5-axis machining center

5. 結 言

本研究では、デルタ型風車の一体加工に関して次の事項を示した。

- 1) 加工対象とするデルタ型風車のモデルを定義した。
- 2) デルタ型風車の粗加工及び仕上げ削りに関する方法論を示した。
- 3) 連続工具姿勢制御加工によるデルタ型風車用羽根の線織面加工を行い、羽根の曲面の状態と加工時間から線織面加工の有効性を確認した。

参考文献

- 1) 中川幸二, 安澤和也: 強風用風車の実験的検討, 第56回ターボ機械協会函館講演会誌, S20.
- 2) 山田誠, 田中文基, 近藤司, 岸浪建史, 香村章夫: 5軸NC工作機械による主軸傾斜曲面加工法に関する研究, 精密工学会誌, 70, 1, (2004), 65.
- 3) 谷垣光: 3軸CAMデータによる主軸傾斜型5軸制御加工, 函館工業高等専門学校平成17年卒業論文