

УДК 621.914.1

С.Ф. ЛЯКУН, В.Е. ЮРКЕВИЧ

Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», Украина

СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕХГРАННЫХ УГЛОВ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Описан оригинальный способ разработки управляющей программы (УП) для обработки внутренней поверхности трехгранного угла (ТГУ) в единичных производствах: аэрокосмическом, опытно-инструментальном, специальных станков. Необходимые расчеты и методика их проверки описаны на примере Microsoft Excel. Для этого приведены как рисунки семь страниц Microsoft Excel, в том числе таблично заданная функция – плоский угол ТГУ как функция от линейного угла с толерантным механизмом интерполяции. Дан анализ тестирования. Поднят вопрос расчета и создания УП для обработки внутренней поверхности ТГУ как “циклов” станка с ЧПУ.

Ключевые слова: *трехгранный угол, управляющая программа, итерации, дедукция, конечные разности, цикл станка с ЧПУ, интерполяция, экстраполяция, числовые ряды, толерантная система, аксиоматический метод, надежность оценки.*

Постановка задачи

В описании изобретения [1] сказано, что известна обработка трехгранных углов (ТГУ) как глухих углублений в деталях фрезеровкой вдоль ребер ТГУ, то есть вдоль сторон плоских углов ТГУ, «...при этом в каждом трехгранном углу две стороны выполняются острыми, а третья имеет радиус, равный радиусу используемой фрезы. Окончательная обработка трехгранного угла производится слесарным путем (вырубка, шабровка, зачистка)». Авторы изобретения [1] предложили способ обработки трехгранного угла при помощи специально изготовленного «координатного столика», в который (следуя техническому смыслу изобретения) заложены некоторые параметры обрабатываемого конкретного трехгранного угла.

Поскольку в единичном производстве проектирование и изготовление «координатного столика» для каждой детали (возможно и для каждого трехгранного угла) экономически нецелесообразно, этот способ в единичном производстве не получил распространения. По-прежнему трехгранные углы обрабатывают вручную слесарным путем. Но проблема остается.

Например, в литературе описана обработка отверстий глухих и фасонных [2, 3], обработка пазов т-образных, «ласточкин хвост» и др. [2, 3], типичные циклы обработки для станков с ЧПУ [3], обработка деталей на станках с ЧПУ [4, 5]. Но описание обработки ТГУ отсутствует.

В волноводных устройствах космической связи значительная (примерно пятая) часть энергии посылаемого излучения превращается в тепло. Этим по-

терям способствуют большие радиусы галтелей (внутренних закруглений) двугранных углов (ДУ) волноводных устройств. (А в каждом ТГУ три ДУ).

Практически не получая галтелей, можно обработать внутреннюю поверхность ТГУ граверным резцом-фрезой [6] на граверном станке при помощи копира в виде увеличенного в масштабе ТГУ. Но на граверном станке невозможно точно разместить ТГУ относительно детали и получить высокое качество ее обработки.

При современном уровне развития массового производства узким местом является вспомогательное единичное производство: изготовление прессформ, штампов, приспособлений, инструментов, опытных образцов изделий, специальных станков. При этом необходима обработка ТГУ. ТГУ, где это допустимо, получают сборкой из отдельно изготовленных частей, например, из трех отдельных граней или из цельного двугранного угла и отдельной грани.

Обрабатывать ТГУ как углубление в токопроводящем материале можно электроэрозионным методом при помощи электрода, в геометрию которого закладывают параметры ТГУ [7] (удаление материала на молекулярном уровне). При обработке ТГУ на электроэрозионных станках удаление припуска происходит значительно медленнее, чем удаление припуска резанием. На обработку каждого ТГУ расходуется больше одного электрода, а это дополнительные затраты на их изготовление, установку и настройку. Кроме того, при обработке не всегда можно правильно сориентировать деталь, так как проблематична установка наклонно-поворотного стола на реальный электроэрозионный станок.

Производство аэрокосмической техники – тоже единичное производство. Для единичного производства специально созданы и достигли высокого уровня совершенства станки с ЧПУ (для массового производства они имеют недостаточную производительность). На этих станках можно изготавливать и детали с трехгранными углами.

Несмотря на то, что для проектирования инструмента и разработки УП необходимы громоздкие расчеты (алгоритм на нескольких страницах формата А4), это под силу любому грамотному инженеру, но требует больших затрат времени. Поэтому вычисления необходимо механизировать.

Необходимые сложные и громоздкие вычисления можно очень просто проводить с помощью, например, Microsoft Excel (далее Excel) по единому алгоритму для всех трехгранных углов с любыми возможными параметрами. Причем, необходимые значения для управляющей программы (УП) можно получать в таком виде, при котором их легко трансформировать в УП при помощи текстового редактора без ручного ввода чисел. Необходимые вычисления и создание УП надо бы ввести как «цикл» станка с ЧПУ.

Результаты исследований

Предварительную и окончательную обработку трехгранных углов (ТГУ) детали проводят за одну установку на наклонно-поворотном столе (НПС), закрепленном на станке с ЧПУ.

Для предварительной обработки деталь устанавливают таким образом, чтобы одна грань ТГУ была перпендикулярна оси шпинделя, а одно ребро этой грани было параллельно координатной оси X, т.е. грань AOB (рис. 1 и стр. 2 Excel на рис. 4) будет перпендикулярна оси шпинделя и оси Z и является основанием. А ребро AO этой грани будет параллельно оси X станка.

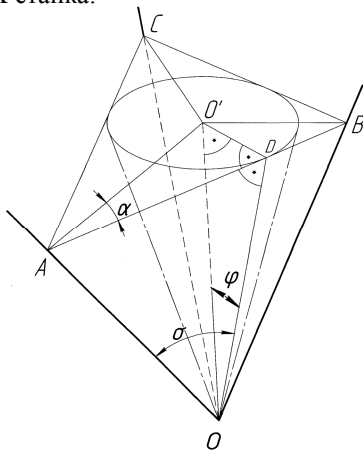


Рис. 1. Трехгранный угол сориентирован для окончательных фрезеровок как по строчке ABCA так и вдоль ребер к вершине O. Ось OO^1 установлена параллельно вертикальной оси шпинделя станка; плоские углы могут быть больше 90° или $\leq 90^\circ$

Как правило, в станках с ЧПУ ось Z параллельна оси шпинделя, ось X горизонтальная, а ось Y перпендикулярна осям X и Z. Деталь, закрепленную на НПС, установленном на станке с ЧПУ, можно с высокой точностью поворачивать в плоскости XY в одну или другую сторону на 360° и наклонять НПС от 0 до 90° и обратно между положительными направлениями осей X и Z (включительно).

Далее концевой фрезой с соответствующей конусностью, например, равной литейному уклону пресс-формы, фрезеруют внутренние поверхности ТГУ, перемещая фрезу вдоль сторон плоского угла (ПУ) в основании, установленном перпендикулярно оси шпинделя. Грань-основание фрезеруют торцом фрезы, а грани, примыкающие к основанию (боковые), фрезеруют боковой частью фрезы. После фрезеровки боковых граней получаются ПУ, равные или больше 90° .

После предварительной обработки в ТГУ на пересечении двух боковых граней остается невыбранный материал – внутреннее скругление (галтель) радиусом, равным радиусу фрезы.

Для окончательной обработки ТГУ деталь не снимают, а поворачивают при помощи НПС вокруг оси, параллельной оси шпинделя, пока между ребром (стороной OA плоского угла) основания детали и отрицательным направлением оси X не образуется угол σ (SigA в Excel), представляющий собой расчетную часть плоского угла основания. При этом OD, линия касания вписанного конуса к грани-основанию (рис. 1, 2), станет параллельной оси X станка. Затем НПС с деталью наклоняют, устанавливая плоскость основания AOB к оси шпинделя под углом, равным углу в плане ϕ (Fi в Excel) при вершине резца-фрезы.

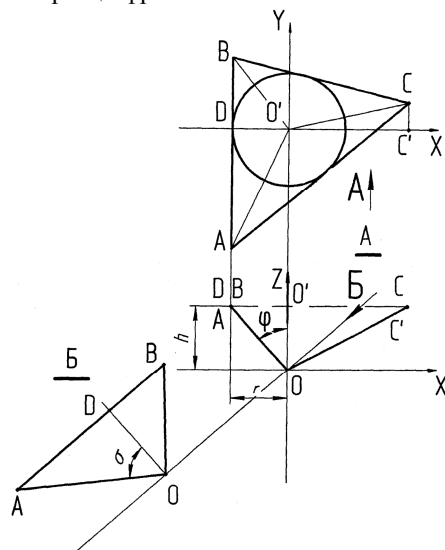


Рис. 2. Строчка ABCA задана на расстоянии h от вершины O трехгранного угла. Деталь повернута и наклонена с учетом углов σ (SigA) и ϕ (Fi) и доступна для фрезеровки по строчкам и по ребрам OA, OB, OC

Таким образом, ось OO^1 ТГУ устанавливают параллельно оси шпинделя, а все три грани ТГУ устанавливают под углом φ (F_i) к оси шпинделя.

Понятие «ось ТГУ» в справочниках по математике не приводится [8, 9]. Поэтому уточним. Ось ТГУ OO^1 – это прямая линия (рис. 1), проходящая через вершину ТГУ, и каждая ее точка удалена от граней ТГУ на равные для этой точки расстояния.

Именно поворотом и наклоном детали с учетом углов, соответственно SigA и φ (F_i), достигается параллельность осей шпинделя и ТГУ, и внутренняя поверхность ТГУ становится доступной для обработки резцом-фрезой.

Резец-фрезу изготавливают по аналогии граверному резцу-фрезу [6]. Главный угол в плане φ (F_i) при вершине резца-фрезы рассчитывают совместно со всеми другими необходимыми вычислениями при помощи Excel как функцию одновременно от всех трех плоских углов (ПУ) ТГУ.

Станок с ЧПУ при помощи УП устанавливает резец-фрезу в шпиндель станка и сверлит деталь вдоль оси ТГУ до его вершины (до касания трех его граней), далее фрезерует грани каждого двугранного угла ТГУ вдоль ребер до вершины ТГУ, причем станок с ЧПУ перемещает резец-фрезу по прямой одновременно по трем координатам (в функциональной линейной зависимости).

Если один, два или все три линейные углы двугранных углов ТГУ меньше 90° , то предварительную фрезеровку концевой фрезой, описанной выше, практически осуществить невозможно, т.к. во фрезу малого диаметра обратный конус практических величин сделать невозможно. А применение фрезы большего диаметра приведет к увеличению выбранных материала на стыке боковых граней, что в дальнейшем, при чистовой фрезеровке резцом-фрезой вдоль ребра к вершине ТГУ, недопустимо.

В этом случае такая предварительная фрезеровка не производится. А предварительно резцом-фрезой производится сверловка вдоль оси к вершине ТГУ и затем резцом-фрезой – фрезерование вдоль ребер к вершине ТГУ. Затем предварительно и окончательно фрезеруем резцом-фрезой по строчкам. Задавая ряд величин h (рис. 2), получаем набор строчек для обработки граней. Строчки – это траектория движения вершины резца-фрезы по поверхности граней при обработке внутренней поверхности ТГУ.

Строчки получаем пересечением граней ТГУ набором плоскостей, перпендикулярных оси ТГУ.

Чтобы при фрезеровке по строчкам уменьшить нагрузку на вершину резца-фрезы, начинаем фрезеровать от вершины ТГУ и, с каждой следующей строчкой, удаляемся от неё (вершины ТГУ). И, если правильно задать расстояние между строчками, вершина резца-фрезы при фрезеровке по строчкам

будет перемещаться по уже обработанной поверхности в предшествующей строчке.

Ниже приведены стр. Excel 1 –7 (рис. 3 – 9) с результатом расчетов и описанием порядка ввода исходных данных для создания УП для обработки ТГУ. На стр. 6 Excel (рис. 8) порядок ввода значений для получения УП описан кратко (для подсказки).

На рис. 1, 2 применены обозначения ТГУ, которые приняты и в инструкции для стр. 2 Excel (рис. 4) и на других страницах (рис. 3, 5 - 9).

На стр. 3 Excel (рис. 5) даны линейные углы (ЛУ) двугранных углов ТГУ, вычисленные по введенным плоским углам (ПУ).

Для вычисления ЛУ используются многие величины, полученные вычислением по трем ПУ ТГУ. Поэтому *анализ* функциональной зависимости ЛУ и ПУ имеет большое значение, например, для проверки алгоритма и тестирования.

В созданной расчетом на Excel таблице $ЛУ = f(ПУ)$ можем рассуждением (дедукцией) как очевидное, то есть как аксиомы, определить координаты трех точек: 1) в начале таблицы при $ПУ = 0^\circ$, 2) в середине таблицы при $ПУ = 90^\circ$, 3) в конце таблицы при $ПУ = 120^\circ$ (точки дедукции). Рассмотрим эти случаи.

1) В ТГУ при всех трех плоских углах, одновременно бесконечно приближающихся к нулю, ребра приближаются к слиянию в одну линию, а линейные углы стремятся к 60° .

1, а) ЛУ могут быть не равны 60° . На макете ТГУ, полученном из листа бумаги изгибом, в котором можно изменять плоский угол одной грани, хорошо видно, что при варианте, когда уменьшается один из трех плоских углов ($ПУ_1$), ЛУ₁ с вершиной на ребре, которое расположено напротив $ПУ_1$, тоже уменьшается. И этот ЛУ₁ с вершиной, лежащей не на стороне $ПУ_1$ (расположенный напротив), может быть меньше 60° ($0^\circ \dots 180^\circ$). А из двух других ЛУ, у которых вершина лежит на одной из сторон $ПУ_1$, когда $ЛУ_1 \ll 90^\circ$, один ЛУ, который расположен напротив большего ПУ, не может быть меньше 60° . А второй, в зависимости от разности двух других ПУ ($ПУ_3 - ПУ_2$), стремится или к 90° (разность=0), или к 0° (разность $\neq 0$). И в последнем случае ЛУ может быть меньше 60° . (О некорректности исходных данных и о тестах - ниже.)

ЛУ₁, который расположен напротив $ПУ_1$, стремится к нулю в том случае, когда $ПУ_1$ стремится к разности $|ПУ_3 - ПУ_2|$. В книге [9] в тексте теоремы 2 о разности - опечатка. Нужно читать теорему 2 так: *каждый ПУ ТГУ больше (а не меньше) разности двух других его ПУ*. Читатель сам может убедиться в этом на примере ТГУ в его комнате, где плоские углы ($ПУ_1$, $ПУ_2$, $ПУ_3$) имеют положительные значения и равны 90° .

СТРАНИЦА 5 Excel

V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1 НАЙТИ КООРДИНАТЫ ВЕРШИН ТГУ ПОСЛЕ УСТАНОВКИ ОСИ ТГУ ПАРАЛЛЕЛЬНО											
2 ОСИ ШПИДЕЛЯ, ТО ЕСТЬ ПОСЛЕ ПОВОРОТА И НАКЛОНА ТГУ НА УГЛЫ СООТВЕТСТВЕН-											
3 но SigA и -(90°-F1) (см. страницу 1 Excel). F1=F1-a, ячейка F2 — это величина главного											
4 угла в плане при вершине реза-фрезы, и он же является дополнительным углом к углу наклона ТГУ.											
5 Для ПОВОРОТА основания ТГУ (страница 5) перед наклоном НПС вводим угол Ea. Ea — это угол											
6 со знаком от оси X к ребру АО на основании ТГУ. А ребро АО — это сторона угла sigA ВВОДИМ Ea в											
7 Excel (страница 5) в ячейки AC40...AC51. Поворот в град. для каждого ТГУ (см. стр.3 Excel) - бордовая											
8 колонка S40...51. Угол Ea<0 (отрицательный), если ось X для совмещения с ребром OA надо поворачи-											
9 чивать по часовой стрелке, и положительный когда против часовой стрелки.											
10 Учитывая, что мы сами выбираем положение системы координат, угол Ea всегда можно определить по											
11 чертежу детали. Луч OD, выходящий из вершины плоского угла основания ТГУ, образует с осью											
12 стороны плоского угла AOB основания ТГУ два угла: SigA и SigB (см.Excel страница 1, строка 3).											
13 Не забываем, что цель поворота - установить направление луча OD против направления											
14 оси X и одновременно установить луч OD параллельно оси X.											
15 После поворота к последующим наклоном, вершина ТГУ окажется внизу, а ось ТГУ будет уста-											
16 новлена параллельно оси шпиделя, и внутренняя поверхность ТГУ будет доступна для обработки.											
17 ВВОДИМ "исходные" координаты X Y Z вершины ТГУ - строки 40...51. Обычно координаты X,Y,Z											
18 берут с учетом выбора начала системы координат. При наклоне-повороте X,Y,Z изменяется в											
19 зависимости от углов F1, SigA и параметров НПС. Параметры (скаляры) НПС ВВОДИМ (AC32,AE32):											
20 L - расстояние от оси поворота (ОП) НПС к оси наклона (ОН); M - расстояние от точки начала системы											
21 координат детали, выбранной на ОП НПС к плоскости, проходящей через ОН НПС перпендикулярно ОП.											
22 "Окончательный результат" поворота и наклона координат вершин ТГУ (см. таблицу на											
23 странице 5, строки 40...51) используется для переноса системы координат в УП — функция G92X*Y*Z.											
24 Нужно учитывать, что в каждую отдельную строку 40...51 вводим "исходные" одного ТГУ (см.											
25 тут же "НТГУ"). И при заполнении строки больше одной допустимо использовать значения											
26 плоских углов ТГУ и вычисленный по ним угол наклона только одного значения для всех											
27 ТГУ. То есть можно заполнить не одну строку 40...51 страницы 5 для ТГУ, отличающихся только											
28 координатами вершин. Например, в детали тип "шпик" четыре ТГУ, и в каждом все три Пу равны											
29 90° (с линейным уклоном 3° — плоские углы на боковых гранях в ТГУ одинаковы и равны -93°). И											
30 для всех ТГУ "рящика" угол наклона один и применяется один резац-фреза. А коорд.вершин ТГУ разные.											
31											
32 ВВЕСТИ параметры НПС (мм): L= 0,000 M= 0,000											
33 Вызванный наклоном перенос координат: (по X) a= 0,000 (по Z) c= 0,000											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											

Рис. 7. Страница 5 Excel

СТРАНИЦА 7 Excel

Точки 1...121: таблица ПУ=f(LУ) — под ней механизм для интерполяции

1..31	ЛУ	ПУ	32...61	ЛУ	ПУ	62...91	ЛУ	ПУ	92...121	ЛУ	ПУ
60,00000	0,00000	0,00000									
60,00252	1,00000	62,51312	31,00000	70,94274	61,00000	91,01776	91,00000				
60,01008	2,00000	62,68459	32,00000	71,36832	62,00000	92,07235	92,00000				
60,02268	3,00000	62,86241	33,00000	71,80587	63,00000	93,16584	93,00000				
60,04033	4,00000	63,04668	34,00000	72,25572	64,00000	94,30049	94,00000				
60,06304	5,00000	63,23749	35,00000	72,71825	65,00000	95,47878	95,00000				
60,09081	6,00000	63,43495	36,00000	73,19383	66,00000	96,70342	96,00000				
60,12367	7,00000	63,63915	37,00000	73,68286	67,00000	97,97741	97,00000				
60,16162	8,00000	63,85022	38,00000	74,18578	68,00000	99,30406	98,00000				
60,20468	9,00000	64,06826	39,00000	74,70301	69,00000	100,68700	99,00000				
60,25288	10,00000	64,29340	40,00000	75,23508	70,00000	102,13046	100,00000				
60,30623	11,00000	64,52577	41,00000	75,78232	71,00000	103,63891	101,00000				
60,36476	12,00000	64,76549	42,00000	76,34542	72,00000	105,21759	102,00000				
60,42850	13,00000	65,01271	43,00000	76,92485	73,00000	106,87239	103,00000				
60,49747	14,00000	65,26756	44,00000	77,52121	74,00000	108,61003	104,00000				
60,57171	15,00000	65,53020	45,00000	78,13510	75,00000	110,43288	105,00000				
60,65126	16,00000	65,80078	46,00000	78,76717	76,00000	112,36614	106,00000				
60,73615	17,00000	66,07947	47,00000	79,41810	77,00000	114,40421	107,00000				
61,12995	21,00000	67,27881	51,00000	82,22559	81,00000	123,95390	111,00000				
61,24220	22,00000	67,60074	52,00000	82,98263	82,00000	126,79785	112,00000				
61,36007	23,00000	67,93191	53,00000	83,76362	83,00000	129,89668	113,00000				
61,48363	24,00000	68,27255	54,00000	84,56961	84,00000	133,28219	114,00000				
61,61293	25,00000	68,62288	55,00000	85,40174	85,00000	137,05067	115,00000				
61,74803	26,00000	68,98315	56,00000	86,26122	86,00000	141,30961	116,00000				
61,88901	27,00000	69,35360	57,00000	87,14933	87,00000	146,25004	117,00000				
62,03593	28,00000	69,73451	58,00000	88,06747	88,00000	151,42083	118,00000				
62,18887	29,00000	70,12614	59,00000	89,01715	89,00000	160,22526	119,00000				
62,34790	30,00000	70,52878	60,00000	90,00000	90,00000	180,00000	120,00000				
ЛУ	ПУ	ЛУ	ПУ	ЛУ	ПУ	ЛУ	ПУ				

Рис. 9. Страница 7 Excel

СТРАНИЦА 6 Excel. Игтор.

Ячейки, в которые вводим числа, имеют желтую заливку.

ВВОДИМ В ЛЮБЫХ СЛУЧАЯХ то, что перечислено в пунктах 1), 2), 3), 4), 5):

- 1) плоские углы ТГУ; страница 1 F1, i1, L1—углы AOB, BOC, COA;(соблюдать свойства пл.углов)
- 2) на какие длины вдоль ребер фрезеровать F51,F52,L53 (La,Lb,Lc); и при этом Zn=Z45-страница 1
- 3) исходные координаты вершин ТГУ страница 5: Хисходн., Уисходн., Зисходн.;
- 4) а) угол Ea (со знаком) между осью X и ребром OA основания; б) параметры НПС — L и M (AC33,AE33)
- 5) высоту dZ=C2 (удаление от вершины ТГУ) для многопроходной фрезеровки вдоль ребер; для чистового прохода вводим C2=0.

ВВОДИМ ДОПОЛНИТЕЛЬНО:

- 6) при обработке по строчкам вводим кроме пунктов 1...5 еще колонку цифр Zn — высоту от вершины ТГУ к плоскости строчек C6,C7,C8.....C47,C48,C49; Для этого вводим ТОЛЬКО приращение в C6 ВВОДИМ значения плоских углов, когда вместо плоских углов заданы линейные углы;
- 7) вводим плоские углы (см. п1)) методом последовательных приближений, ориентируясь на линейные углы ЛУа, ЛУв, ЛУс P52, P53, P54 (см. стр. 3). Подробней на стр.4
- 8) ВВОДИМ (страница 5) для преобразования координат вершин ТГУ:
- 9) исходные координаты XYZ вершины ТГУ
- 9) угол поворота для преобразования исходных координат. Автоматически используется угол F1 (F2) После ввода и нажатия Enter ПОЛУЧАЕМ (ниже пункты 1.,2.,3.) углы поворота-наклона НПС, координаты для построения кадров подпрограмм с центром координат на вершине ТГУ, координаты вершин ТГУ.

1. На странице 1 данные для построения кадров подпрограмм фрезеровки строчками граней ТГУ. Например: после сверления вдоль оси до вершины ТГУ, до касания трех граней формируем кадры

N0Zn - подняться на Zn (n=1) к плоскости первой строчки;
N1XaYa - подойти к ребру АО на первой грани;
N2XbYb - фрезеровать строчкой поверхность первой грани до ребра ВО;
N3XcYc - фрезеровать строчкой поверхность второй грани до ребра СО;
N1XaYa - фрезеровать строчкой поверхность третьей грани до ребра АО;
N0Zn - подняться на Zn (n=2) от вершины к плоскости ВТОРОЙ строчки;
N1XaYa - подойти к ребру АО на первой грани;
N2XbYb - фрезеровать строчкой поверхность первой грани до ребра ВО;
N3XcYc - фрезеровать строчкой поверхность второй грани до ребра СО;
N1XaYa - фрезеровать строчкой поверхность третьей грани до ребра АО;
N0Zn - подняться на Zn (n=3) от вершины к плоскости третьей строчки и

...и т.д. Поднявшись по Z от вершины, фрезеруем грани по строчкам.

2. В конце страницы 1 - пять кадров (NON4N5N6N7) для построения подпрограммы фрезеровки вдоль ребер к вершине ТГУ

N0X0Y0Zn n=45 - исходная точка (высота) над ТГУ ВВОДИМ
N4XaYaZn n=46 - точка на ребре АО
N7Z(C2)X0Y0 - координаты общей точки; к ней приходим, фрезеруя вдоль ребер
N0X0Y0Zn n=45 - исходная точка (высота) над ТГУ. Подняться
N5XbYbZn n=47 - точка на ребре ВО
N7Z(C2)X0Y0
N0X0Y0Zn n=45 - исходная точка (высота) над ТГУ. Подняться
N6XcYcZn n=48 - точка на ребре СО
N7Z(C2)X0Y0
N0X0Y0Zn n=45 - исходная точка (высота) над ТГУ. Подняться

3. На странице 5 даны кадры N101X...Y...Z.....N112X...Y...Z.... — координаты вершины ТГУ. Они даны в отдельной строке для каждого ТГУ (при разных поворотах, но с одинаковым наклоном). Кадры (см. выше п.1.,2.,3.) можно копировать, перейти в заранее созданный текстовый файл и ВСТАВИТЬ. Затем редактировать как текст УП текстовым редактором. Например, в колонках кадров А,Б,С стр.1 редактором перед каждой колонкой из цифр выделяем колонку из пусто. Далее редактором заменяем пусто на, соответственно, или X или Y. Затем колонку N1XaYa копируем правее колонку N3XcYc и переводим к форме УП как в п.1.: все кадры в один столбик. Все делаем редактором, не набирая числа.

Рис. 7. Страница 5 Excel

2) Если в ТГУ плоские углы равны 90°, то и линейные углы равны 90°, т.к. плоскости граней между собой перпендикулярны.

3) При плоских углах, равных 180°. В этом случае ребра и грани ТГУ будут находиться в одной плоскости.

Эти три значения точек дедукции (ПУ, ЛУ), найденные для доказательства аксиоматическим методом [10], абсолютно совпадают с вычисленными на Excel. В том числе и случай, описанный в пункте 1, а (смотрите тесты на стр.3 Excel).

А то, что эти три значения функционально связаны как одно целое со значениями всей таблицы ЛУ = f (ПУ), доказали конечными разностями [8].

Наша таблично заданная функция определена на интервале (0°;120°) (на концах интервала ТГУ не существует).

Функцию без потери точности можно заменить многочленом девятой степени (погрешность округления проявляется в разностях 9-го порядка).

Функция ЛУ = f (ПУ) неразрывная и не имеет точек излома, перегиба, экстремума. Она монотонно возрастает (при равных ПУ от 60 до 180°) с увеличивающейся скоростью.

На стр. 4 Excel (рис. 6) описано вычисление плоских углов методом последовательных приближений по заданным линейным углам ПУ = f (ЛУ). Метод можно назвать методом итераций, поскольку

ПУ вычисляются по части от разности ($ЛУ_n - ЛУ_{n-1}$). А «часть» вычисляем по предыдущей «части»: $(часть)_n = \varphi((часть)_{n-1})$. Или в других обозначениях $x_n = \varphi(x_{n-1})$, $x = \varphi(x)$, что является признаком метода итераций [11].

Но при вычислении ПУ итерациями нужно задавать исходные линейные углы корректно, чтобы вычисленные числа имели свойства ПУ: сумма ПУ ТГУ должна быть меньше 360° , а каждый ПУ должен быть больше разности и меньше суммы двух других ПУ [9] (см. п. 1, а).

На стр. 3 Excel приведена таблица некоторых тестов на итерации. В ней приведены тесты, когда для итераций вводятся три ЛУ, которые больше 90° , меньше 90° , больше и меньше 90° , когда один ЛУ меньше 60° .

Все они сходятся к решению. Но есть два теста, в которых два ЛУ меньше 60° , один из них сходится, а другой не сходится! Т.к. (см. п. 1, а) при остром $ЛУ_1$ (его вершина находится на ребре, которое лежит напротив $ПУ_1$) один из двух линейных углов ($ЛУ_2$ или $ЛУ_3$) с вершиной на стороне $ПУ_1$ не может быть меньше 60° (т. е. исходный ЛУ задан некорректно).

Числовой ряд, полученный вычислением разностей линейных углов, заданных и вычисленных итерациями, обладает абсолютной сходимостью. А это значит (кроме того, что модули членов ряда - тоже сходящийся ряд [8]), что вычисление итерациями ПУ как функция от ЛУ возможно на всем интервале значений линейных углов.

На страницах Excel дан расчет итерациями специального теста на гипотетический ТГУ, для которого исходными даны ЛУ. Расчет $ПУ=f(ЛУ)$ сходится. Но в реальных условиях детали с малыми значениями ПУ не встречаются.

На стр. 7 Excel (рис. 9) дана таблица $ПУ = f(ЛУ)$. Т.к. она вычислена при помощи Excel как таблица $ЛУ = f^1(ПУ)$, в которой поменяли местами аргумент ЛУ и функцию ПУ, то в столбике аргумента ЛУ, во-первых, шаг таблицы неодинаковый, а, во-вторых, дробная часть аргументов имеет недопустимо много десятичных знаков, которые не могут быть и не будут заданы в чертеже детали. Например, нельзя найти ПУ по $ЛУ = 90,5^\circ$.

Вопрос решаем интерполяцией. Ниже таблицы $ПУ = f(ЛУ)$ вводим в механизм интерполяции чертежное число ЛУ. И вводим координаты ближайших к нему двух точек (или четырех). Получаем ПУ. По координатам четырех точек находим координаты одной точки следующим образом. Сначала находим ЛУ по взятому из чертежа аргументу и по четырем точкам 1, 2, 3, 4, взятым из таблицы $ПУ = f(ЛУ)$, три точки: две как задачу экстраполяции, соответственно, по точкам 1, 2 и 3, 4, а одну как задачу ин-

терполяции по точкам 2, 3 [11]. Затем вычисляем координаты одной точки по найденным трем как среднее арифметическое их координат.

Таблица $ПУ = f(ЛУ)$ выполнена с достаточно малым шагом. Учитывая это, нецелесообразно применять более точную интерполяционную формулу, например, Бесселя [11], т.к. при вычислении она может быть более чувствительна к погрешности вводимых чисел (например, к погрешности округления). Не толерантная система. То же самое (но с меньшей надежностью оценки [14]) можно сказать и про сглаживающий метод наименьших квадратов [11], но он еще и очень громоздкий.

Заключение

Ясно, что в предлагаемом способе обработки нужно оптимизировать режимы резания, эргономику и дизайн. Но практические вопросы разработки УП по фрезеровке внутренней поверхности ТГУ решены. Необходимые расчеты целесообразно перевести в ЭВМ станка с ЧПУ как «цикл трехгранного угла» (можно и как несколько «циклов») по аналогии с многими «циклами», уже имеющимися в станках с ЧПУ.

Например, «цикл глубокого сверления», «цикл нарезания резьбы». В источнике [13] приводятся уже существующие 24 «цикла».

Описанный способ обработки внутренней поверхности трехгранного угла, кроме упомянутого применения в инструментальном и опытно-производстве, можно применить и в аэрокосмических технологиях при изготовлении волноводных устройств и корпусов для микросборок. Как следствие, появится возможность изменить конструкцию изделия в сторону улучшения его параметров (например, применить галтели «R0,3 не более»).

Литература

1. А.с. 304068 СССР, МПК В23С 3/26. Способ фрезерования глухих трехгранных углов углублений в деталях [Текст] / В.А. Кизин, Б.В. Соколов (СССР). – № 1308311/25–8; заявл. 03.03.1969; опубл. 25.05.1971, Бюл. № 17. – 3 с.
2. Косилова, А.Г. Справочник технолога–машиностроителя [Текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мецеракова. – М.: Машиностроение, 1972. – 695 с.
3. Косилова, А.Г. Справочник технолога–машиностроителя [Текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мецеракова. – М.: Машиностроение, 1985. – 655 с.
4. Фельдштейн, Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ [Текст] / Е.С. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Москва–Минск, ООО «НОВОЕ ЗНАНИЕ», 2008. – 299 с.
5. Станки с числовым программным управлением (специализированные) [Текст] / Под ред. В.А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1988. – 565 с.

6. Улановский, О.О. Ручное и машинное гравирование [Текст] / О.О. Улановский – Л.: Машиностроение, 1990. – 206 с.

7. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки [Текст] / Под ред. В.А. Волосатова – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1988. – 718 с.

8. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1962. – 634 с.

9. Справочник по элементарной математике [Текст] / П.Ф. Фильчаков [и др.]. – К., Наукова думка, 1972. – 528 с.

10. Толковый словарь математических терминов [Текст] / О.В. Мантуров [и др.]; под ред. проф. В.А. Диткина. – М.: Просвещение, 1965. – 539 с.

11. Зельдович, Я.Б. Элементы прикладной математики [Текст] / Я.Б.Зельдович, А.Д. Мышкис. – 3-е изд. – М.: Наука, 1972. – 592 с.

12. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – 8-е изд. – М., Наука, 1966. – 872 с.

13. FMS-3000. Устройство ЧПУ на базе промышленного компьютера. Программирование управляющих программ. Редакция 4.0. Нижний Новгород: ООО "Медмаш-Софт", 2009. – 92 с.

14. Румицкий, Л.З. Элементы теории вероятностей [Текст] / Л.З. Румицкий. – 4-е изд. – М.: Наука, Главная ред. физ.-мат. литературы, 1970. – 256 с.

15. Патент 58039 Украина, МПК В23С 3/26. Способ обработки внутренних поверхностей трехгранных углов деталей на станках с ЧПУ [Текст] / Лякун С.Ф., Юркевич В.Е. Заявитель и патентообладатель Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», Запорожье. – № 201011161; заявл. 17.09.10; опубл. 25.03.11, Бюл. № 6. – 3 с

Поступила в редакцию 25.08.2011

Рецензент: начальник конструкторско-технологического отдела автоматизированных производственных систем А.Н. Шарко, Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», Запорожье.

СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ТРИГРАННИХ КУТІВ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

С.Ф. Лякун, В.Є. Юркевич

Описаний оригінальний спосіб розробки керуючої програми (КП) для обробки внутрішньої поверхні тригранного кута (ТГК) в одиничних виробництвах: аерокосмічному, дослідному, інструментальному, спеціальних верстатів. Необхідні розрахунки і методика їх перевірки описані на прикладі Microsoft Excel. Для цього наведені як малюнки сім сторінок Microsoft Excel, в тому числі таблично задана функція – плоский кут ТГК як функція від лінійного кута з толерантним механізмом інтерполяції. Наданий аналіз тестування. Підняте питання розрахунку і створення КП для обробки внутрішньої поверхні ТГК як “циклів” верстата з ЧПК.

Ключові слова: тригранний кут, керуюча програма, ітерації, дедукція, скінченні різниці, цикл верстата з ЧПК, інтерполяція, екстраполяція, числові ряди, толерантна система, аксіоматичний метод, надійність оцінки.

CREATION OF CONTROL PROGRAMS FOR MECHANICAL TREATMENT OF INTERNAL SURFACE OF TRIHEDRAL ANGLES OF PARTS ON NC MACHINE

S.F. Lyakun, V.E. Yurkevich

There is described the way of development of control program (CP) for process of internal surface of trihedral angle (TA) in single productions: aerospace, experienced, instrumental, special tools. Necessary calculations and methods of their check are described for example Microsoft Excel. For this there are as drawings it's seven pages Microsoft Excel in addition given function as a table – flat angle of TA as a function from linear angle with tolerant mechanism of interpolation. There is given analyse of testing. There is arise a question of calculation and creation CP for processing of internal surface of TA as cycles of tool with NC machines.

Key words: trihedral angles, control program, iterations, deduction, finite differences, cycle of NC machine, interpolation, extrapolation, number series, tolerant system, axiomatic method, bound reliability.

Лякун Станислав Федорович – инженер конструкторско-технологического отдела автоматизированных производственных систем, Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», Запорожье, Украина.

Юркевич Владимир Евгеньевич – заместитель главного технолога, Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», Запорожье, Украина.