

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ НА ТРЕХКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ В УСЛОВИЯХ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

¹Абзалов А.Р., ¹Аль Обайди Мохаммед Раджаб, ¹Печенкин М.В.

¹ ГОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева», Казань, Россия (420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10), e-mail: tmp-tpd@kai.ru

Статья посвящена вопросам проектирования операций механической обработки при трехкоординатном фрезеровании в условиях опытно-экспериментального и вспомогательного производства. Рассмотрен подход к проектированию операций фрезерования на трехкоординатных фрезерных станках с ЧПУ в условиях опытно-экспериментального производства, ориентированный на сокращение необоснованных затрат на обработку и более эффективное использование данного оборудования. Компьютерная симуляция обработки выполнена в программном средстве системы автоматизированного проектирования технологических процессов с применением специально разработанного симулятора станка Fanuc Robodrill. Для выполнения компьютерной симуляции механической обработки и учета факторов, влияющих на результат, были дополнительно смоделированы средства технологического оснащения. Моделирование механической обработки было осуществлено для различных вариантов подбора режущего инструмента. Разработанная модель позволяет осуществлять подбор режущего инструмента и назначение режимов резания по результатам компьютерной симуляции и оценки по модели трудоемкости механической обработки, учитывающей идеологию «Бережливого производства».

Ключевые слова: проектирование технологий, ЧПУ, симуляция, фрезерование, бережливое производство.

PROCESS PLANNING FOR THREE AXIS MILLING IN EXPERIMENTAL PRODUCT MANUFACTURING KONDITION WITH LEAN PRODUCTION IDEOLOGY CONSIDERATION

¹Pechenkin M.V., ¹Luay Mohammed Rajab AL-Obaidi, ¹Abzalov A.R.

¹Kazan State National Research University n.a. A.N. Tupolev, Kazan, Russia (420111, Kazan, street K.Marksa, 10), E-mail: kai@kai.ru

Article is devoted to the design of machining operations in the five-axis milling under an experimental and auxiliary production. An approach to the planning of milling operations on triaxial CNC milling machines under development - an experimental production oriented at reducing unjustified costs for processing and more efficient use of the equipment. Computer simulation of processing performed in software computer aided design processes using a specially designed simulator machine Fanuc Robodrill. To perform a computer simulation of machining and accounting factors affecting the results were modeled by means of an additional technological equipment. Machining simulation was performed for different variants of selection of the cutting tool. The developed model allows the selection of cutting tools and cutting conditions for the appointment of the results of computer simulation and evaluation model the complexity of machining, which takes into account the ideology of "lean production".

Keywords: process planning, numerical control, simulation, milling, lean production.

В условиях опытно-экспериментального и вспомогательного производства широкое распространение имеет обработка заготовок на трехкоординатных фрезерных станках с ЧПУ. Эффективное использование данного оборудования зависит от многих факторов, к числу которых можно отнести:

- выбор рациональной стратегии обработки;
- подбор инструмента и технологической оснастки;
- назначение режимов обработки;

- использование возможностей, заложенных в станок;
- осуществление контроля результатов обработки непосредственно на станке.

Современные инструментальные средства технической подготовки производства позволяют на этапе проектирования во многом учесть влияние этих факторов. Даже если не строить аналитически разрешимой или численно разрешимой математической модели процесса, остается необходимость рационально спланировать и поставить серию экспериментов, основанных на компьютерной симуляции процесса с последующей систематизацией, смысловой интерпретацией результатов и принятием решения.

Для разработки управляющих программ широко используются различные САМ-системы, например Siemens NX.

Разработка в САМ-системах осуществляется по геометрическим моделям деталей, при этом система предоставляет разработчику набор инструментальных средств типовых методов обработки. Однако возможных стратегий обработки – множество [4; 5].

Каждый разработчик ориентируется на свой опыт, интуицию, что не гарантирует оптимальности выбранного подхода ни с точки зрения трудоемкости, ни с точки зрения затрат по различным факторам (инструменту, лишним движениям станка, не связанным с обработкой, недоиспользованию возможностей конкретного станка и т.д.).

Наличие возможности оценки вариантов может быть обеспечено инструментальными средствами имитационного моделирования и возможностью постановки планируемого эксперимента в виде компьютерной симуляции [7; 8]. Для этой цели был разработан симулятор станка Fanuc – Robodrill (рис. 1)

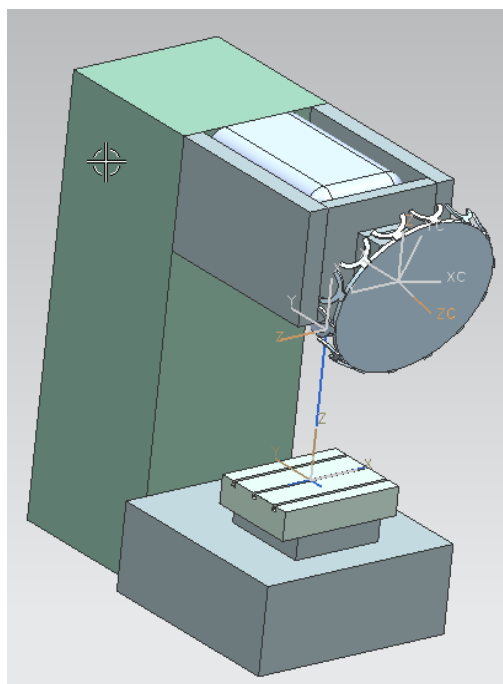


Рис. 1. Разработанный симулятор станка Fanuc – Robodrill

Симулятор станка состоит из нескольких спроектированных компонентов, обеспечивающих функциональные связи элементов «станок-приспособление-инструмент-деталь».

Наладка станка определяется компонентами SETUP, которые определяются при симуляции процесса обработки на станке. Модель детали определяется как элемент PART, оснастка, в частности, как прижимы, захваты определяются как элементы FIXTURE .

Инструментальный магазин моделируется компонентой TOOL_MAGAZIN.

Остановимся на компоненте TOOL_ARM, имеющей ось V. При повороте вокруг оси V адаптер с патроном позиционируется по торцам шпинделя, позволяя осуществлять смену инструмента. Выбор одного из четырнадцати находящихся в магазине станка инструментов осуществляется поворотом магазина относительно оси C. Перемещение осуществляется дискретно на угол, кратный 360/14, а позиционирование задаётся номером инструмента.

Для выполнения компьютерной симуляции обработки и учета факторов, влияющих на результат, были смоделированы средства технологического оснащения.

Наиболее неоднозначным, но достаточно сильно влияющим на общий результат, является подбор режущего инструмента. Режущий инструмент, например концевые фрезы, могут выбираться по каталогам и заказываться для решения текущих задач обработки, но спектр возможных вариантов может существенно различаться как по геометрическим характеристикам, так и по стоимости. Выбранный инструмент в значительной мере предопределяет режимы, на которых будет вестись обработка. Режимы, в свою очередь, определяют производительность обработки.

На трехкоординатном фрезерном станке с ЧПУ выполняются, как правило, операции: фрезерование концевыми и торцовыми фрезами плоских поверхностей, сверление, растачивание, резбонарезание, резбофрезерование, обработка фасонных поверхностей.

Режимы фрезерования, например для обработки концевыми фрезами, определяются либо по справочным данным [1], либо по материалам или программам от поставщиков режущего инструмента [6].

В условиях опытно-экспериментального производства для исходных заготовок используются простые геометрические формы: призмы, цилиндры. Черновые операции осуществляют выборки массивов материала, обработка может осуществляться с перезакреплениями и переустановками. На данном этапе ставится задача увеличения производительности и сокращения затрат, в том числе на режущий инструмент.

Скорость съёма материала может быть оценена по результатам компьютерной симуляции либо по зависимости:

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f}{1000}, \text{ мм}^3/\text{мин}, \quad (1)$$

где a_p - глубина резания, мм;

a_e - глубина резания, мм;

v_f - подача стола станка, мм/мин.

Ограничения накладываются по потребляемой мощности и усилиям в направлении движения подачи.

Выбор режущего инструмента может осуществляться несколькими способами, например концевые фрезы, с варьированием диаметра. При заданных рекомендуемых соотношениях глубины и ширины фрезерования время обработки будет меняться, соответственно при заданной стойкости фрезы (при условии, что она не перетачивается) можно оценить затраты на инструмент:

$$Z_{и} = \frac{c \cdot t}{T},$$

где $Z_{и}$ – затраты на инструмент, руб.; t – время работы инструмента, мин; c – покупная цена инструмента, руб.; T – стойкость инструмента, мин.

В качестве примера рассматриваемого подхода была осуществлена выборка массива

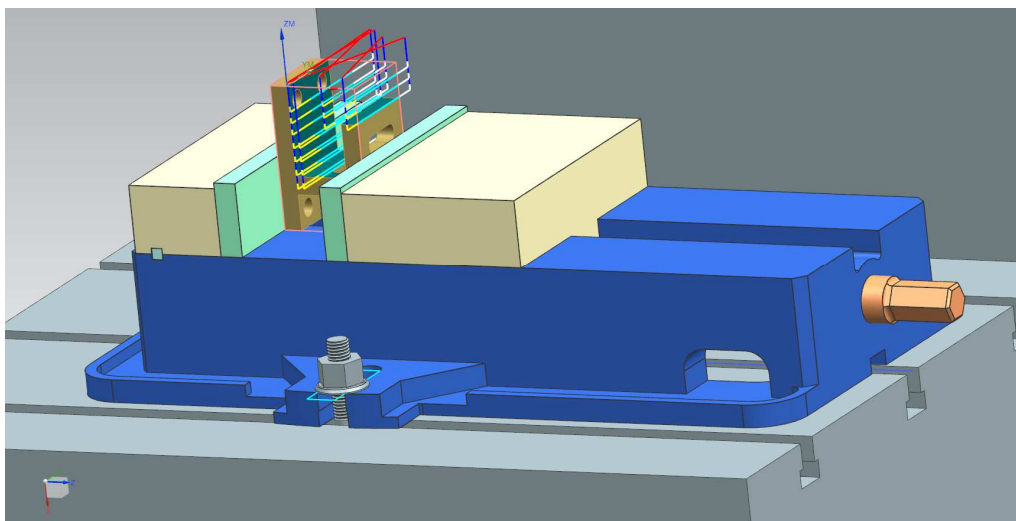


Рис. 2. Симуляция обработки, связанной с выборкой массива материала

материала детали технологической оснастки (сталь У10А, НВ180...200). Из располагаемого инструмента операцию можно было осуществить фрезами диаметром 16, 20, 25 мм. Для каждой фрезы были подобраны возможные режимы обработки. Далее моделировались все варианты обработки, и осуществлялась оценка результатов.

Для рассматриваемого выше случая результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты подбора инструмента

D, мм	B, мм	t, мин	S _z	V	Время обработки, мин	Длина, мм	Цена, руб.	Затраты, руб.
16	5	16	0,05	69	14	4250,5	400	62,22
			0,1	55	9			40
20	6	20	0,05	75	13,87	4250,5	600	92,47
			0,1	60	8,77			58,47
			0,2	53	5,08			33,87
25	8	25	0,05	80	16,38	4174,8	800	145,6
			0,1	64	10,33			91,82
			0,18	50	7,42			65,96

Для чистовой обработки важно обеспечить требуемую точность и шероховатость, подбор инструмента в данном случае тоже неоднозначен. Например, для чистовой обработки фасонных поверхностей детали (рис. 4) по каталогу можно подобрать несколько вариантов инструмента.

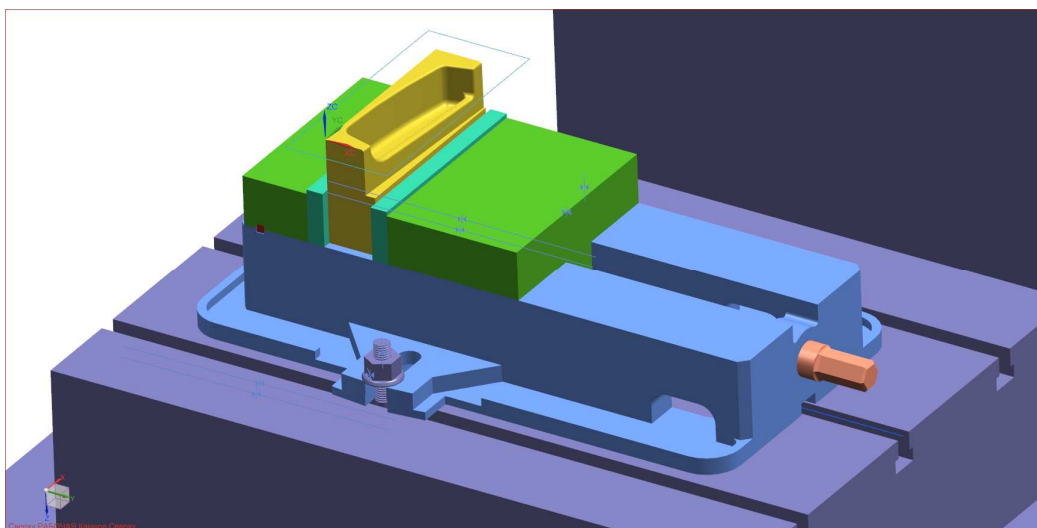


Рис. 3. Наладка для чистовой обработки фасонных поверхностей

Результат моделирования при различных вариантах подбора инструмента представлен в таблице 2.

Таблица 2

Результаты оценки варианта подбора инструмента на чистовую обработку

D, мм	f _z	V	a _p , мм	t, мин	L, мм	Цена, руб.	Затраты на инструмент, руб.
3	0,05	202	7	5,35	16526,4	3000	178,3
4	0,08	202	8	3,8	14874,8	4500	190

5	0,09	202	10	3,43	13116,7	6800	228,7
6	0,1	202	10	3,23	12366,7	8800	287

При выборе инструмента решение принимается по результатам оценки исходя из минимальных стоимостных затрат.

Каждая технология, принятая для исполнения в виде электронной таблицы, сохраняется в общую базу. Применяемые средства технологического оснащения статистически обрабатываются для учета частоты применения и, соответственно, учета их при организации рабочего места, по аналогии с рекомендациями научной организации труда [2; 3].

Операции контроля могут осуществляться на самих станках с применением трехкоординатных щупов. При наличии отклонений от требуемых результатов за пределами допуска исходная геометрическая модель, по которой разрабатывалась программа, может корректироваться. Корректирование исходной конструкторской модели может осуществляться аналитически, путем редактирования формообразующей геометрии. Если кривые, в частности плоские кривые, заданы аналитически, например $y = f(x)$ - уравнение кривой (рис. 5), то $y - y_1 = k(x - x_1)$ - уравнение касательной к данной кривой, проходящей через точку $(x_1; y_1)$. Здесь $k = f'(x_1)$. Уравнением нормали к данной кривой будет

$y - y_1 = -\frac{1}{f'(x_1)}(x - x_1)$. Коррекция будет осуществляться по результатам контроля при

обработке пробной заготовки, в противоположном направлении на расстояние

$l = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$, здесь l - длина отрезка, заданного координатами крайних точек.

Для формообразующих сплайнов на отдельных участках данные вычисления могут осуществляться с применением регрессионных моделей.

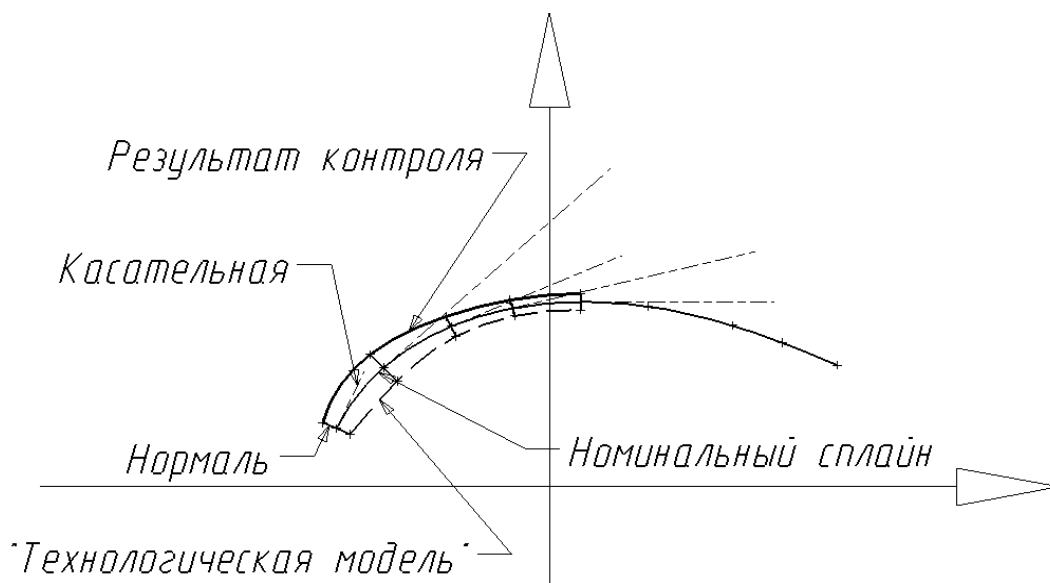


Рис. 4. К расчету величины коррекции по результатам контроля.

Таким образом, на этапе проектирования технологии механической обработки на трех координатных станках с ЧПУ осуществляется подбор режущего инструмента и назначение режимов резания по результатам компьютерной симуляции и оценки по модели трудоемкости механической обработки, что существенно сокращает затраты на отладку технологии механической обработки.

Список литературы

1. Баранчиков В.И., Жаринов А.В., Юдина Н.Д., Садыхов А.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. - М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Джеймс П. Вумек. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / пер. с англ. – 2004. - 473 с.
3. Краснитский Г.Н., Быков Е.Ф. Типовые проекты организации труда на рабочих местах станочников. – М., 1977.
4. Курылев Д.В., Лунев А.Н. Снижение кинематической погрешности при механической обработке межлопаточных каналов моноколеса кольцевым режущим инструментом // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности : сб. трудов Междунар. научно-практ. конф. АКТО-2014 (5-8 августа 2014 г.). - С. 393-395.
5. Лунев А.Н., Моисеева Л.Т., Курылев Д.В. Моделирование глубинного фрезерования пространственно-сложных поверхностей деталей из условия обеспечения заданной высоты

межстрочных гребешков в CAD/CAM системе Siemens NX // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. - № 2. – С. 108-111.

6. Новые инструменты и решения 15.1. - URL: <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/downloads/pages/search.aspx?q=Publications>.

7. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Расчет положения производящих линий при формообразовании боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16410> (дата обращения: 05.11.2015).

8. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Кинематика формообразования боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи концевым инструментом // Фундаментальные исследования. – 2014. - № 12 (Ч. 11). - С. 2310-2314.

Рецензенты:

Газизуллин К.М., д.т.н., профессор кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет» Минобрнауки РФ, г. Казань;

Лунев А.Н., д.т.н., профессор кафедры «Технологии машиностроительных производств» ФГОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева» Минобрнауки РФ, г. Казань.