

УДК 621.01

Медведев В. В.

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА

В современном машиностроительном производстве всё чаще внедряются обрабатывающие центры (ОЦ), а на их основе гибкие автоматизированные участки (ГАУ). Высокая производительность и гибкость таких систем позволяют производить большую номенклатуру деталей за короткие промежутки времени. Так, за одну смену токарный ОЦ может полностью обработать с переустановкой в контршпиндель до 100 различных деталей [1], обработка которых на универсальном оборудовании в традиционном производстве заняла бы не менее суток трёхсменной работы.

Данный аспект требует высочайшей производительности системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) [2]. Уменьшение общей продолжительности построения отдельного технологического процесса уже невозможно экстенсивными методами, то есть методом значительного увеличением количества рабочих мест технологов. Это связано с тем, что при таком увеличении рабочих мест общая производительность САПР увеличивается, но время создания отдельной взятой технологии существенно не сокращается.

Существующее программное обеспечение САПР ТП так же не позволяет добиться значительного сокращения времени проектирования технологического процесса. В основном, они позволяют упростить выбор технологического оборудования и оснащения [3]. Другой класс программ позволяют строить техпроцессы по обобщённым технологическим процессам [4] или планам обработки отдельных поверхностей. Оба класса программных продуктов не позволяют полностью автоматизировать составление технологических процессов.

Целью исследований является создание принципиально новой системы проектирования технологических процессов на основе полного перебора вариантов и выбор лучших на основе опыта, накопленного в модуле искусственного интеллекта.

Для обеспечения принципа модульности гибкого автоматизированного производства предлагается аппаратно-программное обеспечение САПР ТП перенести на контроллеры ЧПУ ОЦ. Это исключит необходимость передачи информации о нюансах работы конкретного ОЦ в центральную САПР. При таком методе построения выход на ремонт одного из ОЦ позволит в кратчайшие сроки переписать технологии производства детали уже без данного ОЦ. Ввод в эксплуатацию нового ОЦ или модернизацию существующего ОЦ потребует коррекцию САПР только указанного ОЦ, а не всего САПР.

Каждый ОЦ получает задание на построение одной операции по чертежу заготовки и чертежу необходимой детали. По этим данным и информации о собственных технологических возможностях с учётом нюансов поломок и износа ОЦ строится несколько вариантов технологической операции. Для этого в каждом ОЦ выбирается закрепление и оснастка, режущий инструмент и переходы, генерация вариантов построения операции. Первой же задачей САПР ТП при ОЦ стоит генерация схем базирования.

Таким образом, одной из задач исследований стало построение модуля генерации схем базирования, который бы позволял:

1. генерировать все варианты базирования методом полного перебора;
2. отбрасывать технически невозможные варианты;
3. сортировать варианты по точности базирования;
4. исключать неперспективные схем базирования на основе предыдущего опыта.

По ГОСТ 21495-76 каждая поверхность заготовки может нести от нуля до четырёх опорных точек базирования. В зависимости от технологической задачи, при базировании заготовки в приспособлении она может нести на себе от трёх до шести опорных точек. Для

САПР удобнее оперировать с понятием баз, т. к. они более приближены к понятиям поверхностей заготовки. Для поверхностей сложной конфигурации, исходя из ГОСТ 21496-76, удобнее применять скрытые базы. Например, поверхности деталей с двумя или тремя поверхностями, представленными на рис. 1, может быть представлены как с материальными, так и со скрытыми базами. Но при этом скрытые базы намного проще формализуются, что даёт преимущество особенно на криволинейных поверхностях.

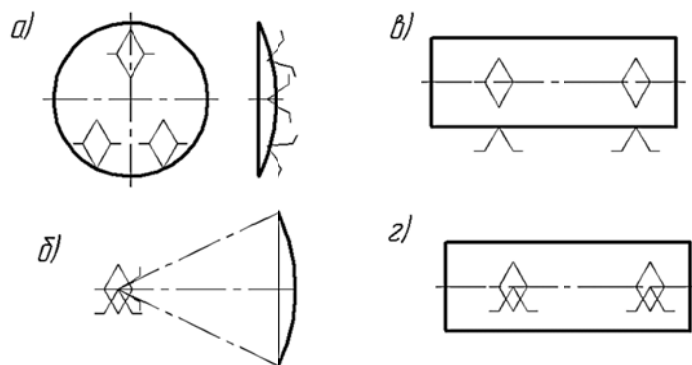


Рис. 1. Деталь с тремя вариантами базирования (а, б) и деталь с девятнадцатью вариантами базирования (в, г) :

а, в – материальные базы; б, г – скрытые базы

Соответственно, перед первым этапом генерирования всех вариантов, 3D-модель заготовки проверяется на наличие криволинейных поверхностей. При их наличии они перестраивается в некие воображаемые плоскости, линии или точки скрытых баз. После этого генерируются все возможные варианты базирования, включая практически невыполнимые и теоретически ошибочные.

Так как данная задача относится к классу NP, то применим метод полного перебора. При этом, затраты времени на генерацию каждого конкретного варианта базирования может быть осуществлена за полиномиальное время, в зависимости от количества поверхностей детали полный перебор может потребовать экспоненциального времени работы. Проверим возможные затраты времени контроллера ЧПУ ОЦ.

Предположим, что нам необходимо найти все варианты полного базирования детали, то есть с наложением всех шести связей. Пусть $f(n, m)$ – число способов, с помощью которых из n поверхностей, каждая из которых может иметь от 0 до 4 опорных точек, можно составить сумму m всех опорных точек детали, не превышающую 6. По методу динамического программирования предположим, что у нас уже построены все функции $f(1, m)$ для разных значений m . Указанные ответы легко вычислить исходя из того, что на детали шар, имеющего только одну поверхность (или соответственно одну мнимую базу – центр шара) при последовательном наложении от 0 до 4 опорных точек можно получить только по одному варианту комбинаций. Наложение 5 и 6 опорных точек на одну поверхность не имеет физического смысла, и по правилам комбинаторики количество комбинаций в таком случае приравниваем нулю. Итого:

$$\begin{cases} f(1, m) = 1 & \forall m = 1..4, \\ f(1, m) = 0 & \forall m = 5, 6. \end{cases}$$

На основе значений функции $f(1, m)$ построим функции $f(2, m)$. Для детали с двумя поверхностями, показанной на рис. 1, а, количество опорных точек базирования первой поверхности может принимать быть от 0 до 4, а на вторую поверхность должны быть наложены оставшиеся точки из числа от m до $m-4$. В итоге получаем слагаемые функции для каждой последующей поверхности:

$$f(2, m) = f(1, m) + f(1, m-1) + f(1, m-2) + f(1, m-3) + f(1, m-4).$$

Аналогично, имея все функции $f(n, m)$, по индукции строим функцию Беллмана:

$$f(n+1, m) = f(n, m) + f(n, m-1) + f(n, m-2) + f(n, m-3) + f(n, m-4)$$

Другими словами, значение $f(n, m)$ равно коэффициенту при x^m в разложении $(1 + x + x^2 + x^3 + x^4)^n$. Основываясь на результатах расчёт $f(1, m)$, для первых десяти значений количества поверхностей заготовки сведём результаты в табл. 1.

Таблица 1

Количество вариантов базирования деталей

Количество поверхностей	Количество опорных точек детали					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	–	–
2	2	3	4	5	4	3
3	3	6	10	15	18	19
4	4	10	20	35	52	68
5	5	15	35	70	121	185
6	6	21	56	126	246	426
7	7	28	84	210	455	875
8	8	36	120	330	784	1652
9	9	45	165	495	1278	2922
10	10	55	220	715	1992	4905

Пользуясь теорией числа композиций, выведем явную формулу. Композицией натурального числа называется его представление в виде упорядоченной суммы натуральных слагаемых. В общем случае существует $2m-1$ композиций опорных точек всей детали, из которых в точности C_{m-1}^{n-1} имеют длину числа поверхностей. Если в композициях разрешить нулевые части, то количество таких композиций будет равно C_{m+n-1}^{n-1} . Это связано с тем, что прибавление 1 к каждой части даёт композицию числа $m + n$ уже без нулевых частей. Тогда общее количество композиций (с нулевыми частями) для условия полного базирования с приложением всех шести опорных точек, имеющих длину числа поверхностей:

$$C_{6+n-1}^{n-1} = C_{n+5}^{n-1} = \frac{(n+5)!}{(n-1)! \cdot 6!} = \frac{1}{720} \prod_{k=0}^5 (n+k).$$

Исключим композиции, содержащие слагаемые 5 и 6, то есть не отвечающие условию максимального количества опорных точек на одной базирующей поверхности. Итого, окончательно количество комбинаций из шести опорных точек равно:

$$P(n) = f(n,6) = C_{n+5}^{n-1} - n^2 = \frac{n \cdot (n+1)(n+2)(n+3)(n+4)(n+5)}{720} - n^2 = \frac{120n - 446n^2 + 225n^3 + 85n^4 + 15n^5 + n^6}{720}.$$

Таким образом, искомая функция является точным полиномом шестой степени с рациональными коэффициентами.

По количеству поверхностей деталей номенклатуру деталей гибкого автоматизированного участка можно условно разбить на несколько категорий, представленных на рис. 2.

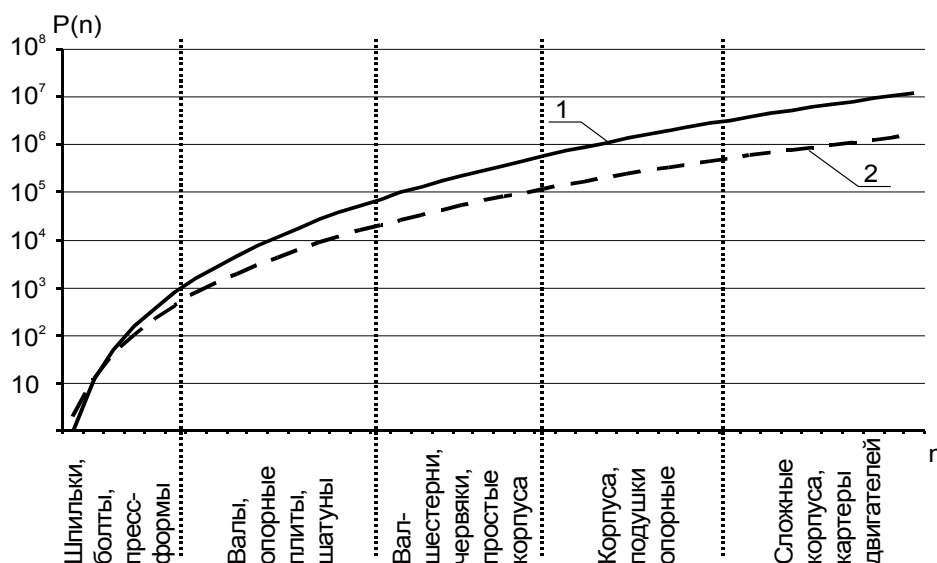


Рис. 2. Количество вариантов базирования:

1 – фрезерное оборудование; 2 – токарное оборудование

Производительность современных многоядерных вычислительных систем, установленных в контроллерах ЧПУ [5], позволяет генерировать до 10^5 вариантов базирования в секунду. Как видно из графика на рис. 2, полная генерация вариантов базирования большей части номенклатуры деталей, будет произведена менее чем за секунду. Максимальное время генерации вариантов базирования не превышает $10^7/10^5 = 100$ сек.

После генерации всех вариантов проводится отбрасывание технически невозможных вариантов. В них попадают варианты, в которых количество убранных степеней свободы не соответствует количеству опорных точек. Это значительно сокращает варианты. Например, если для детали валик имеется 71 вариант базирования, то для работы на токарном оборудовании остаётся только 43 варианта, а после отброса технически неверных решений – всего 4-6 вариантов.

ВЫВОДЫ

Методика полного перебора схем базирования позволяет не упустить ни одной возможной комбинации опорных точек на поверхности детали. Внедрение метода позволит избежать ошибок при автоматизированном создании технологических процессов. Время генерации вариантов не превышает 2 мин, что подтверждает техническую и практическую возможность создания описанной системы.

Выбор наилучшего варианта базирования будет производиться уже после создания вариантов всех технологий по сгенерированным схемам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пуховський Є. С. Проектування технологічних процесів в умовах гнучкого автоматизованого виробництва / Є. С. Пуховський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – № 59. – С. 267–270. – (Серія «Машинобудування»).
2. Смаль С. Н. Вероятностная модель процесса конструкторско-технологической разработки корпусной детали / С. Н. Смаль // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2008. – № 10(57). – С. 231–233.
3. Евгений С. Вертикальные решения для технологической подготовки производства / С. Евгений, А. Коптев // САПР и графика. – 2011. – № 1. – С. 44–48.
4. Смирнов С. ТехноПро – комплекс автоматизации управления, подготовки и планирования производства [Электронный ресурс] / С. Смирнов // Вектор-Альянс. – 2010. – Режим доступа: <http://tehnopro.livejournal.com>.
5. HAAS automation Europe. Горизонтальные обрабатывающие центры : проспект оборудования. – Belgium : HAAS, 2006. – 40 с.

Статья поступила в редакцию 07.09.2012 г.