

Геометрический аспект процесса первичного формообразования

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины

Процесс формообразования представлен как однозначная связь перемещения границы заготовки и зоны формообразования. Отражен геометрический аспект этого процесса. Значительное внимание уделено выявлению факторов корректности постановки задачи формообразования.

Ключевые слова: зона формообразования, модель процесса, система координат детали.

На современном этапе развития машиностроения способность предприятия оперативно реагировать на спрос потребителей выпуском новой продукции является важной составляющей успеха. Весомой составляющей решения этих проблем являются процессы формообразования, которые разделяются на первичные и копирующие [□1]. Копирующие технологии обеспечивают получение материальных форм по другим, уже реально существующим в пространстве в виде оснастки. Материал заготовки копирует форму оснастки, в чем и заключается процесс формообразования детали. Первичное формообразование реализует получение материальной формы объекта производства по его модели с помощью станка и стандартного инструмента. Процессы первичного формообразования относятся к управляемым процессам, поскольку получение новых форм связано только с изменением траектории перемещения рабочих органов оборудования. Они обеспечивают гибкость производственного процесса при освоении новых изделий, и поэтому именно эти процессы способны обеспечить разнообразие форм объектов производства и оперативную реакцию на спрос рынка.

С другой стороны, предлагаемое разделение формообразования касается не физических принципов реализации изменения формы, а информационного обеспечения этого процесса и его протекания в пространстве и времени. При использовании копирующих технологий сначала происходит изготовление технологической оснастки – специального промежуточного носителя форм и размеров детали, что требует применения процессов первичного формообразования и значительных временных затрат. Но происходит это на этапе технологической подготовки производства. Трудоемкость самого процесса копирующего формообразования очень мала, что обеспечивает высокую производительность этих операций. При первичном формообразовании происходит непосредственно изменение формы заготовки в соответствии с геометрической информацией об объекте производства с использованием станочного оборудования. Технологическое время при этом занимает значительную долю производственного процесса. Использование геометрических моделей станка, приспособлений, инструмента, заготовки при разработке процессов первичного формообразования позволяет устранить многие факторы неопределенности в описании этой процедуры [□2].

Реализацию первичного формообразования в общем виде можно представить двумя процессами: первый из них характеризует взаимодействие заготовки и инструмента в локальной зоне формообразования, а второй

описывает перемещения локальной зоны формообразования в пространстве для получения поверхности детали. Соответственно и модель процесса первичного формообразования в машиностроении представляет собой описание параметров локальной зоны формообразования и траектории её перемещения. Поскольку физические процессы в зоне формообразования не являются предметом исследований технологии формообразования, то для их описания используются зависимости разработчиков физических процессов или рекомендации разработчиков оборудования [□3]. Поэтому моделирование технологического процесса заключается в описании результатов перемещения зоны формообразования в координатах заготовки.

Постановка прямой задачи формообразования в человекоориентированном производстве обусловлена зависимостью результатов этого процесса от индивидуальных и профессиональных особенностей исполнителя. Выполнение человеком функции преобразования геометрической информации с языка начертательной геометрии на язык логики управления органами станка в режиме реального времени требует высокой квалификации. При этом вероятность ошибок очень высока. Реализация перемещений человеком зоны формообразования на универсальном оборудовании для получения поверхности особо точной сложнофасонной детали представляет собой практически неосуществимую задачу при серийном её производстве. Но задача формообразования поставлена корректно, если решение задачи существует, оно единственно и непрерывно зависит от входных данных [□4]. Поэтому при человекоориентированном производстве нет оснований делать заявление о корректной постановке прямой задачи формообразования по причине неудовлетворения всем трем условиям.

Формообразование на оборудовании с ЧПУ позволяет устранить человека из цепочки выработки управляющих воздействий на рабочие органы оборудования в режиме реального времени, что резко увеличивает вероятность существования решения задачи, то есть удовлетворения первого условия корректности ее постановки. Кроме того, СЧПУ позволяет реализовать точность и повторяемость траектории формообразующих движений рабочих органов оборудования, что обеспечивает единственность решения этой задачи и удовлетворение второму условию корректности прямой задачи формообразования. Сам факт использования оборудования с системами ЧПУ еще не гарантирует приведения всех задач формообразования к их корректной постановке, но создает для этого необходимые условия.

Целью работы является выбор способа описания процесса первичного формообразования объекта производства и условий, обеспечивающих корректную постановку самой задачи. В процессе изготовления детали всегда имеется отличие форм изделия и заготовки, и именно в этом состоит главное содержание любого процесса первичного формообразования. Сведения о форме материального объекта относятся к геометрической информации, поэтому описание процесса формообразования как однозначной связи перемещения границы заготовки и зоны формообразования отражает геометрическую точку зрения этого процесса.

Существуют определенные различия системы координат, используемой при конструировании модели детали, и физической системы координат формообразующего оборудования. На рис. 1 представлены декартова система координат конструктора $Ox_k Y_k Z_k$, и система координат фрезерного станка. Декартова система координат образована тремя пересекающимися под прямым

углом плоскостями, а линии пресечения (оси) имеют одну общую точку – точку начала отсчета. Модель же физической системы координат станка представляет собой три оси ($X-Y$, $Y-Z$, $Z-X$), не пересекающиеся в пространстве, которые должны принадлежать взаимноперпендикулярным плоскостям, оставаясь при этом параллельными соответствующим осям декартовой координатной системы.

В системе координат станка при помощи специальных процедур и устройств ограничиваются предельные перемещения по каждой координате. При этом положения рабочих органов станка определяются их базовыми точками, выбираемыми с учетом конструктивных особенностей отдельных узлов станка.

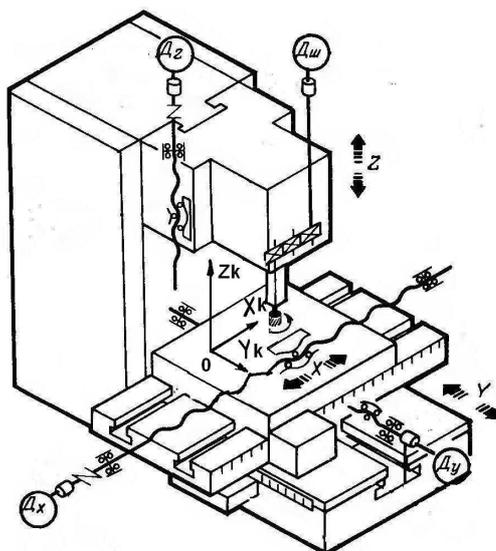


Рис. 1. Декартова система координат конструктора ($0X_kY_kZ_k$) и модель физической системы координат станка

Так, для шпинделя фрезерного или сверлильного станка, базовая точка N является пересечением торца шпинделя с осью его вращения (рис. 2). Базовая точка стола F идентифицируется, например, отверстием определенного диаметра.

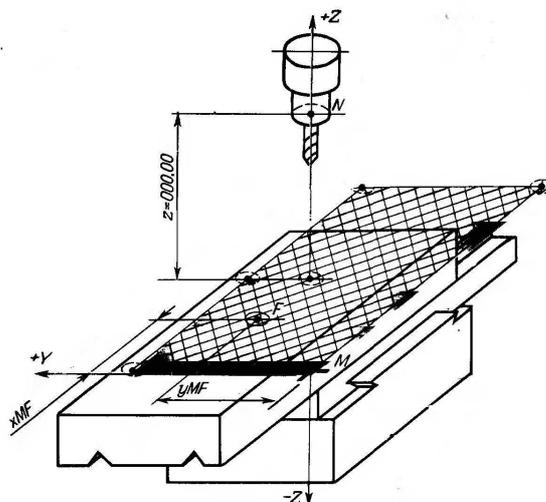


Рис. 2. Система координат вертикального сверлильного или фрезерного станка

Начало системы координат обычно совмещают с базовой точкой узла, несущего заготовку. Точка M , принятая за начало отсчета системы координат станка, называется нулевой точкой станка, или нулем станка. Наличие данных о зоне обработки позволяет оценить возможности станка при разработке управляющей программы. Если зона оказывается меньше габаритов заготовки, то это указывает на невыполнение первого условия корректной постановки задачи. Необходимо изменить постановку задачи и выбрать другой станок, зона обработки которого больше заготовки детали. Если такая возможность отсутствует, следует разбивать процесс формообразования на несколько операций, каждая из которых выполняется на части заготовки в зоне обработки станка. Тогда необходимо предусмотреть в заготовке дополнительные базовые точки и поверхности для выполнения её переустановок.

Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки. Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке T инструментального блока, которая часто совмещается с базовой точкой элемента станка, несущего инструмент, например с точкой N (рис. 3). Режущая часть инструмента характеризуется положением его вершины и режущих кромок. Настраиваемая точка инструмента P используется в качестве расчетной при поиске траектории зоны формообразования. Расчетной точкой может служить центр закругления при вершине инструмента. Вершина вращающегося инструмента лежит на оси вращения и поэтому если её принять за расчетную точку, то для её задания достаточно указать значение W_z .

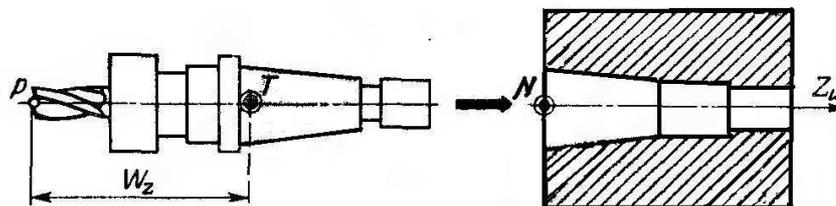


Рис. 3. Схема базирования инструмента

Таким образом, при обработке детали на станке с ЧПУ можно выделить три координатные системы. Первая – система координат станка $XMYZ$, имеющая начало отсчета в точке M – нуль станка (рис. 4). В этой системе определяется положение базовых точек отдельных узлов станка. Вторая координатная система – это система координат детали или программы обработки детали $X_dWY_dZ_d$. Третья система – система координат инструмента $X_iTY_iZ_i$, в которой определено положение настроечной точки инструмента P относительно базовой точки элемента станка N , несущего инструмент.

Система координат детали – это система, в которой определены все размеры детали и даны координаты всех опорных точек её контура. Управляющая программа разрабатывается в этой системе координат. Она выбирается технологом-программистом в соответствии с координатной системой станка, в которой определяются положение детали в приспособлении, размещение опорных элементов приспособления, указывается так называемая точка (0) . Она является первой точкой для обработки детали по программе. Часто точку (0)

называют нулем программы. Перед началом обработки настроечная точка P инструмента должна быть совмещена с этой точкой.

Координаты исходной точки 0 преобразуются в систему координат станка из системы координат детали через базовую точку приспособления или детали (0 на детали рис. 4). Такая связь систем координат детали, станка и инструмента позволяет выдержать заданную точность при переустановках заготовки и учитывать диапазон перемещения рабочих органов станка при расчете траектории инструмента в процессе подготовки программы управления. Поэтому очень важно, чтобы системы координат заготовки и детали в ходе формообразующих процессов оставались неизменными. Это накладывает дополнительные требования при выборе координат. Корректная постановка прямой задачи формообразования неразрывно связана с выбором систем координат заготовки и оборудования, неправильные решения этой задачи приводят к нарушению любого из трех условий (или сразу всех).

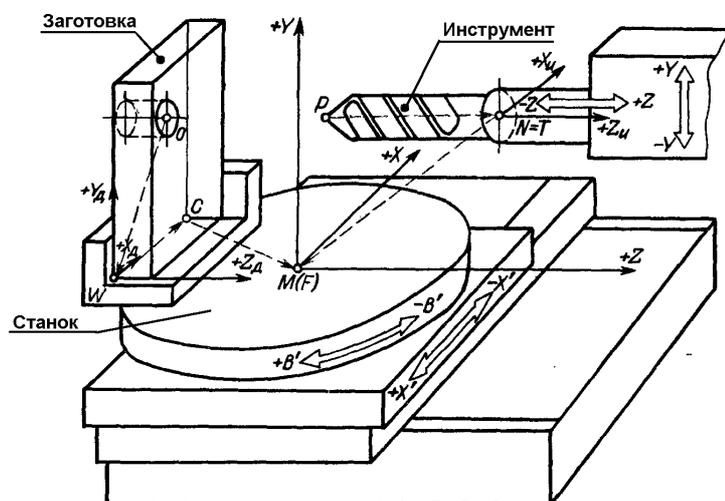


Рис. 4. Связь системы координат станка, детали и инструмента

Моделирование процесса формообразования происходит в координатах заготовки. Расчет траекторий перемещения зоны формообразования для оборудования с ЧПУ задается управляющей программой, которая разрабатывается в среде CAD/CAM систем. Исходная информация: аналитический эталон детали (D), материал заготовки, аналитическая модель инструмента и тип оборудования. Например, при обработке фрезерованием задача первичного формообразования представляет собой нахождение следа движения зоны формообразования в материале заготовки. Перемещение зоны формообразования в управляющей программе задаётся отдельными порциями, кадрами. Примем, для упрощения процедуры описания, что каждый кадр управляющей программы может содержать информацию о линейном или круговом перемещении. Тогда фреза в материале заготовки оставляет след линейной или круговой формы (рис. 5).

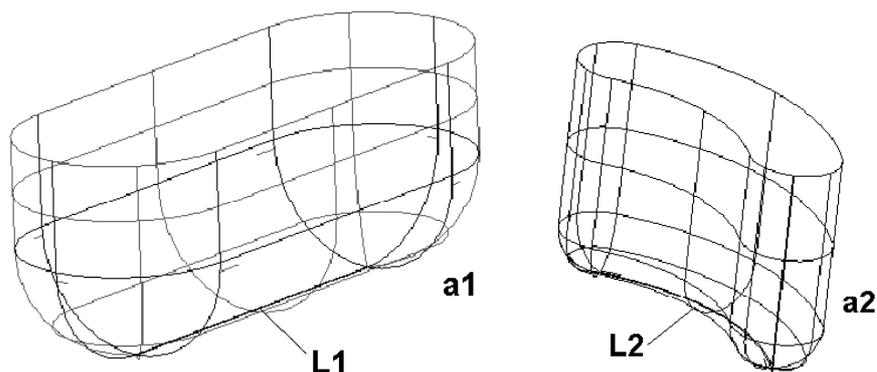


Рис. 5. След фрезы при: a1 - прямолинейном; a2 - круговом движении

Траектория движения настроечной точки P зоны формообразования (в данном случае инструмента) представляется в виде непрерывного эквидистантного контура L , состоящего из прямолинейных ($L1$ – участок прямой) и круговых ($L2$ – дуга окружности) кадров. След фрезы, оставленный после фрезерования по контуру L , представляется множеством S_L , состоящим из следов на каждом из n кадров ($A1, A2 \dots An$),

$$S_L = A1 \cup A2 \cup A3 \dots \cup An$$

и представляет собой следовую поверхность.

Процесс формообразования в этом случае заключается в удалении материала из заготовки фрезой, т.е.

$$F(Z) = Z \cap S_L = D^R,$$

где D^R – аналитическая модель геометрии детали, полученная после моделирования процесса удаления материала заготовки следовыми поверхностями фрезы.

Отклонение модели D^R от D сверх допустимых значений (рис. 6), т.е. пересечение поверхности 1, означает, что найденное решение не удовлетворяет условиям корректности задачи и сама постановка задачи является некорректной по первому условию. Необходимо вносить изменения в постановку задачи формообразования для получения приемлемого решения, например изменить стратегию обработки или геометрию инструмента.

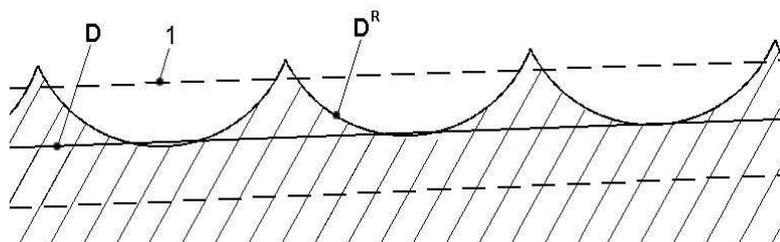


Рис. 6. Формирование детали следовыми поверхностями инструмента: D – поверхность аналитического эталона детали; D^R – следовые поверхности фрезы; 1 – верхнее значение допустимого отклонения детали

Траектория фрезы L является эквидистантой и следовые поверхности инструмента должны только касаться поверхности аналитического эталона

детали D . но не пересекать её. Это правило вносит существенную определенность в процесс формирования траектории. Очевидно, что модель D^R не является единственным решением задачи формообразования. Возможно существование множества моделей $D^R_1, D^R_2, \dots, D^R_n$, которые будут ограничены следовыми поверхностями фрезы, движущейся по эквидистанте к аналитическому эталону детали, поскольку разнообразие возможных траекторий достаточно велико. Отсюда вытекает множественность решения прямой задачи формообразования, что означает нарушение второго условия корректной постановки задачи формообразования. Для изменения постановки задачи на корректную необходимо использовать дополнительную информацию об оборудовании, приспособлении, инструменте, а также способе базирования заготовки или стратегии обработки, поскольку тип траектории может быть спиральным, кусочно-линейным и т.п.

В процессе обработки происходит износ инструмента, что приводит к необходимости периодически его затачивать. Выполнение этой процедуры вызывает изменение геометрии инструмента, например, у фрезы уменьшаются диаметр и длина. При трехкоординатной обработке уменьшение длины инструмента корректируется путем установки вершины (расчетной точки инструмента) в нуль программы. Уменьшение диаметра фрезы приводит к отклонениям портрета детали от ее аналитического эталона больше допустимых, что означает нарушение первого условия корректной постановки задачи формообразования. В таком случае возможен расчет новой управляющей программы для измененных параметров геометрии инструмента. Но такое решение задачи приводит к длительным задержкам производственного процесса для выполнения корректировки параметров и проверок результата, что, по сути, означает невыполнение третьего условия, поскольку время остановки процесса формообразования может в несколько раз превысить технологическое время изготовления детали. Поэтому для корректной постановки задачи формообразования необходима в СЧПУ функция коррекции геометрии инструмента.

Базирование заготовки и ее закрепление происходят путем ограничения возможных перемещений в пространстве, что реализуется с помощью специальных приспособлений. На рис. 7 изображен аналитический эталон геометрии угольного электрода для изготовления детали с помощью электроэрозионной установки. По этой модели строится аналитический эталон геометрии заготовки и выбирается способ крепления заготовки (рис. 8).

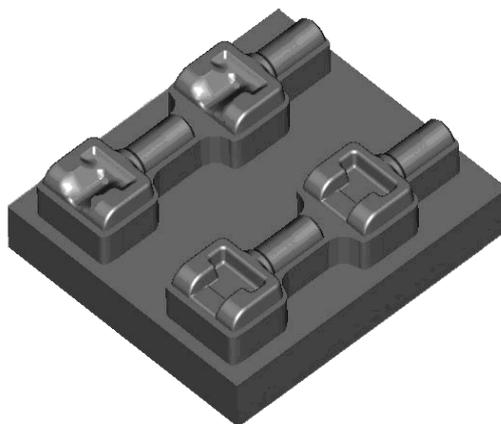


Рис. 7. Аналитический эталон геометрии детали

В приведенном примере процесс формообразования разбит на два этапа. Первый из них - черновая обработка, которая выполняется цилиндрической фрезой.

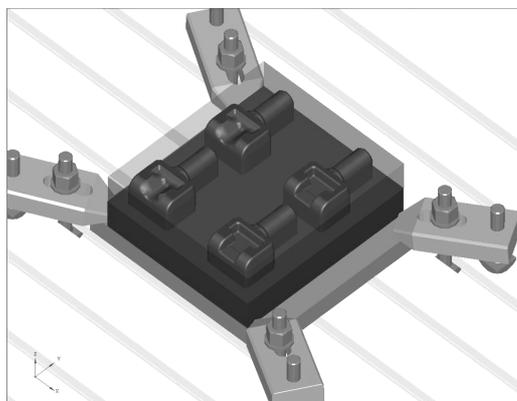


Рис. 8. Аналитический эталон геометрии заготовки и способ ее крепления

Результат этой части процесса формообразования представлен на рис. 9. На этапе чистовой обработки в качестве инструмента выбрана цилиндрическая фреза со сферической головкой. Аналитический эталон геометрии заготовки в этой операции является исходной информацией.

Конструктивное исполнение приспособлений является также одним из параметров процесса первичного формообразования детали. Использование различных типов прижимов, упоров, прихватов, ложементов и подобных устройств приводит к наложению ограничений на траекторию формообразующих и вспомогательных движений рабочего инструмента. Поэтому выбор конструкции приспособления и способа крепления заготовки являются важными моментами при решении прямой задачи формообразования, и корректная ее постановка невозможна без учета этого фактора.

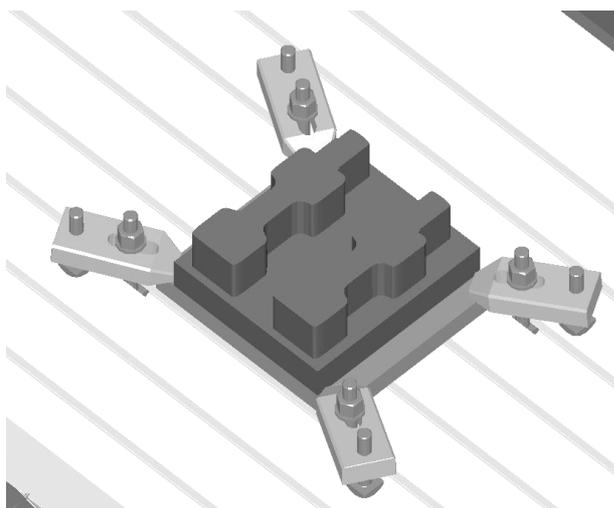


Рис. 9. Аналитический эталон геометрии заготовки для чистовой обработки

Проведенный выше анализ процессов первичного формообразования с точки зрения геометрических характеристик показал, что на корректность постановки задачи оказывают влияние следующие факторы: тип производства (человеко- или машиноориентированный); модель объекта производства; типа

оборудования; функциональные возможности и математическое обеспечение CAD/CAM систем - среды разработки управляющих программ; функциональные возможности и математическое обеспечение СЧПУ - среды отработки управляющих программ; геометрия инструмента; стратегия обработки или тип траектории; точность обработки; выбор системы координат заготовки; позиционирование инструмента; способ базирования заготовки; тип и конструкция приспособления; способ увязки систем координат станка, детали и инструмента.

Каждый из приведенных факторов влияет на процесс первичного формообразования, степень которого может быть оценена только при решении конкретных производственных задач, что и должно стать предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Мялица А. К. Технология поддержки жизненного цикла самолета – новый шаг авиастроения на рынке / А.К. Мялица // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К. : Техніка.- 2001. - С. 137-147.
2. Бычков И. В. Модуль «Геометрическое моделирование» информационной системы машиностроительного предприятия / И. В. Бычков, Ю. В. Ващук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.:Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ».- 2003.- Вып. 19. – С. 226 – 239.
3. Бычков И.В. Зона формообразования в процессах формирования поверхности детали. / И. В. Бычков, Е.Н. Бут, А.К. Мялица // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ».- 2008. -Вып. 4(55). – С. 35–39.
4. Бычков И.В. Корректные и некорректные постановки задач формообразования. / И.В. Бычков, А. К. Мялица, Е. Н. Бут // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ "ХАИ".- 2008. -Вып. 39. - С. 6–13.

Рецензент: д-р техн. наук, ст. науч. сотр., гл. науч. сотр. Бут Е. Н.,
ИПмаш НАН Украины, Харьков.

Поступила в редакцию 01. 06.10

Геометричний аспект процесу первинного формоутворення

Процес формоутворення подано як однозначний зв'язок переміщення межі заготовки і зони формоутворення. Відображено геометричні аспекти цього процесу. Значну увагу приділено виявленню чинників коректності постановки завдання формоутворення.

Ключові слова: зона формоутворення, модель процесу, система координат деталі.

Geometrical aspect of shapeformation

The geometrical aspect of shapeformation are reflected in the article. Considerable attention is spared the exposure of factors of correctness of raising of task of making of its form.

Keywords: model of process, system of coordinates of detail.