

Решение прямых и обратных задач формообразования – основа технологической подготовки производства

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

Рассмотрены основные мероприятия технологической подготовки производства, связанные с формообразованием объекта производства. Они представляют собой совокупность прямых и обратных задач формообразования. Выполнение условий корректной постановки этих задач позволило сформулировать требования к информационному обеспечению.

Ключевые слова: аналитический эталон, аналитический портрет, модель процесса.

Основным видом деятельности машиностроительного предприятия является выпуск готовых изделий, а технологическая подготовка производства служит фундаментом такой деятельности. Она включает в себя проектирование технологических процессов и специального технологического оснащения, изготовление специального технологического оснащения, разработку материальных и трудовых норм, проведение исследовательских и экспериментальных работ по новым технологиям и новому технологическому оснащению, разработку планов-графиков технологической подготовки производства, внедрение запроектированных технологических процессов, нормализацию и унификацию технологического оснащения. В некоторых случаях возникает потребность в модернизации оборудования и подготовке кадров [1].

Анализ мероприятий технологической подготовки позволил прийти к выводу о доминирующем значении процессов формообразования, которые могут быть реализованы путем решения прямых и обратных задач [2]. Прямая задача технологии формообразования – получение реальной формы по информации аналитического эталона объекта производства. Обратная задача формообразования – создание аналитического портрета, описывающей форму реального изделия, детали, или ее фрагмента для его сравнения с аналитическим эталоном объекта производства при выполнении процедур контроля.

Проблема состоит в отсутствии механизма корректной постановки прямых и обратных задач формообразования [3] при выполнении технологической подготовки производства в условиях промышленных предприятий, в реализации информационного сопровождения этих процессов, в наличии и эффективном применении экономически оправданных инструментальных средств.

Целью работы является рассмотрение мероприятий технологической подготовки производства, связанных с формообразованием объекта производства, с точки зрения корректности постановки самой задачи на этапе технической подготовки производства.

Аналитический эталон (АЭ) детали включает в себя следующий список моделей, которые должны быть сформированы в результате конструкторской подготовки изделия к производству средствами CAD/CAM систем [4]: аналитический эталон геометрии; модель покрытий; модель твердости поверхности; модель шероховатости; модель допусков формы (для особо ответственных деталей); модель допусков расположения.

Эти модели описывают статическое состояние готовых деталей, и в таком виде разработчикам конструкции необходимо предоставлять информацию об эта-

лоне будущего объекта производства всем участникам производственного процесса. Разработка технологического процесса заключается в описании изменения объекта производства во времени, что должно привести к получению подробных моделей формообразующих процессов изменения заготовки до получения детали.

При разработке модели изделия, собранного из некоторого количества аналитических эталонов деталей, необходимо уделить должное внимание корректной постановке этой задачи в информационном пространстве предприятия. Второе условие корректности постановки задач формообразования (существование одного решения) означает на практике соблюдение принципов единого информационного пространства предприятия [5]: аналитический эталон каждой оригинальной детали (номенклатурной единицы) должен один раз вноситься в ядро информационной системы предприятия. Поэтому если деталь как номенклатурная единица присутствует в нескольких сборочных единицах изделия, то модель геометрии детали может присутствовать в модели только одной сборочной единицы, а в других сборочных единицах должны содержаться ссылки на модель геометрии. Это обеспечивает соблюдение на практике принципов единого информационного пространства и позволяет корректно выполнить постановку прямых и обратных задач формообразования. Рациональным подходом для реализации такой модели является использование CAD/CAM систем, большинство из которых обладают минимальным набором необходимых функций.

Обобщение материалов ранее опубликованных в работе [5], и сказанного выше позволяет настаивать на рациональности формирования следующего перечня моделей для объекта машиностроительного производства:

- модель системы координат изделия;
- аналитический эталон сборки, включающий в себя состав изделия, место нахождения и ориентацию каждой детали относительно системы координат и ссылки на АЭ деталей;
- аналитические эталоны деталей каждой номенклатурной единицы.

Эта совокупность моделей объединяется одним понятием – аналитическим эталоном изделия, который может быть реализован средствами CAD/CAM систем и использоваться в информационной системе машиностроительного предприятия.

На этапе технологической подготовки производства необходимо описать методы получения изделия из отдельных деталей и сборочных единиц, что и должно быть зафиксировано в последовательности взаимосвязанных моделей. Ниже приведена укрупненная последовательность производственных процессов для обеспечения формообразования объекта производства (рис. 1):

- поставка материала и доведение его до состояния заготовок, при этом наличие аналитических эталонов заготовок (модели 1- АЭ_з) является обязательным условием начала этого процесса;
- формообразование с целью изготовления деталей в соответствии с их аналитическими эталонами (модели 2 - АЭ_д);
- комплектация деталей перед сборкой, завершающаяся формированием сборочных комплектов, куда входят все детали и узлы после технологического контроля цеха изготовителя и номенклатура от внешних организаций, поступающая на сборку в состоянии поставки, что описывается аналитическими эталонами сборочного комплекта (модели 3 - АЭ_{комп});
- выполнение сборочных операций путем изменения состояния соединительных элементов, их завершение означает окончание формообразования согласно

технологическим процессам сборки объекта производства и описывается аналитическим эталоном собранного изделия (модель 4 - АЭ_{сб}).

Аналитические эталоны				
заготовок	деталей	сборочного комплекта	собранного изделия	формообразующей оснастки
1 АЭ _з	2 АЭ _д	3 АЭ _{комп}	4 АЭ _{сб}	5 АЭ _о
Процессы формообразования для получения:				
заготовок	деталей		собранного изделия	оснастки
6 МП _з	7 МП _д		8 МП _{сб}	9 МП _о
Процессы измерения				
заготовок	деталей	покупных изделий	собранного изделия	оснастки
10 МП _{из}	11 МП _{ид}	12 МП _{ипки}	13 МП _{сб}	14 МП _{ио}
Аналитические портреты				
заготовок	деталей	покупных изделий	собранного изделия	оснастки
15 П _з	16 П _д	17 П _{пки}	18 П _{сб}	19 П _о
Выполнение процедур контроля				
20 Сравнение П _з и АЭ _з	21 Сравнение П _д и АЭ _д	22 Сравнение П _{пки} и АЭ _{пки}	23 Сравнение П _{сб} и АЭ _{сб}	24 Сравнение П _о и АЭ _о
27- Решение о качестве заготовки	28 Решение о качестве детали	29 Решение о качестве покупных изд.	30 Решение о качестве собранного изделия	31 Решение о качестве оснастки

Рис. 1. Информационное обеспечение задач формообразования

Наличие соответствующих аналитических эталонов перед началом выполнения каждого из перечисленных выше этапов позволяет формулировать постановку прямой и обратной задач формообразования для них.

На первом этапе прямая задача формообразования сводится к получению заготовок по имеющимся их аналитическим эталонам (модели 1 - АЭ_з). Для реализации этой задачи выбирается оборудование, инструмент, способ крепления материала в состоянии поставки и разрабатываются модели процесса получения заготовок (модели 6 - МП_з). Окончание выполнения моделей процесса означает решение прямой задачи формообразования. Затем возможна необходимость решения обратной задачи формообразования – получение аналитических портретов заготовок с целью выполнения контрольных операций. По результатам измерений строятся аналитические портреты заготовок (модели 15 - П_з). Для реализации процедур контроля (модель 20) необходимо выполнить сравнение аналитических эталонов заготовок (модели 1- АЭ_з) и их портретов (модели 15- П_з).

$$|F(АЭ_з) - F(П_з)| < F(\Delta), \quad (1)$$

где $F(АЭ_з)$ – определяющие параметры аналитических эталонов геометрии заготовок; $F(П_з)$ – определяющие параметры портретов заготовок; $F(\Delta)$ – допустимые погрешности определяющих параметров.

Положительные результаты выполнения условия (1) означает завершение решения обратных задач формообразования (процедура 27) на этом этапе.

На втором этапе прямая задача формообразования подразумевает получение деталей по имеющимся их аналитическим эталонам (модели 2 - АЭ_д). Для реализации этой задачи выбирают оборудование, инструмент, способ крепления заготовки и разрабатываются модели процесса получения деталей (модели 7 - МП_д). Если в качестве оборудования выбран станок с ЧПУ, то моделями процессов являются управляющие программы. Окончание выполнения процесса означает решение прямой задачи формообразования по изготовлению деталей. Затем следует решать обратную задачу формообразования – получение аналитических портретов деталей с целью выполнения контрольных операций. Если при изготовлении деталей использовалось оборудование с ЧПУ, то рационально выполнить на этом же оборудовании измерительные процедуры, заменив формообразующий инструмент на измерительный (рис. 2). Для выполнения измерительных процедур детали необходимо разработать соответствующие модели процессов измерения в виде управляющих программ (модели 11 -МП_{ид}). По результатам измерений строят аналитические портреты деталей (модели 16 - П_д). Для очень ответственных деталей следует получать портреты отдельных операций и переходов. Теперь для реализации процедуры контроля (модель 21) необходимо выполнить сравнение аналитических эталонов деталей (модели 2- АЭ_д) и их портретов (модели 16 - П_д).

$$|F(АЭ_д) - F(П_д)| < F(\Delta), \quad (2)$$

где $F(АЭ_д)$ – определяющие параметры эталонов геометрии деталей;

$F(П_д)$ – определяющие параметры портретов деталей.

Выполнение условия (2) позволяет приступить к следующим этапам.

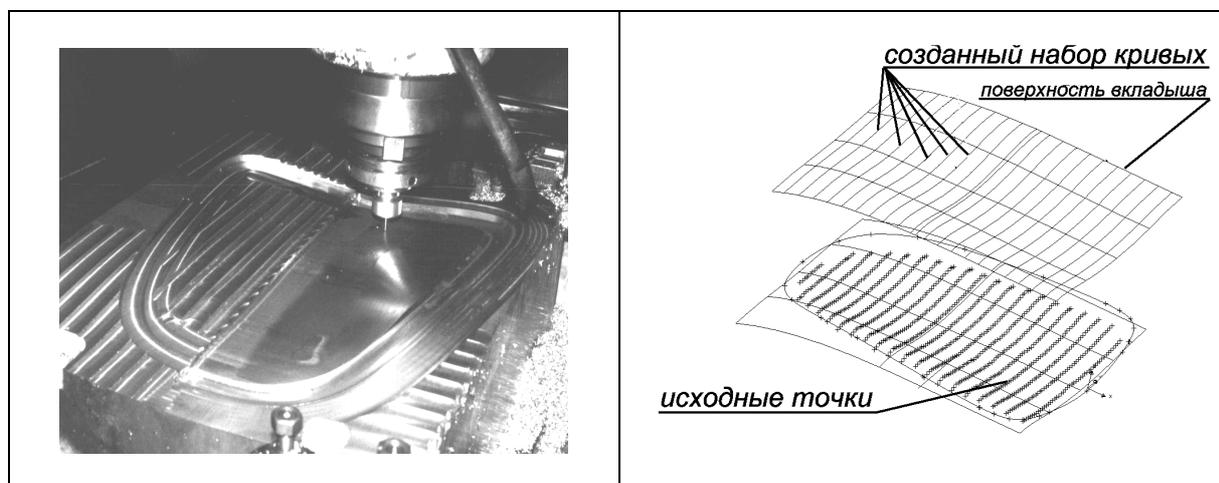


Рис. 2. Выполнение измерительных процедур на станке с ЧПУ и получение портрета поверхности детали

Аналитический эталон изделия в сборе (модель 4 - АЭ_{сб}) описывает результат выполнения всех сборочных процессов, вследствие которых происходит изменение геометрии или перемещение соединительных элементов. Кроме того, нежесткие элементы конструкции (детали, узлы, материалы) могут в процессе сборки деформироваться. Поэтому они должны иметь две модели своей геометрии – до сборки и после ее завершения. Сам факт неоднозначности геометрии, пусть даже одного элемента, говорит о некорректной постановке такой задачи.

Для изменения постановки задачи необходимо предпринять следующие действия. Формируют аналитический эталон сборочного комплекта (модель 3 - АЭ_{компл}), в который включаются ссылки на все элементы конструкции, в том числе и соединительные, в состоянии их поставки или после последней формообразующей операции, если деталь собственного изготовления. Затем формируют аналитический эталон сборки изделия (модель 4 - АЭ_{сб}), который включает в себя геометрические модели деталей после их деформации и ссылки на все оставшиеся (недеформированные) детали. Аналитический эталон детали описывает ее в состоянии поставки, что может быть отнесено к началу процесса сборки, а модель этой же деформированной детали – к окончанию сборки. Эти две модели оказались отнесенными к различным моментам времени формообразующего процесса (сборочного). Изменение постановки задачи формообразования позволило привести её к корректной, что создаст условия для её решения.

Третий этап не предусматривает решения прямой задачи формообразования по информации аналитического эталона сборочного комплекта (модель 3 - АЭ_{компл}), поскольку все детали изготовлены с выполнением процедур контроля или получены от внешних поставщиков. Только для таких деталей и узлов может быть предусмотрено решение обратной задачи формообразования – выполнение измерительных процедур с использованием соответствующих моделей процессов (модели 12 - МП_{ипки}) и последующим получением аналитических портретов (модели 17 - П_{пки}) для проведения контрольных операций (модель 22) по условию (2), что позволяет принять решение о качестве покупных изделий (процедура 29).

На четвертом этапе целью прямой задачи формообразования ставится окончательная сборка объекта производства, что отражается в аналитическом эталоне собранного изделия (модель 4 - АЭ_{сб}). Для реализации этой задачи выбирают оборудование, стапеля, сборочные приспособления, инструмент и разрабатывают модели процесса сборки (модели 8- МП_{сб}). Окончание сборки означает решение прямой задачи формообразования по получению собранного изделия. Затем следует решать обратную задачу формообразования – получение аналитического портрета собранного изделия. Для выполнения измерительных процедур необходимо разработать соответствующие модели процессов измерения (модели 13 - МП_{исб}). По результатам измерений строят аналитический портрет собранного изделия (модели 18 - П_{сб}). Процедура контроля (модель 23) заключается в сравнении аналитического эталона собранного изделия (модель 4 - АЭ_{сб}) и его портрета (модели 18 - П_{сб}):

$$|F(\text{АЭ}_{\text{сб}}) - F(18 - \text{П}_{\text{сб}})| < F(\Delta), \quad (3)$$

где $F(\text{АЭ}_{\text{сб}})$ – определяющие параметры аналитического эталона геометрии собранного изделия;

$F(\text{П}_{\text{сб}})$ – определяющие параметры портрета собранного изделия.

Выполнение условия (3) означает, что решение обратной задачи формообразования на этапе сборки изделия (процедура 30) завершено с положительным результатом.

Анализ сборочных операций позволил выявить некоторые особенности информационного сопровождения таких процессов. Если необходимо решить прямую задачу формообразования методом сборки объекта производства, то кроме аналитического эталона собранного изделия (на рис. 1 – модель 4 - АЭ_{сб}) для разработки модели процесса сборки (модель 8 - МП_{сб}) необходимо иметь аналитические эталоны геометрии сборочной оснастки (модель 5 АЭ_о). Поэтому, например, на этапе технологической подготовки производства центроплана

самолета АН-148, аналитический эталон которого изображен на рис 3, одним из основных этапов была разработка соответствующей оснастки для выполнения этой формообразующей операции. Но если в качестве исходной информации предоставляется аналитический эталон собранного изделия (АЭ_{сб}), то в результате решения прямой задачи формообразования мы должны получить само собранное изделие (центроплан). Поэтому сама разработка и изготовление такой формообразующей оснастки является обратной по отношению к изготовлению центроплана. В этой задаче аналитический эталон собранного центроплана является уже не конечной целью производственного процесса, а лишь исходной информацией для разработки конструкции (АЭ_о) и технологии изготовления стапеля сборки (модель 9 - МП_о).

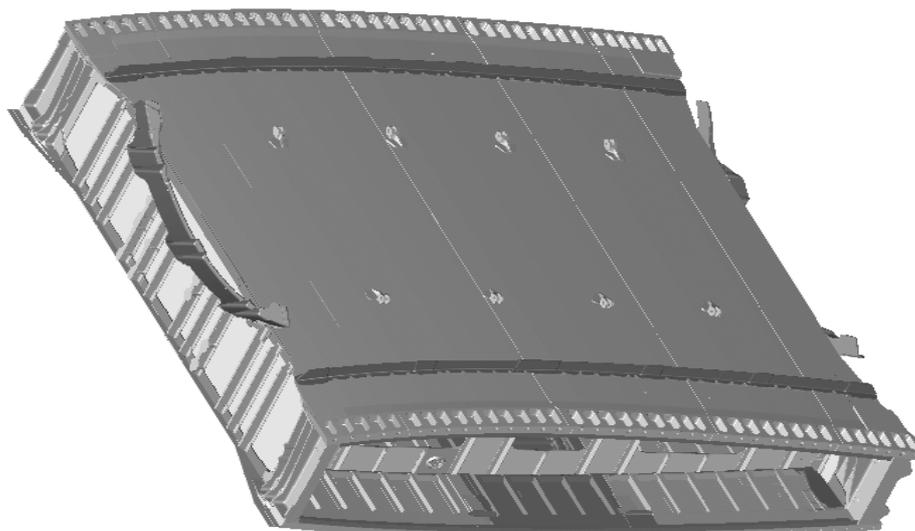


Рис. 3. Изображение аналитического эталона центроплана АН-148

Таким образом, прямая задача формообразования сборкой центроплана неразрывно связана с обратной задачей проектирования соответствующего стапеля (рис. 4). После решения этой обратной задачи можно решить прямую задачу формообразования. Невозможно создать модель сборки центроплана без аналитического эталона стапеля. Задачу изготовления стапельной оснастки включает в себя также прямую и обратную задачи формообразования. Прямая задача заключается в изготовлении стапеля по информации соответствующего аналитического эталона (модель 5 АЭ_о) в соответствии с технологическими процессами (модель 9 - МП_о). Обратная задача состоит в сравнении аналитического эталона и его портрета (модель 24), для чего необходимо выполнить измерительные процедуры по соответствующим моделям (модель 14 МП_{ио}). Обработка измерительных операций позволяет построить аналитический портрет оснастки (модель стапеля сборки 19 П_о). Принятие решения о качестве оснастки (процедура 31) выполняется по результатам сравнения определяющих параметров аналитического эталона и портрета:

$$|F(AЭ_о) - F(П_о)| < F(\Delta),$$

Аналогичным образом проанализируем процессы формообразования при изготовлении отдельных деталей, приведенные на рис. 1. Прямая задача

формообразования изготовления заготовки по информации аналитического эталона заготовки (модель 1 - АЭ₃) выполняется в соответствии с моделью соответствующего процесса (модель 6 – МП₃). Но само формирование аналитического эталона заготовки является уже обратной задачей. В качестве одного из источников информации для его решения является аналитический эталон детали (модель 2 - АЭ_д). Кроме этого, необходима информация об оборудовании, на котором, собственно, и выполняются сами формообразующие операции.

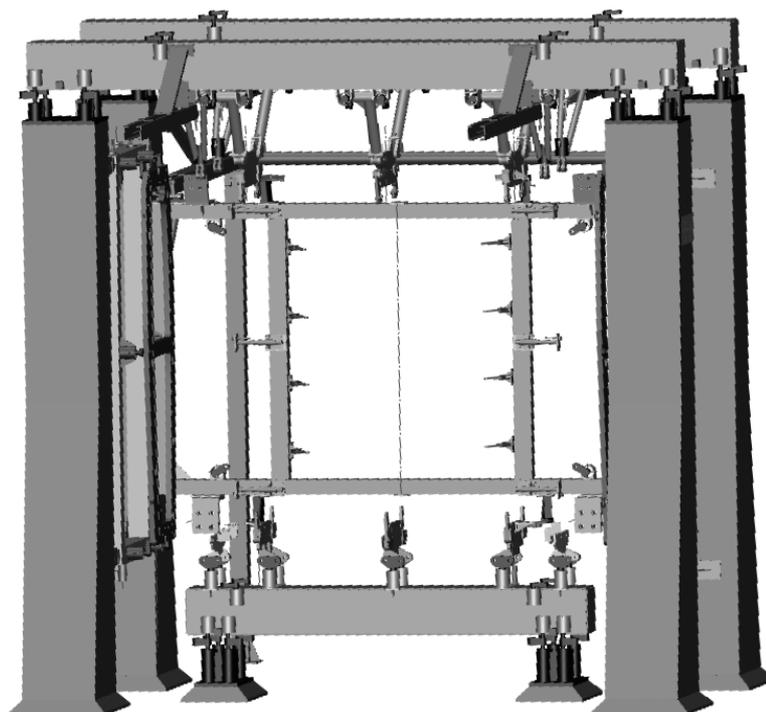


Рис. 4. Изображение аналитического эталона стапеля сборки центроплана

Потребность в информации о габаритах рабочей зоны, способах крепления заготовок, о размерах и способах крепления инструмента настоятельно рекомендует иметь соответствующие модели оборудования. Разработка моделей станков, как правило, не требует много времени, поскольку во многих CAD/CAM системах уже сформированы базы с моделями наиболее популярного оборудования.

Таким образом, были рассмотрены основные мероприятия технологической подготовки производства, связанные с формообразованием объекта производства, которые представляют собой совокупность прямых и обратных задач формообразования. Выполнение условий корректной постановки задач формообразования позволило сформировать перечень необходимых моделей и процедур, а также определить последовательность их исполнения.

По окончании технологической подготовки производства в ядро информационной системы предприятия могут быть включены все единицы оборудования с ЧПУ и вся технологическая сборочная оснастка. Это создаёт основу для решения большого количества задач по обслуживанию формообразующих систем, разработке материальных и трудовых норм, по разработке планов-графиков технологической подготовки производства, унификации технологического оснащения, модернизации оборудования.

Список литературы

1. Климов, А. Н. Организация и планирование производства на машиностроительном заводе [Текст] / А. Н. Климов, И. Д. Оленев, С. А. Соколицин. – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
2. Мялица, А.К. Прямая и обратная задачи формообразования [Текст] / И. В. Бычков, А.К. Мялица, С. А. Третьяков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2002. – Вып. 14. – С. 9–14.
3. Мялица, А.К. Корректные и некорректные постановки задач формообразования [Текст] /А. К. Мялица, Е. Н. Бут, И.В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2008. -Вып. 39. - С. 6–13.
4. Бычков, И.В. Описание объекта производства для корректной постановки задачи формообразования [Текст] / И.В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2010. - Вып. 45. - С. 129–135.
5. Бычков, И. В. Модуль «Геометрическое моделирование» информационной системы машиностроительного предприятия [Текст] / И. В. Бычков, Ю. В. Ващук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2003. - Вып. 19. – С. 226 – 239.

Рецензент: д-р техн. наук, доцент Сорокин В.Ф.,
ХНАДУ, Харьков.

Поступила в редакцию 09.02.11

Вирішення прямих і зворотних завдань формоутворення – основа технологічної підготовки виробництва

Розглянуто основні заходи технологічної підготовки виробництва, пов'язані з формоутворенням об'єкта виробництва. Вони є сукупністю прямих і зворотних завдань формоутворення. Виконання умов коректної постановки цих завдань дозволило сформулювати вимоги до інформаційного забезпечення.

Ключові слова: аналітичний еталон, аналітичний портрет, модель процесу

A decision of direct and reverse tasks of shapeformation is basis of technological preparation in machinebuilding

The basic measures of technological preparation of production depend of shapeformation of object in machinebuilding. They are a great number of direct and reverse tasks on making of form of objects. Implementation of terms of correct definition of these problems allowed to formulate requirements to the informative providing.

Keywords: analytical standard, analytical portrait, model of process