



УДК 67.02

И.В. Горлов, Е.В. Полетаева
ФГБОУ ВО «Тверской государственный
технический университет»
г. Тверь, Россия
E-mail: gorloviv@yandex.ru
Дата поступления 21.05.2019

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ДЕТАЛИ – ОСНОВА СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Аннотация

Основная проблема большинства машиностроительных предприятий в нашей стране – сокращение производства. В настоящее время увеличение объёма производства возможно только за счёт расширения его номенклатуры, что требует ускоренной технологической подготовки. Данную проблему можно решить за счёт применения групповых технологий и использования систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Однако использование САПР ТП не всегда обеспечивает требуемое решение, так как конкретные особенности производства не всегда учитываются автоматизированными системами. Решение этой проблемы возможно на основе специального алгоритма, позволяющего путем анализа структурной модели конструкторско-технологических элементов (КТЭ) детали получать требуемый технологический процесс (ТП) с учетом конкретных условий производства. Такие технологии могут быть реализованы за счет гибких производственных систем (ГПС), что позволит существенно снизить затраты на переналадку при переходе на выпуск нового изделия.

Ключевые слова: технология машиностроения, автоматизация, технологическая подготовка производства, структурная модель, групповая технология, гибкие производственные системы.

Введение

Большинство машиностроительных предприятий в условиях сокращения объёма производства традиционной продукции часто вынуждено расширять номенклатуру выпускаемых изделий за счет реализации дополнительных заказов на изготовление нетрадиционных изделий. В этом случае возникает потребность разработки гибких технологических процессов. Однако, при изготовлении деталей относительно малой серийности как правило применяют универсальные станки, не обладающие необходимой в настоящее время эффективностью. Эффективность многономенклатурного производства сегодня может быть повышена только на основе групповых технологий [1-3], основанных на применении станков с числовым программным управлением (ЧПУ), обладающих требуемой

гибкостью и производительностью. При реализации такого подхода наиболее актуальной является задача автоматизированного структурного синтеза ТП с использованием систем автоматизированного проектирования технологических процессов для получения технологических маршрутов на основе анализа структурной модели детали и свойств КТЭ. В то же время в большинстве применяемых в настоящее время САПР ТП не решена на требуемом уровне проблема создания сквозного технологического маршрута изготовления детали [4, 5]. Решить эту проблему можно с помощью разработки специальных алгоритмов, которые позволяют формировать технологический процесс автоматизированным способом на основе анализа структурной модели детали и свойств КТЭ.

Структурная модель детали

Структурная модель строится на основе конструкторских и технологических свойств детали. В процессе анализа детали необходимо выявить основные параметры, влияющие на положение заготовки в процессе обработки, способ получения поверхностей и доступ обрабатывающего инструмента в зону резания. Исходя из этих параметров, деталь как системный объект можно представить подсистемами на нескольких уровнях абстрагирования.

Для деталей типа вал их структурную модель условно можно представить двумя подсистемами первого уровня: левая сторона и правая сторона. Это связано с тем, что при изготовлении большинства валов обработка проводится последовательно сначала с одной стороны, а после переустановки детали, – с другой. При рассмотрении конкретной детали необходимо учитывать последовательность обработки поверхностей (чаще всего от наименьшей к наибольшей) и способ её установки. При этом надо стремиться к тому, чтобы, если возможно, время обработки сторон было близким, но это правило необязательно. Наиболее важным является требование установки детали с учетом необходимой точности базирования.

Далее, подсистемы первого уровня (левая и правая сторона) делятся на подсистемы второго уровня в зависимости от основного формообразующего элемента, что связано с формой обрабатываемой поверхности и соответственно видом используемого технологического оборудования. Для валов основное формообразующее движение – вращение детали относительно своей оси, и поэтому для обработки таких деталей, как правило, используют токарные и круглошлифовальные станки в соответствии с требуемой точностью обрабатываемых поверхностей. Кроме того, необходимо учитывать дополнительные КТЭ (лыски, пазы, несоосные отверстия и др.), которые получаются с помощью других способов обработки. С точки зрения расшифровки структурной модели детали, подсистемы второго уровня предпочтительно обозначать в соответствии с видом основ-

ного формообразующего элемента (цилиндры, конусы, шпоночные пазы, торцы и др.).

На самом нижнем уровне структурной модели находятся конструкторско-технологические элементы – простейшие поверхности с набором различных свойств, наиболее важные из которых: размеры, точность, шероховатость поверхностей, отклонения формы и расположения поверхностей. Данные свойства отразить в структурной модели сложно, однако, большинство из них косвенно связаны между собой. Так, для цилиндрической поверхности с точностью основного размера по шестому - седьмому качеству возможная шероховатость поверхности изменяется в пределах Ra1,6 - 0,2 в зависимости от конкретных требований к детали. Требуемая шероховатость достигается в основном за одинаковое количество переходов и зависит в конечном итоге от параметров инструмента и режимов резания, то есть от параметров обработки, и, следовательно, на структуру технологического процесса не влияет. Отклонения формы получаемой поверхности косвенно связаны с допуском на основной размер, следовательно, могут быть определены в зависимости от его качества точности. Таким образом, в большинстве случаев, номер качества определяет необходимое количество переходов для достижения требуемых параметров детали, то есть позволяет определять структуру технологического процесса.

Обозначение КТЭ можно представлять в виде:

123Цл/б,

где цифры вначале отражают структурные свойства элемента: *1* – первый структурный уровень (обрабатываемая сторона детали), *2* – второй структурный уровень (главная формообразующая группа, в данном случае цилиндр), *3* – третий структурный уровень (номер элемента, входящего в формообразующую группу). Буквы в обозначении определяют основной формообразующий элемент, а цифра в конце обозначения *б* – качество точности основного размера элемента.

Проведем структурный анализ детали типа вал. Шлицевой вал (Рис.1) представляет собой набор цилиндров, диаметральный размер которых уменьшается от середины к торцам. Наибольший диаметральный размер 54 мм, длина вала 250 мм. Структурно вал можно разделить на системы трех уровней. Первый структурный уровень связан со стороной обрабатываемой детали (условно, левая сторона – 1, правая сторона – 2).

Второй структурный уровень объединяет основные формообразующие поверхности, зависящие от способа обработки. Структурная группа второго уровня 11 – торец с центровым отверстием, он обрабатывается на фрезерно-центровальной операции за два перехода (первый переход – фрезерование торцов, второй переход – сверление центрального отверстия). Структурная группа второго уровня 12 – цилиндр, который последовательно обрабатывается несколько раз. На первом этапе обработки (черновая обработка) получается непосредственно сам цилиндр и правый торец. Аналогично обозначены другие структурные подсистемы второго уровня (Рис. 2). Группирование КТЭ в подсистемы второго

уровня производится с точки зрения обработки в пределах одной операции и последовательности их обработки.

На третьем структурном уровне детали находятся КТЭ, обладающие как своими, так и свойствами более высоких структурных уровней (рисунок 3).

Например, КТЭ 13.2Цил6 – цилиндр шестого качества входящий в структурную подсистему второго уровня 12 Цилиндр принадлежащей структурной системе первого уровня 1 Левая сторона. Проведя анализ конструкции детали по предложенным принципам, получим структурную модель, отражающую все свойства шлицевого вала (см. рисунок 1).

Аналогичным образом производится структурный анализ соответствующих деталей, входящих в группу и формируется комплексная деталь, содержащая все КТЭ деталей. На основе анализа структуры КТЭ группы формируется групповой технологический маршрут, представляющий собой набор операций с выбранным технологическим оборудованием, отвечающим требованиям групповой обработки.

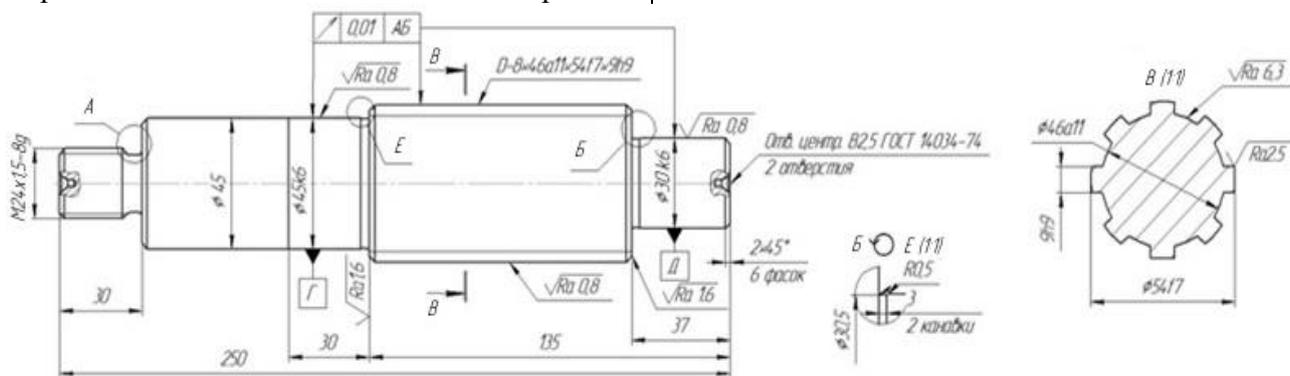


Рисунок 1. Шлицевый вал

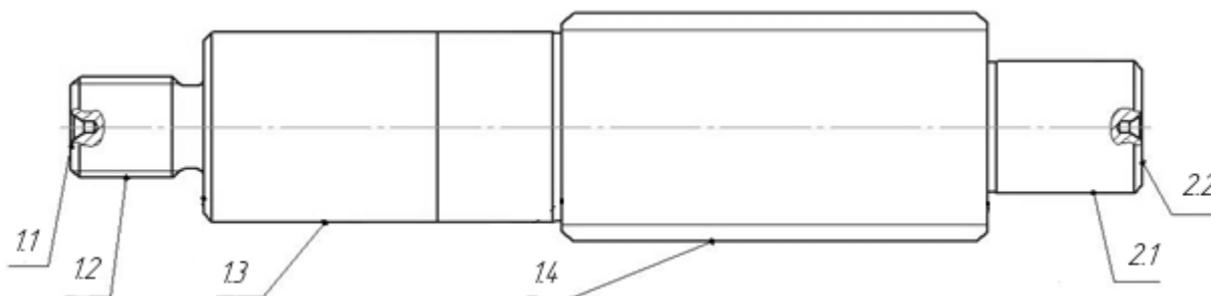


Рисунок 2. Основные структурные группы второго уровня шлицевого вала

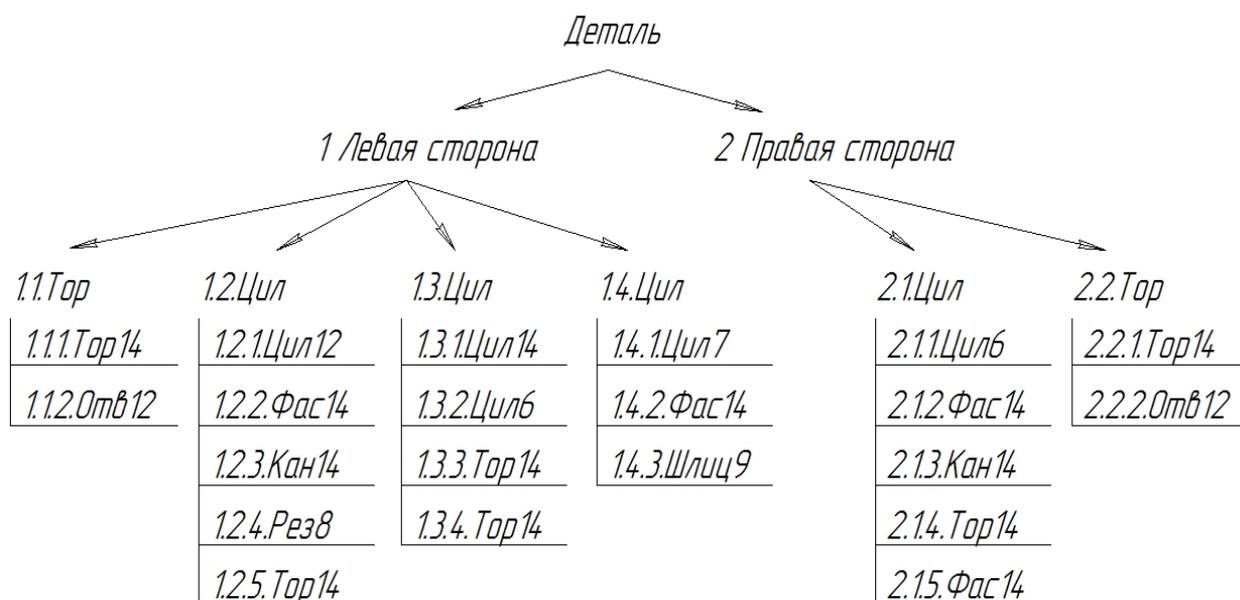


Рисунок 3. Структура КТЭ детали шлицевой вал

Формирование технологического процесса для детали типа вал

Для повышения эффективности технологический процесс в многономенклатурном производстве строится на групповом принципе. Такие ТП формируются из условий серийного производства с разделением на операции подготовки технологических баз, черновые, чистовые и изготовление соответствующих КТЭ (фрезерование шпоночных пазов, шлицев, зубчатых венцов, сверление несоосных отверстий и др.). Далее, при необходимости, проводится термообработка, а затем отделочные операции. Групповой технологический процесс для изготовления деталей типа *вал* структурно в целом для всех деталей сходный [6, 7]. Таким образом, укрупненная структура ТП известна.

Оборудование для реализации групповой технологии подбирается исходя из условий достаточной гибкости и эффективности [8-10]. Таким требованиям отвечают станки с ЧПУ. Для подготовки технологических баз в многономенклатурном производстве в настоящее время применяются фрезерно-центровально-обточные станки, которые оснащаются управляемыми по программе специальными устройствами для обработки различных поверхностей, установки и закрепления однотипных дета-

лей. NPF120N станок для подготовки технологических баз, который используется для одновременной обработки с двух сторон торцов, сверления с двух сторон центровых отверстий и одновременного обтачивания крайних цилиндрических поверхностей (длиной до 50 мм).

Далее в большинстве случаев выполняется токарная черновая обработка. Для этих целей не требуется оборудование с широкими технологическими возможностями, т.к. форма обрабатываемых поверхностей простая (цилиндры, торцы, конуса и др.). При этом станки, используемые на черновой обработке (например, ТС1625Ф3) должны быстро переналаживаться, обладать высокой мощностью и жесткостью, что обеспечивает удаление больших припусков за один проход. Однако, вследствие высоких нагрузок достигаемая точность обработки относительно невысока (14 - 12 квалитет).

Для токарных чистовых операций, где обычно совмещаются получистовые и чистовые переходы (11 и соответственно 9 квалитет), требуются станки с более широкими технологическими возможностями (например, ТС1720Ф4), так как обработка проводится за несколько проходов с получением фасок, канавок различной формы, резьбы и др., с возможностью использования нескольких инструментов.

Затем получают другие элементы детали – шлицы, зубчатые венцы, пазы, отверстия и др. Для этого можно использовать обрабатывающие центры на базе вертикально-фрезерных станков (например, ФС85МФ3). Такие станки могут проводить различные виды обработки: фрезерование, растачивание, сверление, резбонарезание и др. Для расширения возможностей таких станков используют цифровые делительные головки, что обеспечит изготовление зубчатых венцов, шлицев методом копирования и др.

При большом количестве зубчатых венцов или шлицев для повышения эффективности обработки предпочтительнее применять специализированные зубофрезерные станки с ЧПУ (например, 53С11Ф5).

Такой станок может использоваться для изготовления цилиндрических и червячных зубчатых колес, относительно коротких шлицевых поверхностей в условиях мелкосерийного производства.

Отделочные операции в групповом производстве для деталей типа вал необходимо проводить с помощью круглошлифовальных станков с ЧПУ (например, RSM 500 CNC). Назначение таких станков – обработка шлифованием наружных цилиндрических, конических поверхностей в разном их сочетании. Шлифование может проводиться методом врезания или продольного шлифования с последовательной обработкой нескольких поверхностей.

Таблица 1

Фрагмент массива промежуточных состояний КТЭ

	КТЭ	Размер	Переходы									
			Фр-центр	Ток. черн.	Ток. пол. чист.	Ток. чист.	Фрезерн.	Зубо. фрез	Кр. шлиф. предв	Кр. шлиф. оконч.	...	
1	<i>1.1.1.Топ14</i>	30js14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	<i>1.1.2.Отв12</i>	12js12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	<i>1.2.1.Цил14</i>	24h12	14	0	0	0	0	0	0	0	0	
	...											
8	<i>1.3.1.Цил14</i>	45h14		14	0	0	0	0	0	0	0	
9	<i>1.3.2.Топ14</i>	Ø34h6		14	11	9	0	0	7	6		
	...											

Количество и технологические возможности оборудования в конкретных условиях производства могут существенно отличаться, поэтому на этапе технологического проектирования требуется за каждым станком закрепить возможные КТЭ, что позволит в дальнейшем автоматически получить маршрут обработки на конкретную деталь.

Большое количество САПР ТП позволяют по свойствам КТЭ получать планы их обработки с выбором способа изготовления элемента, межоперационных размеров и допусков. При таком подходе может быть сформирован массив промежуточных состояний для каждого конструкторско-технологического элемента детали, который в последующем используется для синтеза технологического процесса (таблица 1).

Количество переходов и их последовательность могут быть разными в зависимости от параметров КТЭ и структуры группового технологического процесса. Для каждого КТЭ в строке промежуточного состояния в соответствующем переходе указывается достигаемая точность обработки (структурная часть обозначения КТЭ и формообразующий элемент не показываются).

Для каждого станка формируется вектор, который при перемножении на строку промежуточного состояния КТЭ (в пределах переходов) может давать нулевое множество, – данный элемент на соответствующей операции не обрабатывается, или ненулевое множество, – элемент на данной операции обрабатывается. Один и тот же станок может использоваться на операциях при обработке с разных сторон, поэтому при синтезе ТП условно нужно выбирать, сначала операцию при обработке со стороны 1, а потом 2, если это необходимо.

Например, для фрезерно-центровального станка NPF120N и соответствующей операции вектор представлен в таб.2.

Таблица 2

Вектор станка NPF120N

1	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

При перемножении данного вектора на строки 1, 2 и 3 будет получаться непустое множество, значит элементы 1.1.1.Цил14, 1.1.2.Отв12 и 1.2.1.Цил14 будут обрабатываться на данной операции.

Аналогично для токарной черновой операции со стороны 1. Станку TC1625Ф3 будет соответствовать вектор, представленный в таб.3.

Таблица 3

Вектор станка TC1625Ф3

0	1	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

На токарной черновой операции со стороны 1 будут обрабатываться элементы 1.3.1.Цил14, 1.3.2.Цил14, 1.4.1.Цил14, 2.1.1.Цил14.

Используя представленный алгоритм можно автоматизированным способом получить технологический процесс на любую деталь группы.

При разработке технологического процесса эффективно использовать САПР ТП, так как с помощью них можно повысить качество и существенно сократить время технологического проектирования. Например, при проектировании в системе «Вертикаль» в окне «КТЭ» создаётся структурная модель детали по описанным выше правилам. Для КТЭ описываются свойства (размер с точностью, шероховатость), и автоматически формируются варианты планов обработки. Из них выбирается вариант, соответствующий структуре группового техпроцесса. Выбранный план обработки с межоперационными размерами позволяет определить необходимый набор операций для получения данного КТЭ и сформировать его обозначение в окончательном виде по предложенной выше методике.

Процесс создания структуры группового ТП зависит от большого количества параметров (структурных моделей КТЭ деталей группы, используемого технологического оборудования, применяемой оснастки и многих других условий), поэтому для сравнения возможных ТП в конкретном случае необходимо проводить предварительный анализ на имитационных моделях.

Заключение

Групповые технологические процессы изготовления деталей малой серийности позволяют повышать эффективность многономенклатурного производства за счёт уменьшения времени на переналадку станков [11-14]. В то же время, подготовка к производству детали малой серийности оказывает существенное влияние на стоимость и качество изделия. Отчасти эту проблему помогают решить САПР ТП, однако, они не всегда обеспечивают получение готового решения на высоком технологическом уровне, так как имеют ряд ограничений. Разработанная методика построения технологического процесса на основе анализа структурной модели детали позволяет упростить процесс получения технологического маршрута автоматизированным методом за счет формального алгоритма, который может быть реализован с помощью информационных систем, что обеспечивает повышение качества проектирования, и снижение затрат времени на подготовку к производству.

В условиях, когда машиностроительные предприятия снижают объём производства традиционной продукции, возрастают издержки при использовании типовых решений. Использование ГПС на основе групповых технологий и современные подходы к проектированию технологических процессов для деталей малой серийности позволяют обеспечить требуемую эффективность изготовления и высокое качество продукции [15].

Библиографический список

1. Горлов И. В., Полетаева Е.В., Калинин Н.А. Групповая технология как основа автоматизации широкономенклатурного производства // Вестник Тверского государственного технического университета. Тверь. 2016. №1 (29). С. 59 – 65.
2. Горлов И.В., Полетаева Е.В., Рахутин М.Г. Использование групповых технологий при производстве и ремонте торфяных машин // Механическое оборудование металлургических заводов. 2017. №2 (9). Магнитогорск. Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова. С.22-26.
3. Организация группового производства /Под ред. С.П.Митрофанова. –Л.: Лен-издат, 1980. -288с
4. Литовка Ю. В. Автоматизация технологической подготовки производства Тамбов: Тамбовский государственный технический университет. 2003. 33 с.
5. Чижов М. И., Бредихин А.В. Разработка подхода к автоматизации технологической подготовки производства в PLM системе Teamcenter // Вестник Воронежского государственного технического университета. Воронеж. 2011. Т. 7, № 12-1. С. 24 – 26.
6. Новоселецкий Б.В., Редько Р.Г., Редько О.И. Особенности технологии обработки деталей типа тел вращения на гибких автоматизированных линиях // Луцкий национальный технический университет. Луцк. 2014. № 47. С. 125-130.
7. Аскалонова Т.А., Леонов С.Л., Ситников А.А. Организация групповой технологии в гибких производственных системах // Вестник современных технологий. Севастополь. 2016. №1 (1). Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет». С. 4 – 9.
8. Мещерякова В. Б, Стародубов В. С. Металлорежущие станки с ЧПУ Сер. Бакалавриат: учебное пособие. Москва. Московский государственный

технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2015. 336 с.

9. Сивцев Н.С. Приспособления для многооперационных станков с ЧПУ: учебное пособие для студентов вузов: в 2-х частях Редактор: И. В. Ганеева. - Том. Часть 1. Системы переналаживаемых приспособлений. Ижевск. Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2014. 96 с.
10. Пушинин В. Н., Ерохин И. А., Корнев Д. Ю., Скиба В. Ю. Станочное оборудование, основанное на компенсировании нескольких технологических операций // Актуальные проблемы в машиностроении. Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск. 2014. № 1. С. 245 – 255.
11. С. Синго. Быстрая переналадка. Революционная технология оптимизации производства. Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций». Перевод с английского под ред. Ю.Адлера. Москва, ЦентрОргПром. 2006. 343 с.
12. Мартынов Р.С. Сокращение времени переналадки оборудования как фактор

повышения эффективности использования материальных ресурсов на предприятии // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2011. С. 87-90.

13. Куприянова Т.М., Растимешин В.Е. Реализация технологии быстрой переналадки: российский опыт info@tpmcenter.ru
14. Звягина Е.А., Миронов А. Оптимизация процесса механической обработки детали на основе применения быстропереналаживаемого технологического оборудования // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях. Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции: в 3-х томах. ответственный редактор Горохов А.А. Издательство: Закрытое акционерное общество "Университетская книга" (Курск), 2014. С. 224 – 229.
15. Бухалков М. И., Кузьмин М. А., Павлов В.В. Особенности проектирования и организации группового производства в машиностроении // Организатор производства. Воронежский государственный технический университет. Воронеж. 2010. Том: 47 № 4 С. 27-32.

Information about the paper in English

I.V. Gorlov, E.V. Poletaeva
Tver State Technical University
Tver, Russia
E-mail: gorloviv@yandex.ru
Received 21.05.2019

STRUCTURAL MODEL OF A PART AS THE BASIS FOR PROCESS SYNTHESIS

Abstract

The main issue faced by the majority of machine building companies in this country is related to scaling down. At present, the only way to scale up the production is to broaden the assortment of manufactured items, which requires fast staging. The problem can be resolved by using group technology and computer-aided process planning. However, computer-aided process planning systems do not always deliver the desired solution as certain production conditions cannot always be accounted for by automation systems. This problem can be resolved with the help of a special algorithm, which analyses the structural model of a part's design and produces the required process based on the actual production environment. Such technology can be realized with the help of flexible production systems, which will help significantly reduce setup costs when changing over to new product.

Keywords: machine building technology, automation, process engineering, structural model, group technology, flexible production systems.
