

цида. Нанесение защитных покрытий необходимо производить на установках УНИП 700 ДК магнетронного ионоплазменного напыления, толщина защитных пленок 1...5 мкм.

#### Библиографические ссылки

1. Шильяев А. И. Определение рациональных условий вытягивания первичных нитей при производстве волокна из базальтового сырья дуплекс-способом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 3(31). – С. 174–179.
2. Цирконий и гафний России: современное состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы / Л. З. Быховский [и др.] // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. – 2007. – № 23.

3. Архипова Н. А. 2002 (ИМГРЭ). – URL: <http://n-t.ru/ri/ps/pb040.htm>
4. Шильяев А. И. Исследование вихревого датчика уровня расплава // Современные проблемы машиностроения : Тр. V Междунар. науч.-техн. конф. – Томск : Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. – С. 513–516.
5. Самсонов Г. В. Нитриды. – Киев, 1969.
6. Том Л. Карбиды и нитриды переходных металлов : пер. с англ. – М., 1974.
7. Самсонов Г. В., Винницкий И. М. Тугоплавкие соединения : справочник. – 2-е изд. – М., 1976.
8. Левинский Ю. В. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений : справочник / под ред. Т. Я. Косолаповой. – М., 1986.
9. Асанов Б. У., Макаров В. П. Нитридные покрытия, полученные вакуумно-дуговым осаждением. – URL: <http://www.krsu.edu.kg/vestnik/2002/v2/a01.html>

A. I. Shilyaev, Applicant, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

P. N. Melnikov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Votkinsk branch

#### Investigation of Influence of Bushing Feeder Structural Features on Fiber Production Rate

*The paper is devoted to experimental investigating the influence of multi-component bushing feeder structural features on the fiber production rate. The parameters that determine the performance of the die are: characteristics and the level of melt viscosity and temperature of the melt directly at the entrance to the feeder plate, the temperature of the feeder field, the degree of cooling of the melt and feeder field refrigerator, the parameters of the drum (diameter, length and resistance to the passage of the melt through the Spinneret), the diameter of produced fibers and speed drawing of fibers.*

**Key words:** bushing, super thin fibers, production output rate.

УДК 621.9.06

С. С. Кугаевский, кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*Рассмотрен процесс формирования конструктивно-технологических элементов (КТЭ) при обработке машиностроительной детали на металлорежущих станках. Эти элементы образуют текущее состояние заготовки на данной технологической операции.*

**Ключевые слова:** техническая система, конструктивно-технологический элемент, состояние заготовки, технология механической обработки.

Основным направлением конструкторского моделирования изделий машиностроения в последние годы является массовый переход от разработки 2D электронных моделей чертежей деталей к проектированию объемных 3D-моделей. Наибольшее распространение получили твердотельные модели, которые охватывают более 75 % конструкций машиностроительных деталей. При технологическом проектировании также используются компьютерные модели деталей, но объединение поверхностей в группы производится по другим принципам, учитывающим особенности технологии изготовления.

В работе [1] введено понятие модуля поверхностей (МП), под которым понимается сочетание поверхностей, предназначенных выполнять соответствующую служебную функцию детали и придавать детали кон-

структивную форму, обусловленную требованиями эксплуатации и изготовления. Если рассматривать служебное назначение поверхностей детали, то сочетание этих поверхностей можно объединить в модули поверхностей: базисные (МПБ), рабочие (МПР), связующие (МПС). Деталь, в которую модули поверхностей включены как структурные элементы, может рассматриваться как сложная техническая система, для которой применимы методы системного анализа. Такой подход весьма полезен при конструкторском проектировании, но выделенные модули поверхностей не могут быть использованы в качестве структурных элементов технологического процесса.

#### Структура технологического процесса

Технологический процесс изготовления детали как объект проектирования также можно рассматривать как сложную техническую систему. Многое

зависит от того, что выбрать в качестве элемента системы. В работе [2] технологический процесс рассмотрен как сложная техническая система  $S$ , для которой справедливо выражение

$$S = (E, TS, F, H), \quad (1)$$

где  $E$  – элементы системы;  $TS$  – структура системы;  $F$  – поведение системы;  $H$  – окружающая среда.

Структура  $TS$  характеризует упорядоченность системы. В работе [3] дается определение структуры как совокупности устойчивых связей между частями целостного объекта. Технологический процесс как объект проектирования имеет многоуровневую структуру. На рис. 1 представлена структурная схема технологического процесса механической обработки детали.

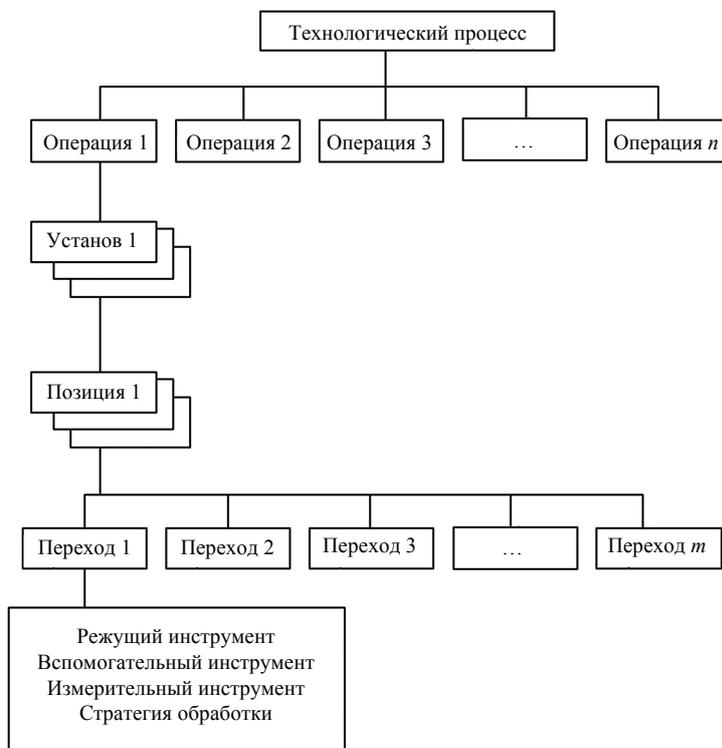


Рис. 1. Структура технологического процесса

Элементы системы – технологические переходы (например, точить, сверлить, фрезеровать и т. д.) – характеризуются своими параметрами  $Y_i$ . Элементы связаны между собой отношениями следования. Например: черновые операции предшествуют чистовым, базовые поверхности обычно обрабатываются раньше, чем рабочие, и т. д.

Системы обеспечения инструментом, системы материально-технического обеспечения производства, технологической подготовки, оперативного планирования и регулирования хода производства могут рассматриваться в качестве внешней среды  $H$ .

Поведение системы  $F$  определяет функцию системы, которая обеспечивает перевод поверхностей заготовки из одного промежуточного состояния в другое. При этом промежуточное состояние заготовки будет изменяться после каждого технологического перехода.

Рассмотрим в качестве примера какую-нибудь абстрактную операцию, состоящую из отдельных переходов  $p_1, p_2, p_3, p_4$ . Моделью этой операции (подсистемой) будет граф, представленный на рис. 2.

Нетрудно заметить, что техническая система, характеризующая конструктивное содержание детали, и техническая система, описывающая процесс обра-

ботки, – это не одно и то же, так как в первом случае элементом является материальный объект, а во втором – действие, процесс. Иное дело, если в качестве элемента структуры технологической системы взять промежуточное состояние заготовки.

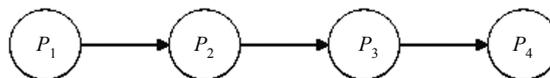


Рис. 2. Граф последовательности выполнения переходов

### Структура детали на основе промежуточных состояний заготовки

Остановимся на промежуточном состоянии заготовки как на элементе сложной технической системы. Можно классифицировать этот элемент как 3D-модель заготовки, размеры которой ограничены временными поверхностями, изменяющимися после каждого перехода в направлении от исходной заготовки к готовой детали. В результате каждого перехода создается новый конструктивно-технологический элемент (feature), который изменяет предыдущее состояние заготовки в сторону уменьшения материала.

Конструктивно-технологический элемент (КТЭ), или feature, имеет скорее технологическое, чем конструкторское происхождение, так как соответствует содержанию технологического перехода в виде состава поверхностей, обрабатываемых на этом переходе. Этот состав поверхностей не связан со служебными функциями детали как конструкторский модуль поверхностей, а отражает форму инструмента и технологический характер перехода. Если построить 3D-модель режущей кромки как образующую поверхность и использовать пространственную линию траектории как направляющую кривую, мы получим 3D-модель формы снимаемого припуска. Пользуясь терминологией 3D-моделирования, скажем, что происходит булевская операция вычитания из модели заготовки лишнего материала. Таким образом, граф промежуточных состояний детали можно было бы представить следующим образом (рис. 3).



Рис. 3. Линейный граф промежуточных состояний детали с учетом вычитания КТЭ из модели обрабатываемой заготовки

На рисунке под  $f_i$  понимается припуск, снимаемый на данном технологическом переходе  $P_i$ , взятый

в виде самостоятельного 3D-объекта. Техническая система, имеющая в качестве структурного элемента промежуточное состояние  $C$ , будет иметь вид

$$S_c = (C, TS_c, F_c, H),$$

где  $C$  – элементы системы;  $TS_c$  – структура системы;  $F_c$  – поведение системы;  $H$  – окружающая среда.

Система имеет многоуровневую структуру, наиболее мелкими элементами которой на нижнем уровне являются конструктивно-технологические элементы (feature). Конструктивно-технологический элемент (feature) – это комплект поверхностей, обрабатываемых на данном технологическом переходе и имеющих временные размеры, характеризующие текущее состояние заготовки. В подавляющем большинстве случаев это и есть снимаемый припуск  $f_i$ , взятый в виде самостоятельного 3D-объекта.

Поведение системы  $F_c$ , или функция, для которой образована система, обеспечивает перевод обрабатываемой заготовки из исходного состояния в состояние готовой детали. При этом промежуточное состояние заготовки будет изменяться после каждого технологического перехода. В качестве внешней среды  $H$  для такой системы можно рассматривать различные погрешности, которые влияют на достижение заданных параметров КТЭ. Структура системы, имеющей в качестве элементов текущие наборы поверхностей заготовки, показана на рис. 4.

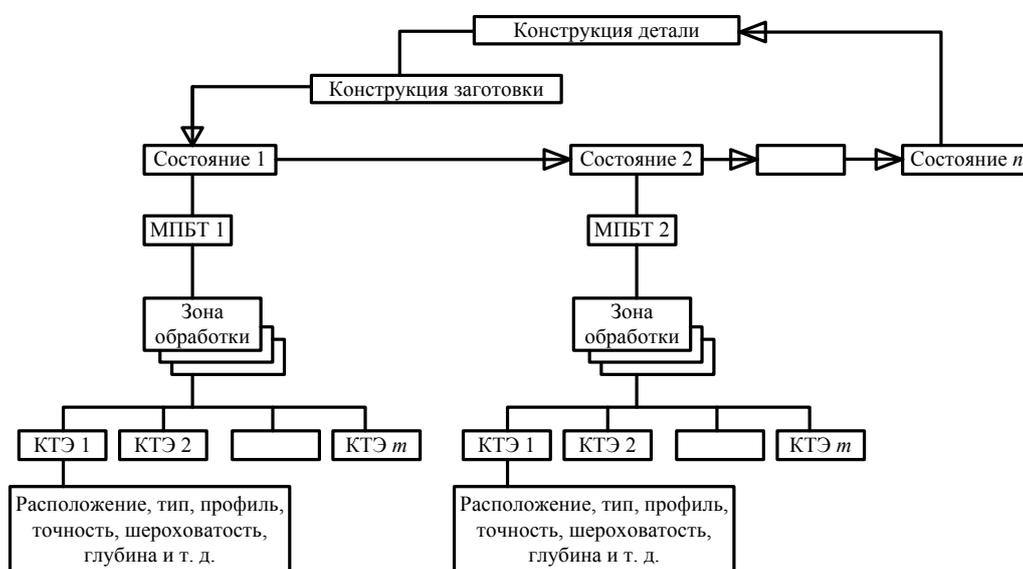


Рис. 4. Структура технической системы промежуточных состояний

Промежуточное состояние заготовки как элемент системы характеризуется текущими размерами поверхностей и физическими свойствами (твердость, шероховатость, покрытие и т. д.). Технологический процесс не может быть бесконечен по времени. Размерные характеристики заготовки изменяются с каждым технологическим переходом и ограничены наличием припуска на обработку. Физические свойства заготовки изменяются в результате выполнения специальных операций (термическая, гальваническая

и т. д.) вплоть до достижения заготовкой требуемых чертежом свойств.

Состояние КТЭ задается набором параметров, описывающих форму, размеры и физико-механические свойства поверхностей, а также размерными связями между обрабатываемой и базовыми поверхностями. Примеры различных КТЭ приведены в работе [4].

Важно отметить, что понятие КТЭ и понятие МП не являются эквивалентными, хотя оба определяются

комплектами поверхностей. В случае готовой детали КТЭ может совпадать с поверхностью или модулем поверхностей конструкторской 3D-модели. Взаимо-

связь конструкторских и технологических поверхностей показана на рис. 5.

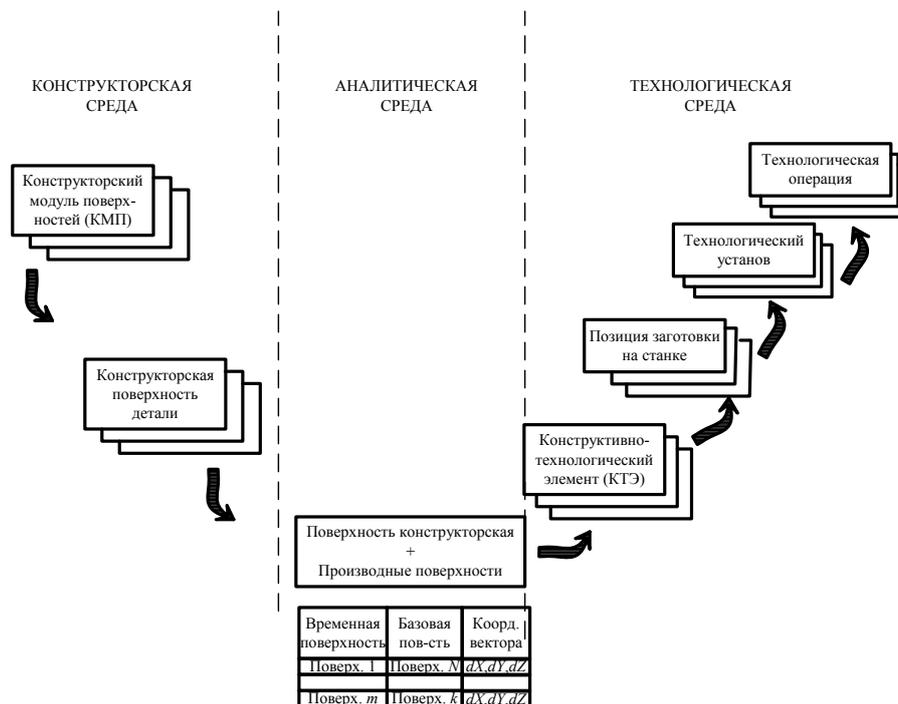


Рис. 5. Взаимосвязь конструкторских и технологических поверхностей

Необходимость рассмотрения аналитической среды проектирования вызвана тем, что часть поверхностей, имеющих повышенные требования к точности и шероховатости, обрабатываются за несколько стадий (черновая, получистовая, чистовая). Для выполнения этих стадий вводится дополнительный припуск и, следовательно, новый технологический переход. Таким образом, под производной поверхностью понимается поверхность, образованная наложением дополнительного припуска на конструкторскую поверхность с целью обеспечения заданной точности или шероховатости. Примером производных поверхностей служат поверхности, образованные рассверливанием и зенкерованием круглых отверстий, диаметр которых задан по 7-му квалитету точности. Кроме того при группировании поверхностей в аналитической среде проектирования уточняются или пересчитываются размерные связи между поверхностями. Эти связи хранят наследственность координатного расположения конструкторских модулей поверхностей (МП) и переносятся в технологические эскизы после проведения размерного анализа.

#### Выводы

1. Предложено рассматривать процесс изготовления детали методами обработки резанием как систе-

му, в которой элементами являются промежуточные состояния заготовки после каждого технологического перехода.

2. Каждый переход заготовки из одного состояния в другое сопровождается появлением временного конструктивно-технологического элемента – feature.

3. Введено понятие о производных поверхностях и производных конструкторско-технологических элементах, возникающих в случае деления общего припуска на промежуточные с целью улучшения качества обработки.

#### Библиографические ссылки

1. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. – М. : Машиностроение, 2001. – 368 с.
2. Ашихмин В. Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов : учеб. пособие. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2007. – 200 с.
3. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. – Минск : Наука и техника, 1979. – 264 с.
4. Кугаевский С. С. Применение метода поэлементной технологии для расчета управляющих программ в среде САМ-систем // CAD/CAM/CAE-observer. – 2010. – № 5. – С. 65–68.

S. S. Kugaevsky, PhD in Engineering, Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg

System Approach to Manufacturing Process Development

*The paper considers the process of generating the design-manufacturing elements when machining the engineering part at metal-cutting tools. These elements form the current state of the work-piece at the particular manufacturing operation.*

**Key words:** technical system, design-manufacturing element, work-piece state, machining technique.

УДК 621.9

Д. С. Люба, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАНЕТАРНОГО ШЛИФОВАНИЯ

*Рассмотрены вопросы формирования траектории при планетарном шлифовании. Представлено моделирование кинематических схем процессов шлифования сочетанием двух элементарных движений. Показана методика наложения траекторий движения абразивных зерен при различной направленности движения шлифовальных кругов при планетарном шлифовании. Описаны методики создания программного обеспечения для решения задач движения зерен при планетарном шлифовании.*

**Ключевые слова:** моделирование, шлифование, планетарный механизм, кинематика движения, траектория.

Исходя из задач и требований, предъявляемых к плоским деталям из труднообрабатываемых материалов, можно считать, что на данном этапе развития торцового шлифования наиболее эффективным методом является планетарное шлифование. Планетарное шлифование позволяет совместить предварительную и чистовую обработку деталей, а также получить поверхность высокого качества. Для торцового шлифования сплошным инструментом характерно снятие припуска в процессе многократных проходов с небольшой продольной подачей и высокой скоростью детали. Поэтому шлифование на таких режимах рекомендуется применять в основном для финишной обработки в условиях снятия небольших припусков.

При планетарном шлифовании обработка ведется с глубиной до 3 мм при скорости подачи детали 0,02...5 м/мин. Этот метод обеспечивает высокую производительность, размерную стойкость инструмента, отличается меньшими градиентами температур, что благоприятно сказывается на тепловых напряжениях и качестве обработанной поверхности. При этом увеличивается эффективность использования смазочно-охлаждающей жидкости за счет возможности подачи ее как непосредственно в зону резания, так и на свободную необрабатываемую поверхность, что повышает интенсивность теплоотвода. Вместе с тем данный метод обработки не требует квалифицированного обслуживания, так как качество обработки здесь определяется в основном возможностями станка, что позволяет осуществлять механизацию и автоматизацию процесса шлифования. Планетарное шлифование позволяет произвести обработку за один-два прохода без предварительных лезвийных операций, уменьшить припуски, резко сократить вспомогательное и подготовительно-заключительное время, упростить инструментальные наладки. Кроме того при планетарном шлифовании возможно применение абразивного инструмента, обладающего более высокими режущими способно-

стями и стойкостью, что, в свою очередь, влечет за собой ужесточение режимов резания и сокращение машинного времени. Поэтому за счет применения планетарного шлифования обеспечивается интенсификация процесса обработки и в конечном счете повышается производительность труда.

Одним из направлений, позволяющих значительно расширить технологические возможности процесса планетарного шлифования, является создание и совершенствование инструмента. Обеспечить рациональные условия процесса шлифования планетарным инструментом – значит выбрать параметры обработки, при которых качество обрабатываемой поверхности соответствует техническим условиям и обеспечивается высокая производительность при минимальной ее себестоимости.

При проектировании планетарного инструмента были поставлены следующие задачи: обеспечить минимальный вес и габариты, чтобы использовать его на средних по размеру шлифовальных станках без их модернизации; использовать стандартные шлифовальные круги типа 6А2; максимальные результирующие скорости резания не должны превышать скорости, допускаемые ГОСТ 4785–84 для данных кругов; обеспечить шлифование со знакопеременными деформациями сдвига в поверхностном слое детали за счет вращения соседних шлифовальных кругов в разные стороны.

Для реализации указанных отличительных особенностей планетарного абразивного шлифования была разработана конструкция планетарного устройства для обработки плоских поверхностей [1]. Устройство представляет собой наружный шлифовальный круг типа АЧК, внутри которого расположен планетарный механизм с установленными на нем одинаковыми внутренними шлифовальными кругами типа 6А2. Вращение наружного и внутренних шлифовальных инструментов в противоположных направлениях и с различной частотой вращения обеспечивает последовательное внедрение режущих кро-