

- thorship USSR, no. 709683, 1980. (Rus.)
12. Loza A.V., Shishkin V.V., Loza E.A. *Chasha shlakovoza* [Slag bowl]. Patent UA, no. 44485, 2009. (Ukr.)
13. Chigarev V.V., Rassokhin D.A., Loza A.V. *Razrabotka i primenenie sposoba lokal'nogo uprochneniia litykh detalei* [Development and application of the method of local hardening of cast parts]. *Naukovii visnik donbas'koï derzhavnoï mashinobudivnoï akademii – Scientific Herald of the Donbass State Engineering Academy*, 2014, vol. 1(32), pp. 263-266. (Rus.)

Рецензент: В.П. Лаврик
канд. техн. наук, доц., ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 17.04.2018

УДК 621.923

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142541

© Лещенко А.И.*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ CAD/CAM/CNC СИСТЕМ

Проведенный в данной работе анализ организации технологической подготовки производства ставит целью получение ответа на ключевой вопрос: технолог разрабатывает технологию и управляющую программу (УП) или в обязанности оператора станка с ЧПУ (CNC) входит разработка УП по утвержденной технологии. Рассмотрены проблемы и перспективы подготовки программ для станков с ЧПУ, сделан сравнительный анализ возможностей разработки УП операторами, непосредственно на УЧПУ станков и САМ систем с аналогичными задачами.

Ключевые слова: организация производства, станки с ЧПУ, САМ, CAD, CNC системы, параметрическое программирование, объектно-ориентированные технологии.

Лещенко О.І. Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва через застосування CAD/CAM/CNC систем. Розглянуто проблеми та перспективи підготовки програм для верстатів з ЧПУ, виділені шляхи їх розвитку та напрямки, яким рекомендується слідувати фахівцям конкретного підприємства при організації структур підготовки виробництва. Розкрито можливості програмного забезпечення верстатів з ЧПУ в порівнянні з аналогічними характеристиками САМ систем. Проведено аналіз організації технологічної підготовки виробництва, який ставить за мету отримання відповіді на ключове питання: технолог розробляє технологію і програму або в обов'язки оператора верстата входить розробка програми за затвердженою технологією. Пропонується відповідь на поставлену дилему – параметризація програми відповідно до САД моделі деталі. Такий підхід є основою для об'єктно-орієнтованого проектування – наступного етапу в розвитку програмування для верстатів з ЧПУ. Приділено увагу питанням розробки параметризованих об'єктно-орієнтованих модулів для програм, побудови «класів» і «методів класу» для обробки поверхонь з ідентичною геометрією. В цьому випадку в завдання технолога входить створення бібліотеки параметризованих модулів керуючих програм обробки типових для даного виробництва поверхонь. Тоді з'являється можливість передавати в цех програму, зібрану з модулів, де оператор станка з ЧПУ запише для них фактичні значення параметрів конкретної деталі. Реалізація такого взаємозв'язку «технолог-оператор ЧПУ» вимагає якісно нового підходу до розробки керуючих програм, що забезпечують не тільки завдання траєк-

* канд. техн. наук, доцент, ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, aLeshenko1954@gmail.com

торії формоутворення, але і можливість керування точністю і шорсткістю оброблених поверхонь на основі вбудованих в програму реакторів на збурення.

Ключові слова: організація виробництва, верстати з ЧПУ, CAM, CAD, CNC системи, параметричне програмування, об'єктно-орієнтовані технології.

O.I. Leshenko. Efficiency increase of the manufacture technological preparation on the basis of CAD/CAM/CNC systems. Problems and prospects for CNC machines programs preparation have been considered, ways of their development and further prosecution have been established, which are recommended to be followed by specialists of a particular enterprise when organizing production preparation structures. The analysis of the organization of technological preparation of production carried out in this work is aimed at obtaining the answer to the main question: whether a technologist is developing a technology and a program or the CNC machine operator is responsible for developing a program for the approved technology. Parameterization of the program, the next stage of which is the creation of programs for object-oriented technology is offered as the solution of the given dilemma - in full accordance with the CAD models of parts. Such an approach is the foundation for an object-oriented projecting that is the next stage in developing programming for CNC machines. Attention is paid to the development of parametrized object-oriented modules for programs, making up "classes" and "class methods" for processing surfaces with identical geometry. In this case, the task of the technologist is to create a library of parameterized modules for control programs for processing typical surfaces for a particular production. Then it becomes possible to transfer a program assembled from the modules to the workshop, where the CNC machine operator will record the actual parameters for that particular part. The implementation of such an interrelationship "technologist-NC operator" necessitates a qualitatively new approach to the development of control programs that provide not only the proper shaping trajectory, but control the accuracy and roughness of the surfaces to be machined proceeding from the elements of the program and the disturbances compensation.

Keywords: production organization, CNC machine tools, CAM, CAD, CNC systems, parametric programming, object-oriented technologies.

Постановка проблеми. В настоящее время мировой рынок насыщен наукоемкими изделиями машиностроительного комплекса. Поэтому перспективным и динамически развивающимся орудием конкурентной борьбы является оснащение производства CAD/CAM/CAE системами автоматизированного проектирования, без которых у предприятия практически нет шансов выйти на рынок или удержаться на нем. И дело здесь не только в применении систем этого типа, как технических решений повышения качества и снижение себестоимости изделия – на первый план выходит сокращение сроков подготовки производства изделия и опережающего выхода с ним на рынок.

В настоящее время мировой рынок (лидер 16,2% – компания IBM/Dassault Systemes) [1] предлагает широкий спектр компьютерных технологий в сфере автоматизации процессов конструирования (CAD), анализа, расчетов и симуляции (CAE), технологической подготовки производства (CAM) и управления данными (PDM) на этапах жизненного цикла изделий.

Условно системы автоматизации проектирования делятся по «весовым» уровням: легкие САД системы нижнего уровня такие, как AutoCAD (компания Autodesk), T-FlexCAD (компания «Топ Системы»), предназначенные для создание статических или параметрических моделей отдельных деталей и сборок, программные комплексы среднего уровня с обязательным условием сетевого обмена, в частности SolidWorks (компания SolidWorks), SolidEdge (компания Siemens PLM Software), и тяжелые системы Pro/ENGINEER (компания PTC), UniGraphics (компания EDS PLM Solutions), получившие применение для решения в реальном масштабе времени наиболее трудоемких задач моделирования функционирования сложных механических систем.

CAM система подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (например, T-FLEX ЧПУ, SolidCAM) обеспечивает создание файла геометрических параметров программой траектории для контурной или многокоординатной объемной обработки заготовок в формате про-

межуточного языка CL-DATA. Проверка траектории путем визуализации на дисплее происходит по данным этого файла, который впоследствии транслируется постпроцессором конкретной модели УЧПУ в управляющую программу (УП), правильность которой требует дополнительной проверки с учетом допустимых границ пространства рабочей зоны станка.

CAM системы имеют высокую стоимость (до \$20000 за рабочее место), поэтому возникает важнейшая задача их использования с наибольшей отдачей, т. е. вопрос стоит не только в максимальной эффективности вложенных средств, но целесообразности приобретения систем.

Анализ последних исследований и публикаций. Разработку программы обработки деталей на станках с ЧПУ можно представить в следующей последовательности: проектирование детали CAD системой, технологический процесс ее обработки, как исходный материал для CAM системы, выдающей результат на промежуточном языке, и далее трансляция постпроцессором (Post Processing), формирующем УП для УЧПУ конкретной модели. Учитывая принадлежность современных систем управления станками к классу не ниже CNC, такие цепочки иногда классифицируют, как CAD/CAM/CNC системы. Рассмотрим основные особенности этих систем, имеющих высокую степень узнаваемости бренда.

CATIA – система проектирования французской фирмы Dassault Systèmes включает в себя графический редактор трехмерного моделирования и модули создания УП для станков с ЧПУ, каждый из которых имеет разные возможности, а именно: PMG (Prismatic Machining) – модуль для формирования обработки трехмерных деталей с перемещением на рабочей подаче в плоскостях; SMG (3-Axis Surface Machining) – модуль для 3-осевой обработки, имеет широкий набор функций, позволяющий быстро создавать, редактировать и визуально проверять траекторию перемещения инструмента по программе; MMG (Multi-Axis Surface Machining) – дополнительный модуль для 3, 4 и 5-осевой обработки, который применяется для операций многокоординатной обработки поверхностей путем выбора стратегии управления положением рабочих органов станка, углового и линейного, в каждой точке программируемой траектории инструмента.

PowerMILL является основным пакетом в программной линейке Delcam (Кембриджский университет, 1991 г.), охватывающей все этапы производственного цикла. Предназначен для станков с ЧПУ, имеющих до 5 координат управления, угловых и линейных. Обладает функционалом для проверки отсутствия «зарезов» на детали при выполнении вспомогательных перемещений, автоматического предотвращения столкновений, «сглаживания» (Look Ahead) траектории при изменении наклона оси фрезы. Является одной из первых систем, предложивших новый подход к программированию высокоскоростной обработки (HSD).

T-FLEX ЧПУ является встраиваемым модулем для CAD T-FLEX и функционирует исключительно совместно с ней. Таким образом, получается полноценное CAD/CAM-решение, которое обеспечивает передачу данных от конструктора к технологу-программисту и значительно упрощает модификацию или исправление данных конструирования. Важной особенностью системы является сквозная параметризация: при изменении исходных данных, полученных на этапе конструирования (3D-модели), происходит автоматическое изменение расчетной программной траектории обработки, заданной в управляющей программе. Можно сказать, что координаты в УП напрямую связаны с «деревом» построения модели. Таким образом, обеспечивается параллельность конструкторско-технологической подготовки производства.

Отладка программы в цехе на станке приводит к нерациональному использованию производственного оборудования. Поэтому вызывает интерес представленная виртуальная модель станка VERICUT (Россия, Санкт-Петербург), которая дает возможность обнаружить коллизии при обработке деталей между рабочими органами оборудования и приспособлениями, а также отыскать ошибки в УП, представленной в G кодах ISO, а не в API функциях или CL-DATA файлах, что очень удобно технологу или оператору.

Кратко рассмотрим характеристики УЧПУ с функциями CAM систем, допускающие ввод и редактирования УП непосредственно с пульта управления (ПУ) станком (CNC-CAM) [2].

Наибольшее затруднение у опытных операторов станков с ЧПУ вызывает расчет опорных точек УП. Именно поэтому в конце прошлого века появились модели УЧПУ с GTL (Geometry top level) функциями, разработкой итальянской компании Olivetti, позволяющей программировать траекторию обработки 2D профиля, состоящего из прямых и дуг окружностей, используя только информацию, полученную с чертежа. При этом GTL функции рассчитывают опорные точки УП – точки пересечения и точки касания геометрических элементов. Например, системы

управления NC (BaltSystem) имеют специальную страницу визуального программирования с помощью GTL функций. Если обратиться к истории, то можно увидеть полную аналогию синтаксиса языка GTL и САП «Техтран» – одной из первых систем автоматизированной подготовки программ для станков с ЧПУ, весьма популярной в 80-90 годы на постсоветском пространстве и о которой многие технологи-программисты вспоминают с уважением.

УЧПУ FMS-3000 (Россия) содержит встроенный макроязык программирования. Позволяет во время обработки детали формировать с помощью диалоговых окон параметрические УП. Возможна комплектация УЧПУ дополнительным модулем для автоматического назначения в УП скоростей резания и подачи, выбранных из пополняемой библиотеки материалов и инструментов, в том числе и основанных на технологическом опыте данного предприятия. На мониторе ПУ УЧПУ возможна 3D-прорисовка УП с масштабированием и поворотом в удобную точку обзора программной траектории, что повышает надежность контроля обработки.

Концерн Siemens (Германия) является в Европе одним из ведущих предприятий по производству систем УЧПУ. Для записанной в память УЧПУ станка УП автоматически вычисляется длина траектории перемещения инструмента и время обработки при заданной подаче. Есть возможности недоступные для САМ систем на ПК, а именно: проверяется с учетом осевой кинематики станка (двигается заготовка или инструмент) траектории перемещения инструмента с учетом значений коррекций на длину и радиус. Наличие возможностей «Расширенного программирования» позволяет формировать с помощью специальных макросов, программы обработки поверхностей детали, например, поверхности скульптурных формы.

Ряд японских компаний Mitsubishi Electric Corporation, Fanuk, Sodik.Co.Ltd построили свои модели управления станками на основе специальной операционной системы Microsoft Windows™, работающей в реальном времени. Встроенные в УЧПУ САД/САМ-системы позволяют получать программу обработки детали на основе 3D-модели, в том числе и ранее созданной на ПК. Возможен ввод программы любыми другими методами, например, в режиме трехмерного сканирования деталей-прототипов с одновременным сохранением в памяти УЧПУ облака точек поверхности, для обработки которых используется специальное программное обеспечение ReEnge. «Облако» может быть преобразовано системой ЧПУ в управляющую программу обработки. После этого станок, совершая движения по полученной программе, может выполнять обработку, копируя отсканированную поверхность.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что задачи построения УП для станков с ЧПУ имеют два варианта организации решения: в технологическом отделе САД/САМ системой с моделированием на ПК или непосредственно в производственных условиях на УЧПУ станка. Каждый из этих способов имеет свои «плюсы» и «минусы», например, расточительно, имея мощную САМ систему, создавать УП непосредственно на УЧПУ станка.

Целью работы является повышение эффективности процесса технологической подготовки производства за счет обоснованного выбора программно-аппаратных средств расчета программ для УЧПУ станков, их структуры и формата представления.

Изложение основного материала. В основе создания любой детали, узла или изделия лежит технологический процесс, который содержит не только упорядоченную последовательность операций и их нормирование, но и является юридическим документом, определяющим ответственность за соответствие изделия оговоренным техническим параметрам. В зависимости от типа производства – единичное или серийное – различают его организацию и оборудование, методы обработки и применяемый инструмент. Выше сказанное – это общий производственный формат, при этом важно понимать, что предлагаемые стратегии САМ системами или постоянными циклами (подпрограммами) УЧПУ должны соответствовать созданной технологии, но не наоборот – стратегию САМ системы подстраивать под технологию. Дальше идут отличия, которые могут оказать доминирующее влияние на эффективность производства.

Первый вопрос, на который нужно ответить, это наличие в регионе квалифицированного персонала, способного работать с современным программным обеспечением (ПрО), или мотиваций, способных его привлечь. Например, трудно возлагать большие надежды на правильность корректировки режимов резания операторами станков с ЧПУ где-то в Юго-Восточной Азии. Вместе с тем в Европе возможны рациональные предложения оператора станка по оптимизации стратегии обработки или параметров процесса резания.

Важный вопрос – организация производства, где технические нормы и критерии все в

большей степени подчиняются экономическим законам. Еще с советских времен нам известны производства, где конструкторские и технологические отделы были самостоятельными структурами, замыкающимися на главном инженере предприятия. Известна также и конфликтность между этими отделами – конструкторы устанавливают параметры деталей и изделия в целом, а технологи обязаны найти варианты их изготовления, что не всегда возможно или затруднительно на существующем оборудовании и системах измерения. Чтобы избежать таких коллизий, можно предположить, что будущее за конструкторско-технологическими группами, где продукт САД систем по сети передается рядом работающему технологу на САМ систему, а за результат – чертеж и технологию – отвечает руководитель группы.

Технологический процесс (ТП) обработки на станке с ЧПУ, в отличие от обработки на станках с ручным управлением или полуавтоматом, требует от разработчиков большей детализации в представлении выполнения операционных переходов, при этом ответственность технолога-программиста существенно повышается. Согласно маршрутной технологии можно представить основные этапы построения программной операции:

- размерный анализ чертежа детали, материала и формы заготовки требуемой точности;
- выбор оборудования, базирования и закрепления заготовки;
- планирование операции, выбор точки начала координатной системы (или систем) детали;
- разработка УП.

Первые три этапа, а именно создание технологии обработки, могут быть выполнены ведущим технологом подразделения – его работу можно сравнить с постановщиком задачи, хорошо знающим «историю» вопроса обработки аналогичных деталей. Последний этап – собственно разработка УП технологом-программистом. Нужно сказать, что процесс создания УП для станков с ЧПУ достаточно субъективен. Он требует достаточного профессионального опыта и знания алгоритмов формализации многих абстрактных параметров (таких как влияние температурных колебаний, возможных отклонений от норм точности оборудования, заточка инструмента и пр.), полученных на данном заводе в течение длительного времени работы, что является, можно сказать без преувеличения, «золотым» фондом предприятия. Кроме этого, важнейшим показателем предлагаемой стратегии обработки является стойкость инструмента, которая в значительной мере зависит от организации его работы на участках врезания и выхода из обработки. Если при врезании вектор подачи направлен не по касательной, а перпендикулярно поверхности заготовки, то происходит скачкообразное нагружение технологической системы силами резания, изменение упругих деформаций звеньев системы и другие переходные процессы, отрицательно влияющие на точность детали.

Импортирование 3D модели в САМ систему – основной принцип автоматизации разработки УП. Вместе с тем, созданная таким методом программа обязательно должна быть опробована и отлажена в лабораторных (а лучше в производственных) условиях предприятия, при этом важно, чтобы заготовки деталей должны иметь идентичные свойства. Если есть возможность обработки опытной партии, например, при обработке турбинных лопаток в самолетостроении, где заготовки проходят многократный контроль и на опробовании технологии можно «загнать» в брак их несколько штук, то прямой путь к САМ системам, установленным на ПК. Также за лабораторную отладку программы говорит еще то обстоятельство, что специалисты, хорошо владеющие инструментарием САМ систем, в большей степени подготовлены теоретически и в меньшей степени владеют практическим опытом обработки деталей.

Если опытная партия деталей обработана и принята ОТК, т. е. технология внедрена в производство, то УП и карту наладки на операцию можно передавать в цех, где собственно УЧПУ может ограничиться ролью «контроллера» станка, дополненной функциями контроля автоматизации станка и параметров обработанной поверхности.

В этом случае становится рациональным применение DNC (Direct Numerical Control) систем для группы станков с ЧПУ (например, программы DNC-Max, построенной по принципу архитектуры «клиент-сервер»), связанных с одной общей (центральной) ЭВМ более высокого уровня, где сохраняются разработанные УП для деталей, подлежащих изготовлению на данном участке. Существуют примеры, когда центральная ЭВМ передает на УЧПУ коды на машинно-ориентированном языке, полученные в результате компиляции кадров УП. Для этого случая конструкция УЧПУ предельно упрощается, а, следовательно, и снижается и его стоимость.

Следует отметить, что коды УП для большинства УЧПУ до сих пор подчиняются стан-

дарту ISO 6983 (ISO-7bit), который был разработан больше 50 лет назад и не позволяет создавать двусторонний (тем более ассоциативный) обмен информацией на уровнях САМ-CNC. Новый стандарт STEP-NC (ISO 14649) дает возможность создавать двусторонний обмен информацией и описывает модель той конфигурации, какую нужно получить пользователю путем автоматической генерации перемещений формообразования.

В условиях единичного производства штампов, прессформ, крупногабаритных деталей, когда возможны колебания физико-механических свойств на ее различных участках (например, опорное кольцо конвертора), становится вопрос о допустимости разработки УП непосредственно оператором на УЧПУ с интерфейсом САМ системы. Учитывая возможность многооперационных станков с ЧПУ работать с большой концентрацией инструментальных переходов, можно предположить значительное основное время операции, за которое собственно и будут создаваться оператором станка новые УП, согласно представленного ему технологического процесса. Кроме этого, выполнение оператором наладки на программную операцию, а главное возможность контроля непосредственно на станке (например, с помощью контактной измерительной системы Renishaw) геометрических параметров обработанных поверхностей детали, делают этот вариант построения производственной логистики очень привлекательным. Однако здесь возникают проблемы административно-правового характера. При разработке УП оператору не обойтись без вычислений определенного порядка сложности. Позволит ли его квалификация (по должностному расписанию он рабочий) проводить эти расчеты и кто их проверит. Далее вопрос: в какую составляющую нормы штучного времени на операцию отнести время на проведение расчетов. И наконец, главный вопрос – чья будет ответственность за ошибку в УП.

При рассмотрении вариантов подготовки производства были выделены из многих лишь их основные отличия. Тем не менее, есть методы «сборки» программ, которые приемлемы для всех вариантов и на сегодняшний день все чаще применяются при разработке УП для станков с ЧПУ. Это параметрические подпрограммы (модули) обработки типовых поверхностей, которые оперируют формальными параметрами – не численными величинами, а переменными, причем их значения могут определять не только геометрию поверхностей, но и технологические функции режимов резания, смены инструментов, обращения к системным переменным операционной системы УЧПУ и пр.

Как уже отмечалось ранее, современные УЧПУ имеют широкую номенклатуру универсальных постоянных циклов – подпрограмм, алгоритмы работы которых жестко записаны в ПЗУ системы и недоступны изменению пользователем. Однако их недостаток в универсальности постоянных циклов. Станки работают на конкретном производстве, участке, цехе и часто обрабатывают на основе групповой технологии однотипные детали или поверхности одинаковой конфигурации, но различных типоразмеров. В этом случае постоянные циклы существенно упрощают программирование, однако они не обладают гибкостью – возможностью изменения алгоритма их работы с целью решения технологических задач методами оптимальными именно для данного производства. Именно это обстоятельство послужило причиной появления технологии фитчеров (Customised Process Feature), предоставляющей сравнительно простые инструменты, позволяющие применять САМ программирование с учетом стандартов предприятий.

Вместе с тем уже накоплен большой опыт адаптации станочных систем с ЧПУ к условиям конкретного предприятия или отдельного участка путем применения специального языка для параметрического программирования (макропрограммирования). Например, в СЧПУ Fanuc этот язык называется Macro B, аналогичный языку Basic. С математической точки зрения параметрическое программирование выступает как одно из средств анализа чувствительности решения к вариации исходных данных и базируется на включении выбранных параметров в математическую модель процесса обработки в функциональном представлении.

Если необходимо обработать несколько однотипных поверхностей, возможно в разных деталях, то доказала свою эффективность групповая технология, для реализации которой создаются параметризованные УП, основанные на математической модели обрабатываемой поверхности, и объектно-ориентированный подход (ООП) ее геометрического описания.

Например, параметрическая модель образующей цилиндрической детали может быть представлена на участках интервала $z_1 < z < z_4$ (рис. 1) в виде кусочно-непрерывной функции $F_X(t)$ (1) углового параметра t [3]. Функция формирует: тороидальную поверхность

радиуса R с центром в точке (x_c, z_c) , сопрягаемую с ней коническую поверхность с углом наклона прямолинейной образующей $\pi/2 + t_2$ и с ее уравнением нормального вида с параметром h_1 , поверхности торца и цилиндрическую с параметрами h_2, h_3 , соответственно.

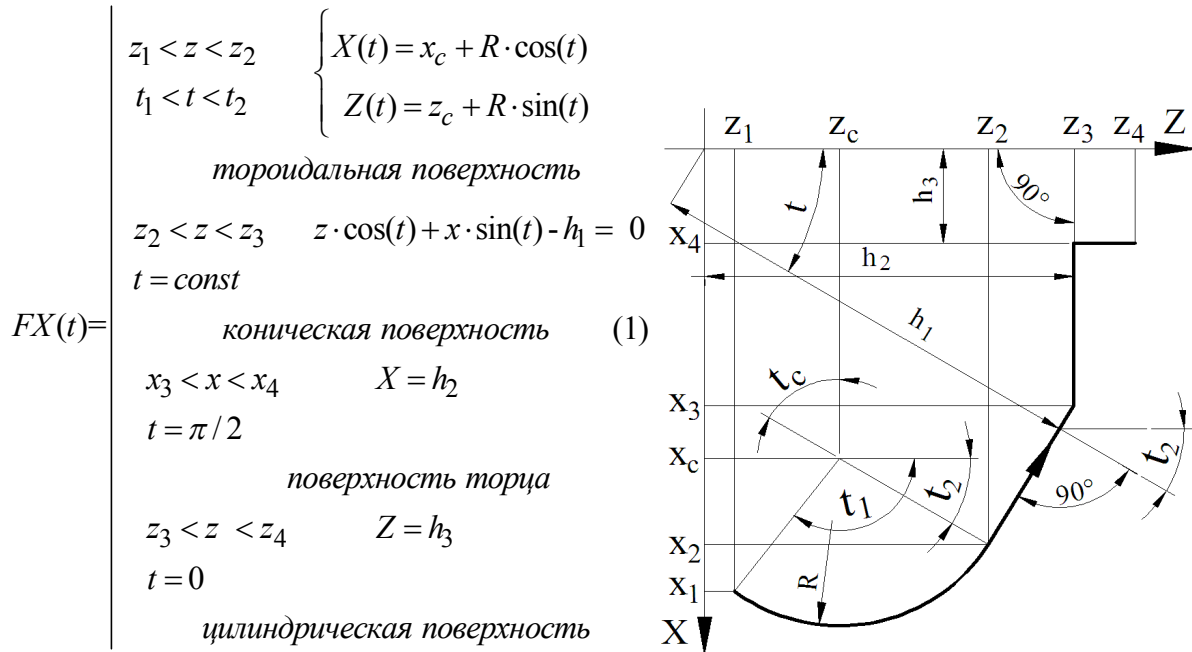


Рис. 1 – Параметрическое задание образующей поверхности

Возникающие погрешности, угловые и линейные, например, от усилий резания [3] можно нивелировать путем предыскажения траектории корректированием параметров t и h , при этом сохранение законов сопряжения обеспечивается соотношением:

$$z_2 \cdot \cos(t_2) + x_2 \cdot \sin(t_2) - h_1 = 0. \tag{2}$$

На сегодняшний день актуальной является задача формализации параметров механической обработки в соответствии с объектно-ориентированной средой программирования, в которой основной акцент сделан на необходимость создания «классов» соответствующих функциональным признакам технологической системы при обработке поверхностей с идентичной геометрией. Основой ООП является понятие «класса», описывающего характер изменения и способ представления входящих в него объектов – «экземпляров класса». Создав классы, можно формировать «методы класса» (функции), которые собственно и должны генерировать кадры программы для УЧПУ станка в нужном стандарте. Например, базовый класс с общим для всех экземпляров класса свойством – поверхности вращения. Первостепенная задача методов базового класса является создание механизма «реакторов» на изменяющееся состояние условий обработки для поверхностей детали с определенными свойствами. Класс содержит (инкапсулирует) переменные, такие как код материала, его твердость, код оборудования, код инструмента, данные смещения координатной системы. Методы класса (privat функции класса) – это, например, параметрические функции с коэффициентами коррекции траектории формообразования в зависимости от изменяющейся жесткости технологической системы в направлении вектора силы резания или процессов износа инструмента, т. е. априорно накопленного материала [4]. Переменные класса могут быть связаны с записями базы данных (БД) инструментальной оснастки, технических характеристик станков, включая точность позиционирования и способов базирования деталей. Методы класса позволяют соотнести точность обработки деталей к корректирующим коэффициентам в параметризованных модулях.

Классы могут быть связаны друг с другом различными отношениями. Одним из основных таких отношений является отношение базовый (base) класс – порожденный (derived) класс, известный в объектно-ориентированном программировании как наследование. Например: на-

ружная поверхность вращения вала $X = \varnothing D_1$ (рис. 2) может быть обработана множеством способов, одним из которых является способ механической обработки – точение резцами. Способ обработки поверхности вращения образующей $X = \varnothing D_2$ («карман» шириной B) наследует все признаки базового класса и добавляет свои методы формообразования одним (рис. 2, а) или двумя резами (рис. 2, б). Наследование может быть многоуровневым и тогда классы нижних уровней иерархии унаследуют все свойства (атрибуты и методы) всех классов, прямыми или косвенными потомками которых они являются.

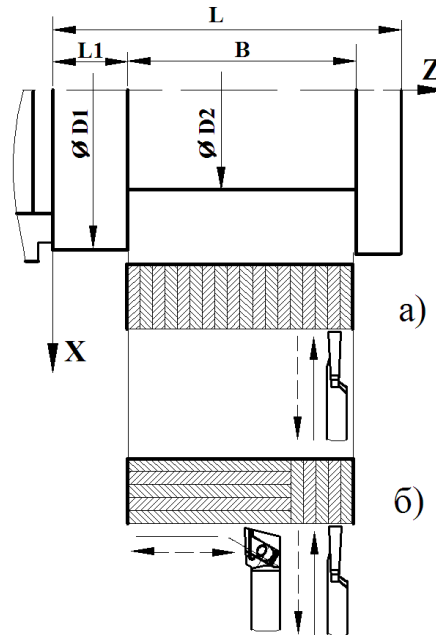


Рис. 2 – Экземпляры класса «поверхности вращения»: а – обработка поверхности одним резом; б – обработка поверхности двумя резами

Схематично представленная конструкция данной ООП носит описательный характер. Для ее реализации необходимо проведение комплексных исследований по функциональному представлению процессов механообработки с математической точки зрения.

Параметрическое программирование с применением ООП конструкций имеет большие перспективы, однако есть нерешенные вопросы, которые тормозят ее применение. Прежде всего, это отработка стандартных функций коррекций (например, G41, G42), для которых заложены в УЧПУ алгоритмы формирования траекторий не всегда воспринимают параметрическое задание геометрии детали.

Выводы

В настоящее время системы ЧПУ оснащаются широким диапазоном возможностей, понимание и практическое применение которых требует знаний не только математики и программирования, но и общих понятий системотехники. Если учитывать мировую тенденцию на более узкую специализацию в подготовке кадров, снижение уровня общетехнических знаний операторов станков с ЧПУ, то возникает вопрос: «А нужны ли такие возможности для УЧПУ станков?». Статистика показывает, что инструментарий УЧПУ используется менее чем на 20% [1], и это естественно, т. к. даже в единичном производстве существует определенная специализация однотипных станков на производственном участке. Тогда может лучше поставить выделенный компьютер на группу станков, а УЧПУ станков использовать только как коммутаторы для готовых кадров программы, разработанных с помощью САМ пакетов и выложенных технологами-программистами на сервер. В этом случае снижается не только стоимость систем управления станками, но и их ремонтная сложность при возрастающей части инженерного труда вне производственного участка без простоев дорогостоящего оборудования.

Проведенный в данной работе анализ организации технологической подготовки производ-

ства ставит целью получение ответа на ключевой вопрос: технолог разрабатывает технологию и УП или в обязанности оператора станка с ЧПУ входит разработка УП по утвержденной технологии. Вместе с тем производственный опыт автора показывает, что никакой CNC Simulator, симулирующий отработку УП, не заменит ее отладку непосредственно на станке с ЧПУ.

Поэтому предлагается ответ на поставленную дилемму – параметризация УП в полном соответствии с САД моделями деталей, следующим этапом которой является создание программ по технологии ООП. В этом случае в задачи технолога входит создание библиотеки параметризованных модулей управляющих программ обработки типовых для данного производства поверхностей. Тогда появляется возможность передавать в цех программу, собранную из модулей, где оператор станка с ЧПУ запишет в их заголовки фактические параметры, которые в ряде случаев могут служить не только адаптации УП к геометрии детали, но и коррекцией условий процесса механической обработки.

Реализация такой взаимосвязи «технолог-оператор ЧПУ» требует качественно нового подхода к разработке управляющих программ, обеспечивающих не только задание траектории формообразования, но и возможность управления точностью и шероховатостью обрабатываемых поверхностей через систему включенных в программу поправок и коррекций, построенную на основе математических моделей компонентов технологического процесса лезвийной обработки. Поэтому на сегодняшний день становится актуальным для УЧПУ станков разработка технологами машиностроения алгоритмов построения программ этого типа, как базового материала для работы системных программистов.

Список использованных источников:

1. Diehl B. CAD/CAM a la Carte: A modular approach to choosing machining software / B. Diehl // *CNC Machining Magazine*. – 2001. – Vol. 5, № 16. – P. 54-57.
2. Вайс С.Д. Оценка конкурентоспособности металлорежущих станков / С.Д. Вайс, А.А. Корниенко // *СТИН*. – 2002. – № 1. – С. 8-12.
3. Проволоцкий А.Е. Повышение точности обработки сложно-профильных поверхностей на основе коррекций программной траектории резцов с пластинами круглой формы. / А.Е. Проволоцкий, А.И. Лещенко // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – Вип. 6 (154). – С. 107-117. – (Серія : Машинобудування і машинознавство).
4. Петраков Ю.В. Напрями розвитку САМ-систем / Ю.В. Петраков, В.В. Писаренко, О.С. Мацківський // *Журнал інженерних наук*. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. А7-А13. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSU_tekh_2015_2_2_4.

References:

1. Diehl B. CAD/CAM a la Carte: A modular approach to choosing machining software. *CNC Machining Magazine*, 2001, vol. 5, no. 16, pp. 54-57.
2. Weiss S., Kornienko A. Otsenka konkurentosposobnosti metallorzhushchikh stankov [Competitiveness assessment of metal-cutting machines]. *STIN – Machines and Tools*, 2002, no. 1, pp. 8-12. (Rus.)
3. Provolotsky A., Leshenko A. Povyshenie tochnosti obrabotki slozhno-profil'nykh poverkhnostei na osnove korrektsii programmnoi traektorii reztsov s plastinami krugloi formy [Complex-profile surfaces processing accuracy increase based on round plates cutters programmed path correction]. *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Mashinobuduvannia i mashinoznnavstvo – Scientific works of Donetsk National Technical University. Series: Machine Building and Machine Science*, 2009, iss. 6 (154), pp. 107-117. (Rus.)
4. Petrakov Yu.V., Pisarenko V.V., Matskiivsky O.S. Napriami rozvitku SAM-sistem [CAM-systems development directions]. *Zhurnal inzhenernikh nauk – Journal of Engineering Sciences*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. A7-A13 Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSU_tekh_2015_2_2_4 (accessed 15 September 2017).

Рецензент: А.А. Андилахай
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 15.06.2018