



а – макет сборной торцевой фрезы из пластикового материала; б – сборная торцевая фреза «Seiko»; в – разработанная сборная торцевая фреза из металлического материала; г – сборная торцевая фреза «Iscar»; д–ж – распределение потоков в сыпучей среде; (з–л) распределение потоков в жидкой среде

Рисунок 2 – Фрагменты моделирования работы сборных торцевых фрез в жидкой и сыпучей средах

1. Попок, Н.Н. Моделирование и регулирование стружкообразования и потоков смазочно-охлаждающей технологической среды при фрезеровании / Н.Н. Попок, С.А. Портянко, Е.М. Тихон, В.С. Анисимов // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. – 2021. – № 1 (9). – С. 27–36.

УДК 891.5; 004.925.84:621; 994.93

**АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА НА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ И
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ**

Савицкий В. В.¹, Савицкий И.В.²

- 1) Витебский государственный технологический университет
Витебск, Республика Беларусь
- 2) Компания «Гросвер»,
Минск, Республика Беларусь

Вопросам цифровизации производственных процессов в республике в последнее время уделяется достаточно много внимания. В рамках внедрения цифровых технологий производства на белорусских промышленных предприятиях с целью обеспечения конкурентоспособности в условиях четвертой промышленной революции на базе ОАО «ЦНИИТУ» при поддержке Министерства промышленности Республики Беларусь создан «Центр компетенции цифровой трансформации промышленности Республики Беларусь», который ведёт выполнение НИОКР «Разработать и внедрить интеллектуальную систему конструкторско-технологического проектирования и подготовки производства изделий с использованием цифровых технологий» по внедрению решений на базе Teamcenter и NX от Siemens PLM Software [1].

Работы в России по аналогичному направлению начаты с принятия стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности [2–3].

Активное внедрение компьютерной техники и технологий в производственные процессы в конце 20 века привело к ускоренному развитию практически всех отраслей мировой экономики, включая машиностроение и станкостроение. С 90-х годов наблюдается интеграция CAD/CAM/CAE-систем с системами управления проектными данными PDM и с другими средствами информационной поддержки изделий. Благодаря их внедрению получили широкое развитие и применение программные продукты, которые позволили ускорить производственные процессы, включая подготовку конструкторской и технологической документации для выпуска изделий. Вместе с появлением новых поколений обрабатывающих станков с ЧПУ новый импульс получила металлообработка.

Многогранность инженерной деятельности предполагает широкое использование возможностей компьютерных технологий в различных направлениях машиностроительного производства – в проектировании, выполнении расчётов конструкций деталей и узлов, разработке технологических процессов, подготовке производства к выпуску продукции и т. д. Применение высокопроизводительных систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства, инженерного анализа, систем управления проектными и другими данными стало ключевым элементом развития бизнеса любого предприятия, работающего на современном рынке машиностроения. Внедрение станков с ЧПУ обеспечило развитие автоматизации в рамках машиностроительных предприятий серийного и мелкосерийного производства.

В станках с ЧПУ сочетается гибкость универсального оборудования с точностью и производительностью станка-автомата. В результате внедрения

таких станков происходит значительное повышение производительности труда, создаются условия для многостаночного обслуживания. Подготовка производства в этом случае переносится в сферу инженерного труда, сокращаются её сроки, упрощается переход на новый вид изделия вследствие заблаговременной подготовки программы выпуска, что имеет решающее значение в условиях рыночной экономики.

Технический прогресс отчасти затронул машиностроительные и станкостроительные предприятия республики. Так, на Минском тракторном заводе дан старт внедрению цифровой системы проектирования и подготовки производства [4]. Главная задача цифровой трансформации на предприятии – повысить эффективность и конкурентоспособность завода для того, чтобы он мог получать максимальную прибыль. Суть проекта – цифровизация всего производственного цикла. Предполагается бизнес-процессы конструкторско-технологических и производственных служб завода перевести в одну цифровую среду, в которой источником данных и подлинником станет 3D-модель, хранящаяся в системе. Чертежей в том виде и понимании, к которым привыкли на предприятиях, больше не будет.

Однако на большинстве предприятий передовые компьютерные технологии и оборудование с ЧПУ внедряются крайне медленно. Пусть и приобретаются высокопроизводительные станки с ЧПУ известных станкостроительных фирм – DMG MORI, Mazak, Micron, Haas и др. для основного производства, листопробивное оборудование с ЧПУ – для холодноштамповочного, плазменная, лазерная, гидроабразивная резка – для заготовительного, однако их использование в технологическом процессе изготовления деталей основано на применении знаний операторов таких станков, имеющих навыки программирования обработки, в основном, со стойки ЧПУ. При этом следует учитывать, что программирование даже трёхкоординатной обработки с помощью функциональных клавиш на панели оператора требует слишком больших затрат времени, а программирование четырёх- и, тем более, пятикоординатной обработки, в большинстве случаев невыполнимо. Несколько более совершенным подходом можно считать дополнительное оснащение оборудования с ЧПУ рядом расположенными персональными компьютерами, которые соединены друг с другом с помощью сетевого подключения. На таких компьютерах установлено программное обеспечение, обеспечивающее автоматизацию процесса создания управляющих программ. Однако оба подхода в промышленно развитых странах давно признаны неэффективными, поскольку во время программирования обработки станок чаще всего простаивает, а, учитывая стоимость станкочаса его работы, это приводит к огромным непроизводительным затратам. К ним добавляются расходы на заработную плату оператора-станочника станка, которую руководству предприятия приходится выплачивать за совмещение профессий. Так, согласно вакансий, объявляемых предприятиями республики различного профиля, оператор-станочник со знанием программирования может рассчитывать на заработную плату 2000–2400 руб. и более, в то время как

инженер-технолог – 800–1400 руб. и, в основном, за оформление в бумажном виде технологических процессов изготовления деталей.

Отдельно следует отметить тот факт, что в большинстве случаев приобретаемое оборудование поступает на предприятия недостаточно укомплектованным, отсутствуют, например, такие важные элементы станков, как системы контактного позиционирования деталей, контактного и бесконтактного определения размеров инструментов, которые при рациональном их использовании обеспечивают значительную экономию времени как перед обработкой заготовки, так и в процессе изготовления детали и контроля её размеров.

Программирование обработки на передовых предприятиях стало областью инженерного труда, а работа оператора-станочника и наладчика, обслуживающих станки с ЧПУ, в этом случае существенно упрощается и сводится к наладке инструментов в соответствии с их использованием в программах обработки конкретных заготовок, установке приспособления, инструментов в инструментальный магазин, занесению их параметров в таблицу инструментов, запись нулевых точек в соответствующую таблицу в соответствии с картами наладки, в установке и закреплении заготовки в рабочем пространстве станка, запуске управляющей программы обработки и снятии детали после обработки, проверке точности обработки.

Для повышения эффективности использования оборудования и внедрения современных компьютерных технологий не только в конструкторскую, но и в технологическую подготовку производства на предприятиях машиностроительного комплекса программирование обработки следует перенести в технологические или конструкторско-технологические подразделения, которые оснащены соответствующим образом как программно, так и технически. При этом рабочее место технолога-программиста должно включать высокоинтеллектуальное программное обеспечение, которое оснащено средствами визуализации обработки и возможностью включения в этот режим не только симуляции, но и верификации обработки с использованием виртуального станка с его кинематикой, приспособлениями для установки и закрепления заготовок, инструментами. С помощью таких средств на экране монитора технолог-программист может проследить весь процесс обработки и, при необходимости, внести в него соответствующие коррективы ещё до запуска процесса обработки реальной заготовки на станке. Это потребует на первом этапе приобретения соответствующих комплексных продуктов, включающих CAD/CAM, с помощью которых можно выполнять не только конструкторские разработки, но и использовать их в технологической подготовке при создании управляющих программ для станков с ЧПУ, а также выпускать полный комплект конструкторской и технологической документации на любое изделие с учётом требований действующих стандартов ЕСКД и ЕСТД. Причём наличие в САМ конструкторского ядра обязательно из-за необходимости модификации некоторых элементов конструкторской модели в соответствии с технологией её обработки. Особенно важно применение таких

систем при написании программ обработки сложных деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ в 3-5-тикоординатном исполнении, с большим количеством операций и переходов в операциях, выполняемых при минимально возможном количестве установов.

Процесс конструкторской и технологической подготовки к выпуску продукции может быть реализован следующим образом. Вначале с помощью CAD любого уровня (SolidWorks, CATIA, NX, PTC Creo, Autodesk Inventor, КОМПАС-3D и др.) инженеры-конструкторы создают электронную геометрическую модель детали. Копия этой модели передаётся технологу, который загружает её в САМ-систему. Задача программиста-технолога заключается в выборе заготовки детали, составлении технологической последовательности обработки (с определением количества установов и разработке маршрутной или операционной технологии), подборе режущих инструментов для выполнения этой последовательности, расчёте режимов резания, выборе приспособлений для установки заготовок и программировании траектории движения рабочих органов из предлагаемых САМ-системой вариантов обработки. Кроме этого, появляется возможность внедрения в процесс обработки детали программ, обеспечивающих выполнение измерительных циклов, которые реализуются системами контактного или бесконтактного контроля положения заготовок и размеров деталей, качества обработанных поверхностей, размеров и состояния инструментов (от Renishaw, Heidehain, Blum и др.). В этом случае станок превращается ещё и в контрольно-измерительную машину, обеспечивающую получение на готовой детали гарантированной размерной точности и шероховатости после обработки. Выполнение контроля инструментов в процессе выполнения обработки гарантирует не только их работоспособность, но и обеспечивает своевременную замену при поломке либо износе, превышающем допустимый для данного инструмента. Благодаря перечисленным особенностям организации процесса создаются предпосылки для реализации адаптивного характера обработки.

Главным элементом такой подготовки производства и её реализации на всех этапах станут геометрические модели деталей вместо их рабочих чертежей. Такая необходимость вызвана тем, что информативность 3D-модели с её атрибутами и техническими требованиями намного выше, чем информация о детали с плоского чертежа. Причём эта информация используется затем в разработке операционной технологии за счёт возможности САМ-системы анализировать графические данные о детали в своём алгоритме работы и автоматическом составлении последовательности переходов по обработке определённых геометрических элементов будущей детали. Так, если в атрибутах элемента модели, например, отверстия не содержатся данные о размерной точности, выраженной в виде допуска на размер в буквенно-цифровом или цифровом выражении, то в операционной технологии, созданной в САМ, будут сформированы операционные переходы центrovания и сверления. При наличии резьбы в отверстиях к таким переходам автоматически

добавится обработка резьбы метчиком или резьбовой фрезой. В случае указания в 3D-модели детали допуска на диаметр отверстия, например, H7 система предложит в качестве вариантов обработки такой поверхности в зависимости от её диаметра кроме центрования и сверления рассверливание, зенкерование и развёртывание, или другой набор переходов – центрование, сверление, рассверливание, растачивание. Причём для каждого случая будут автоматически сформированы циклы обработки, выбраны инструменты и по умолчанию предложены элементы режима резания. В ряде САМ-систем высокого уровня, например, NX от Siemens Software PLM, такие возможности называют обработкой на основе элементов.

Реализация концепции конструкторско-технологической подготовки производства на основе геометрической модели детали (3D-модели) позволяет в последующем сформировать в электронном виде полный набор технологической документации (маршрутные карты, карты эскизов, карты наладки станка и инструментов, рабочие инструкции и пр.) и, при необходимости, опубликовать их.

Вариант конструкторско-технологической подготовки, предложенный выше, можно считать начальным этапом дальнейшего внедрения компьютерных технологий в производственные процессы машиностроительных предприятий. Решение некоторых вопросов планирования технологической подготовки производства с САМ совместно обеспечивает использование САPP-систем.

Дальнейшее развитие цифрового предприятия предполагает внедрение PDM-системы (англ. Product Data Management), которая обеспечивает управление всей информацией об изделии. В PDM-системах обобщены такие технологии, как управление инженерными данными и документами, управление информацией об изделии, управление техническими данными, управление технической информацией, управление изображениями и манипулирование информацией, которая полностью и однозначно определяет конкретное изделие. Благодаря таким возможностям реализуется взаимодействие конструкторско-технологических подразделений со всеми структурными подразделениями предприятия.

Окончательным этапом цифровизации, которая обеспечивает автоматизацию производственных процессов не только в рамках предприятия, но и всех его взаимоотношений с внешними потребителями продукции в течение жизненного цикла её существования, должна стать разработка и внедрение PLM-системы. Планирование деятельности с учётом особенностей стадий и этапов жизненного цикла позволит уменьшить издержки, рационально спланировать работы на разных стадиях жизненного цикла изделий. Управление процессами жизненного цикла современного высокотехнологичного изделия является весьма сложной задачей и решается с помощью специализированных технологий и автоматизированных систем управления жизненным циклом. К числу таких высокоразвитых систем следует

отнести, кроме упомянутой выше Teamcenter® от Siemens Software PLM, PLM-решение V6 от компании Dassault Systemes, Windchill® от компании PTC.

К благоприятным факторам цифровизации следует отнести то, что элементы САПР конструкторско-технологической подготовки производства в том или ином виде уже имеются на многих машиностроительных предприятиях. Системы PDM практически не распространены. Что касается полного цикла автоматизации, то в отечественной промышленности они также не встречаются.

Решение задач цифровизации необходимо осуществлять совместными усилиями коллективов производственных предприятий, поставщиков программных продуктов и учебных заведений, которые должны обеспечить подготовку специалистов соответствующей квалификации для машиностроительных отраслей.

1. ЦНИИТУ : Центр компетенций цифровой трансформации промышленности Республики Беларусь [Электронный ресурс]; 2022. – URL: <https://cniitu.by/about/history/bylo-sozdano-up-tsniitu-it-v-tselyakh-vstupleniya-v-pvt/> (дата обращения 04.02.22).
2. Экономические эффекты от цифровизации и внедрения IoT в машиностроении в России / JSON.TV [Электронный ресурс] ; 2022. – URL: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/ekonomicheskie-effekty-ot-tsifrovizatsii-i-vnedreniya-iot-v-mashinostroenii-v-rossii-20180817013305 (дата обращения 04.02.2022).
3. Стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их "цифровой зрелости" до 2024 года и на период до 2030 года / ГАРАНТ.РУ [Электронный ресурс] ; 2022. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401415210/> (дата обращения 04.02.2022).
4. МТЗ цифровизирует производство : БелТА. Экономика [Электронный ресурс] ; 2022. – URL: <https://www.belta.by/economics/view/mtz-tsifroviziruet-proizvodstvo-470582-2021/> (дата обращения 05.02.2022).

УДК 621.723+667.64

ПРОЦЕСС КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ-ПОЛИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Очистка деталей от различных загрязнений является специфической операцией ремонтного производства. От полноты и качества ее проведения