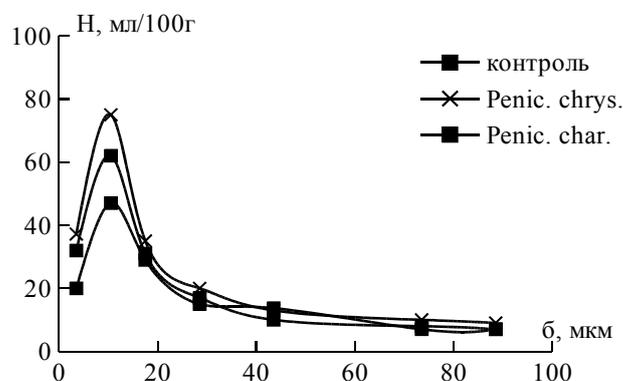


заполненных молекулярным водородом, которые препятствуют диффузии атомов водорода, вызывая наклеп слоев металла, окружающих коллекторы. Отмечается увеличение концентрации водорода в случае экспонирования образцов в присутствии *P. chrys* и *P. char.* по сравнению с контрольной серией в 1,6 и 1,3 раза соответственно.



*Рис. 4.* Концентрационный профиль водорода в образцах стали после мицелиальной коррозии

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет установить, что исследованные в работе мицелиальные грибы видов *P. chrys.* и *P. charl.* являются активаторами коррозии стали марки СТЗ. Присутствие указанных видов микромицетов, а также продуктов их жизнедеятельности в коррозионной среде значительно увеличивает скорость процесса коррозии, оказывая влияние на его ключевые показатели.

#### Литература

1. Пехташева, Е. Л. Биоповреждения непродовольственных товаров. / Е. Л. Пехташева. – Москва : Дашков и К, 2015. – 332 с.
2. Сазонова, К. В. Органические кислоты грибов и их эколого-физиологическое значение : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.01.05 / Сазонова Катерина Владимировна ; С.-Петербург. гос. ун-т. – Санкт-Петербург, 2014. – 24 с.

УДК 621:658.512

### **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ПОДГОТОВКЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Н. В. Беляков, С. К. Селезнёв**

*Учреждение образования «Витебский государственный  
технологический университет», Республика Беларусь*

*Проведен обзор тенденций в подготовке управляющих программ для металлорежущих станков с ЧПУ. Описано направление в развитии подготовки управляющих программ на основе учета параметров переходных процессов для обеспечения качества и производительности механической обработки поверхностей деталей машин.*

**Ключевые слова:** ЧПУ, САМ-система, переходный процесс, адаптивные системы, управляющая программа, машиностроение.

**WAYS TO IMPROVE TRAINING CONTROL PROGRAMS  
FOR CNC MACHINES BASED ON ACCOUNTING  
PARAMETERS OF TRANSIENTS**

**N. V. Belyakov, S. K. Seleznev**

*Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus*

*The analysis of modern trends in programming of CNC machine tools is carried out. Methods for creation control programs taking into account transient parameters to ensure the quality and efficiency of machining of machine parts are presented.*

**Keywords:** CNC, CAM-system, transition process, adaptive systems, control program, mechanical engineering.

В современном машиностроении широкое применение нашли металлорежущие станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Программирование процесса обработки с использованием таких станков может осуществляться следующими способами: 1) вручную в текстовом редакторе; 2) на стойке станка; 3) с помощью специализированного программного обеспечения.

Первый и второй способы применяются на производствах, в основе которых лежат повторяющиеся однотипные переходы и операции обработки несложных по конфигурации заготовок деталей, не требующие больших затрат времени на расчет траекторий, математические и технологические расчеты, а также ввод полученных параметров в систему. Реализация таких операций осуществляется, как правило, на универсальных токарных, фрезерных, сверлильных и других станках с ЧПУ невысокой ценовой категории, а в интеграции станков в единую сеть управления по экономическим соображениям нет необходимости. К пользователям (технологам и операторам) предъявляется требование безупречного владения командами в виде G-кодов.

Третий способ находит применение на производствах сложных по конфигурации заготовок деталей, требующих применения разнообразных переходов и операций. Для их реализации, как правило, необходимо использовать обрабатывающие центры. Для таких деталей затраты времени на подготовку управляющих программ первым и вторым способами часто в разы превышают затраты времени на обработку. Современные САМ-системы (Mastercam, NX, Solidcam, Edgcam, PowerMill Creo, Esprite, Xpress, HSMWorks, Radan, CamWorks, VisiSeries, T-Flex ЧПУ, Компас ЧПУ, Прамень ЧПУ и др.) позволяют значительно сократить время программирования станков с ЧПУ за счет возможности автоматизированного определения траекторий перемещений инструментов и определения ряда технологических параметров, а также объединения оборудования в единую сеть передачи данных.

При проектировании операций обработки на металлорежущих станках с ЧПУ важное значение имеет расчет границ и параметров режимов резания при врезании и выходе инструментов (переходных процессах), а также определение положения систем координат заготовки и инструмента в начальной, промежуточных и конечной точках траекторий резания. Во время врезания и выхода инструментов динамически меняются составляющие силы резания, наблюдается нестабильность упругих деформаций технологической системы, возрастание уровня вибраций, что существенно влияет на качество обработанной поверхности, может приводить к затуплению, перегреву и поломке инструмента, а также к снижению производительности обработки [1].

Основными направлениями снижения последствий указанных негативных явлений при переходных процессах являются использование систем адаптивного управления, обеспечение постоянства ряда параметров с помощью изменения режимов резания.

В системах адаптивного управления при переходных процессах применяются методы регистрации изменения сил резания и (или) крутящего момента, активной мощности, перемещения слоя металла заготовки, виброакустических сигналов и др.

Однако предлагаемые решения адаптивного управления требуют использования специальных сложных и дорогих конструктивных решений, часто являются недостаточно эффективными ввиду отсутствия математических моделей для управления процессами резания, недостаточности быстродействия механизмов станков, а также отсутствия и (или) невозможности установки из-за неприспособленности станков измерительных датчиков нужных размеров, точности и эффективности.

К параметрам, постоянство которых обеспечивается для снижения негативных последствий, переходных процессов, относятся объемная производительность, подача на зуб, погрешность и др. Особый интерес представляет высокоскоростная обработка, суть которой заключается в том, что при управлении станком при переходных процессах необходимо добиться постоянного малого сечения среза и высокой скорости (в 8–10 раз выше скорости традиционной обработки). При таком подходе из-за постоянной толщины среза уменьшаются колебания сил резания, а выделяющееся тепло переходит не в заготовку и инструмент, а в стружку.

Реализовать высокоскоростную обработку возможно только на самых современных станках с новыми типами приводов главного движения и подач, обеспечивающих соответствующие высокие значения частот вращения шпинделя, подач на рабочем и холостом ходах, дискретность перемещений, конструкциями направляющих, подшипниковых узлов, а также с новыми конструкциями режущего и вспомогательного инструмента. Особенности систем ЧПУ для высокоскоростной обработки являются короткий цикл определения траекторий; заложенные функции искусственного интеллекта (например, система контурного и наноконтурного управления (Modeler Control для Fanuk); система учета износа инструмента); реализация алгоритма просмотра кадров look-ahead со скоростью 100–200 кадров в секунду и др. Стоимость таких станков в сотни раз превышает стоимость традиционных станков с ЧПУ, составляющих по оценкам экспертов 85–95 % отечественного станочного парка.

Подготовка управляющих программ для высокоскоростной обработки производится с использованием САМ-систем, что требует соответствующего инструментария. Как показал анализ САМ-систем, одним из лидеров в этом направлении является компания CNC Software (система Mastercam). В системе для обработки фрезерованием можно применять технологию динамических перемещений Dynamic Motion, согласно которой снимаемый припуск разбивается на одинаковые микрообъемы. Далее назначаются режимы резания для удаления этих микрообъемов при каждом срезе материала и так формируется траектория перемещения инструмента. Схожие подходы предлагаются в системе NX (компания Siemens) в виде автоматической оптимизации подачи Automatic feed rate optimization. Система рассчитывает не микрообъемы снимаемого материала, а усредненные их значения, что позволяет использовать алгоритмы и для традиционной обработки.

Однако технологии Dynamic Motion и Automatic feed rate optimization специализируются на обработке фрезами и не предусматривают использования других, например, осевых, инструментов. Так, для обработки сверлением при таких подходах

## **18 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении**

невозможно прогнозировать влияние на качество обработки (точность размеров, шероховатость, допуски формы и расположения) таких негативных явлений, как наростообразование, изменение твердости поверхности заготовки, автоколебания, изменение векторов сил резания и деформации технологической системы, износ инструментов, температурные воздействия и др.

Таким образом, использование систем адаптивного управления, а также известные алгоритмы обеспечения постоянства параметров вносят существенный вклад в решение проблемы обеспечения качества, но имеют ограниченную специфическую область применения.

При подготовке управляющих программ для металлорежущих станков с ЧПУ технологи и операторы чаще всего решают задачи программирования обработки типовых элементарных поверхностей (плоскости, уступы, окна, открытые отверстия и т. п.). Для ускорения процесса их программирования широкое распространение получили стандартные циклы и специальные G-коды, а также калькуляторы режимов резания. Однако кроме описанного инструментария современные средства программирования станков с ЧПУ не позволяют для типовых конструктивных элементов и различных форм режущих частей инструментов в автоматическом режиме определять и (или) задавать длины врезаний, устойчивого резания и выходов, координат начальных, промежуточных и конечных положений инструментов, а также обоснованно при этом менять режимы резания.

Для типовых конструктивных элементов зоны врезания и выхода инструментов можно классифицировать на основе учета форм обрабатываемых поверхностей и режущих частей инструментов, а также рассчитать геометрические параметры этих зон. Классификация и расчет зон врезания и выхода инструментов даст возможность для теоретико-эмпирического имитационного моделирования процессов резания в зонах переходных процессов для обеспечения максимальной производительности обработки и стойкости инструментов с учетом воздействия различных негативных явлений. Поэтому перспективным представляется решение задачи построения указанных моделей для последующего управления станком с ЧПУ на их основе [1].

Для решения указанной задачи, прежде всего, необходимо: провести анализ и классификацию наиболее распространенных обрабатываемых типовых конструктивных элементов, поверхностей врезания и выхода с учетом форм режущих частей инструментов; разработать схемы и модели для определения параметров размерной настройки инструментов; провести теоретико-экспериментальные исследования режимов резания при переходных процессах и построить имитационные модели; разработать алгоритмическое и программное обеспечения реализации моделей.

Данные разработки могут использоваться: в проектных бюро машиностроительных предприятий при создании управляющих программ для станков с ЧПУ, а также размерной настройке универсальных станков и проектировании их наладок; в организациях-разработчиках систем автоматизированного проектирования – для совершенствования стандартных циклов САМ-систем; в учебном процессе – для подготовки специалистов в области технологии машиностроения.

### **Л и т е р а т у р а**

1. Попок, Н. Н. Система поддержки принятия решений по определению параметров размерной настройки сверл для программирования обработки отверстий на станках с ЧПУ / Н. Н. Попок, Н. В. Беляков, С. К. Селезнёв // Вестник БарГУ. Серия Технические науки. – 2023. – № 2 (14). – С. 50–63.