

## Автоматизация проектирования циклов круглого врезного шлифования

*А.С. Деярева-Кашутина,  
асп. каф. технол автом. машиностр, asdegyareva24@gmail.com,  
ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск*

В докладе рассказывается, что сокращение временных затрат на чистовые операции при сохранении качества продукции является актуальной задачей для машиностроительных производств. Поскольку для обеспечения высокой точности обрабатываемой поверхности приходится вести обработку на заведомо низких режимах. Одной из часто применяемых финишных операций является круглое наружное шлифование. Поэтому предлагается разработать программный модуль для проектирования циклов круглого врезного шлифования на станках с ЧПУ.

In the report it is told that reduction of time expenditure on fair operations when maintaining quality of products is a relevant task for machine-building productions. As for ensuring high precision of the processed surface to have to conduct processing on obviously low modes. One of often applied finishing operations is round external grinding. Therefore it is offered to develop the program module for design of cycles of round cut-in grinding on NC machines.

С каждым годом растут требования, предъявляемые к качеству и точности выпускаемой машиностроительными предприятиями продукции. Для минимизации потерь в производительности обработки, из-за возросшего количество чистовых операций, на многих машиностроительных предприятиях запущены процессы технологического перевооружения: закупается новое оборудование, инструментальная оснастка и приспособления. Для большего положительного эффекта кроме нового оборудования необходимы и новые технологические решения.

Одним из таких решений являются шлифовальные станки с ЧПУ, которые обладают огромным производственным потенциалом и многочисленными технологическими преимуществами, такими как повышенная жесткость и точность, сокращение времени на переустановку детали и позиционирование круга при обработке нескольких шеек вала.

Кроме того станки с ЧПУ позволяют вести обработку на скоростях выше, чем универсальные, что приводит к увеличению производительности обработки, но при этом возникает ряд вопросов относительно назначения режимов резания, которые будут описаны ниже.

Один из технологических приемов повышения производительности операций шлифования является применение циклов.

Циклы это технологические подпрограммы, с помощью которых возможна универсальная реализация определенного процесса обработки, к примеру, врезного шлифования, правки или шлифования методом продольной подачи. При шлифовании в принципе используется два различных технологических метода: круглое шлифование и правка.

В современных системах ЧПУ, таких как Siemens и Fanuc, имеются технологические подпрограммы, которые позволяют в автоматическом режиме создавать цикл для определенной задачи.

С помощью СЧПУ SINUMERIK 802Dsl могут быть выполнены следующие шлифовальные циклы:

- CYCLE405 Шлифование конусов
- CYCLE410 Врезное шлифование
- CYCLE411 Многократное врезание
- CYCLE412 Врезное шлифование кромки
- CYCLE414 Шлифование радиусов
- CYCLE415 Качание
- CYCLE416 Правка
- CYCLE420 Общие параметры детали
- CYCLE430 Правка накатного ролика
- CYCLE452 Плоское шлифование методом продольной подачи

Для использования шлифовальных циклов к шлифовальному станку предъявляются дополнительные аппаратные требования. Для наложения движений при отладке необходим один или два маховичка. Необходима возможность подключения следующих внешних устройств: устройство регистрации корпусных шумов, активный контроль, контактный щуп, 7 быстрых входов через MCPA [1].

На станках фирмы EMAG устанавливается система ЧПУ Sinumerik с оболочкой от фирмы Naxos Union, специализирующейся на производстве станков для финишных операций. Оболочка разрабатывается исходя из назначения станка, например если станок предназначен для обработки коленчатых валов, то в программном обеспечении будет сделан упор на технологические переходы необходимые для обработки коренных и шатунных шеек вала. Изменения осуществляются только авторизованным персоналом производителя.

Корректировка оператором станка возможна путём изменения только одного параметра режима резания – скорости подачи S. Остальные режимы обработки согласованы с этим параметром определёнными функциональными зависимостями, скрытыми в программе обработки.

Вторым мировым производителем систем числового программного управления для металлообрабатывающих станков является японская фирма Fanuc. С помощью стойки с системой ЧПУ Fanuc можно реализовать следующие постоянные циклы шлифования:

- Цикл врезного шлифования.
- Цикл врезного шлифования с прямым постоянным измерением.
- Цикл шлифования поверхности с непрерывной подачей.
- Цикл шлифования поверхности с прерывистой подачей.

В СЧПУ фирмы Fanuc управление врезной подачей при шлифовании применимо только при плоском шлифовании с осевой подачей. Позволяет автоматически производить ход стола с постоянной подачей по заданному профилю детали [2].

Кроме того возможности системы ЧПУ можно расширить с помощью дополнительного программного обеспечения разрабатываемого так же фирмой Fanuc. MANUAL GUIDE i позволяет проводить разработку управляющих программ непосредственно на стойке с ЧПУ в диалоговом режиме. NCGuide совместно с другими инструментами FANUC для разработки программного обеспечения (FANUC LADDER III, FANUC PICTURE, C Language Executer и MACRO EXECUTER) позволяет создать более эффективную среду обработки, чем существующие системы ЧПУ, за счет написания собственных модулей и алгоритмов [2].

Программное обеспечение StuderPictogramming, разработанное фирмой Studer, основываясь на анализе данных с действующих производств на протяжении многих лет. Разработка управляющей программы сводится к выбору необходимых операций из встроенных в станок отдельных программных циклов шлифования и правки, а система ЧПУ автоматически генерирует программу в ISO-коде. Также программа оснащена функцией свободного программирования для оптимизации процесса [3].

Задание значений скоростей вращений круга и детали, скорости подачи и точек её переключения рассчитываются автоматически исходя из материала заготовки, материала и зернистости шлифовального круга, а так же применяемой СОЖ. Размер шлифовального круга определяется с помощью встроенного модуля STUDER Quick-Set [3].

Анализ программ, устанавливаемых на стойки станков с ЧПУ, показал, что большинство встроенных циклов шлифования являются «черными ящиками», то есть оператор станка не знает по какому принципу происходит изменение подачи и траектории движения инструмента, более того он практически не может на это повлиять, внести изменения в программу.

Кроме автоматического метода создания циклов шлифования можно использовать ручной, при котором оператор сам назначает режимы резания, используя данные из нормативных справочников режимов резания или теоретических зависимостей.

В справочнике режимов резания на работы выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах даны расчеты для средних значений технологических факторов и для типового цикла шлифования, в котором время на выхаживание занимает 20% основного времени обработки. Приведенная в справочнике подача рассчитывается исходя из обрабатываемого материала, требуемой точности и шероховатости, величины максимального припуска и наличия обильного охлаждения в процессе обработки и является постоянной на протяжении всей обработки [4].

Впервые описание разработки рабочего цикла шлифования представлено в работах Б.Г. Лурье [4,5]. В данных работах автор предлагает производить управление циклом шлифования, основываясь на модели, построенной на взаимосвязи радиальной составляющей силы резания с упругими перемещениями технологической системы у.

$$y = \frac{P_Y}{j}, \quad (1)$$

где  $P_Y$  - радиальная составляющая силы резания;  $j$  - жёсткость технологической системы.

Рабочий цикл по Лурье состоит из ускоренного врезания круга в деталь, шлифования и выхаживания, структура цикла приведена на рис. 1.

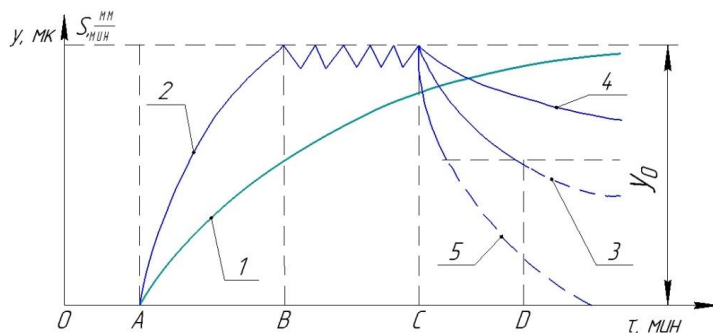


рис. 1 Структура рабочего цикла: OA – подвод круга; AB – этап врезания; BC – этап установившегося съёма металла; CD – выхаживание; 1 – врезание при постоянной поперечной подаче; 2 – ускоренное врезание; 3 – выхаживание без поперечной подачи; 4 – выхаживание замедленное; 5 – выхаживание ускоренное;  $y_0$  – отжатиe

В момент врезания происходит отжатиe системы, потому что система СИД не является абсолютно жесткой, что приводит к уменьшению толщины снимаемого материала. Увеличение отжатий приводит к росту натяга, поэтому последующее удаление материала осуществляется за счёт силы созданной натягом с возрастающей интенсивностью.

Для перехода к основному этапу обработки необходимо отрегулировать натяг с помощью силы  $P_y$ , так чтобы толщина срезаемого слоя была равна подаче. Заключительный этап обработки – выхаживание, производится на малых подачах или совсем без подачи [5].

В работах Б.Г.Лурье [5, 6] отмечается, что оптимизация цикла - это конечная задача, поскольку конечное состояние детали задается чертежом, а начальное - параметрами заготовки. Однако реализация методики оптимизации цикла для станков с программным управлением проведена фактически только на уровне формулировки задачи оптимизации.

Некоторые ученые описывают методику проектирования эффективных циклов применительно к конкретным условиям обработки, что сужает область применения разработанных циклов [7, 8]. Другие предлагают управлять

процессом шлифования с помощью оценки составляющей силы резания  $P_y$  через изменение мощности привода, данный метод оценки является достаточно грубым[9].

Моделирование циклов шлифования с учетом ряда технологических ограничений предложено П.П. Переверзевым[10]. Однако, подход, предложенный автором, позволяет проектировать цикл шлифования только для заранее заданного количества ступеней цикла шлифования.

После проведенного анализа, имеющихся разработок в области создания высокоэффективных циклов шлифования, установлено, что необходим комплексный подход, а именно разработка программного модуля, учитывающего основные ограничения и имеющего «дружелюбный» интерфейс. Алгоритм разрабатываемого модуля представлен на рисунке 2.

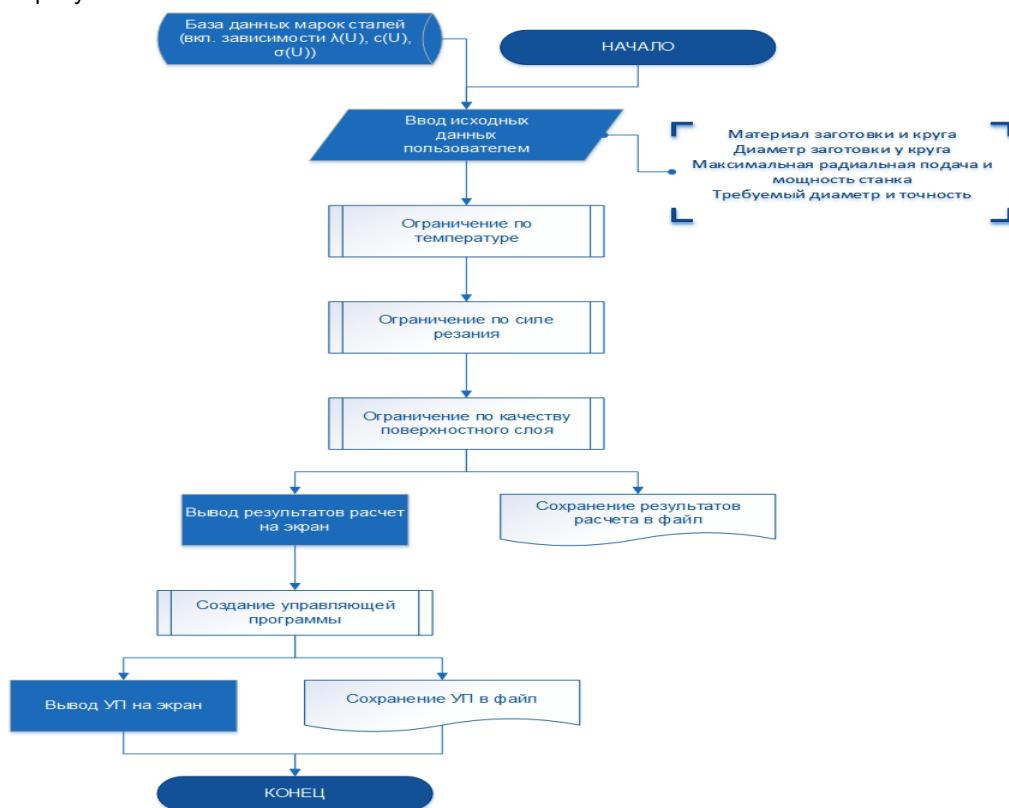


рис. 2 Алгоритм программы для разработки управляющих программ для круглошлифовальных станков с ЧПУ

В процессе шлифования, вследствие больших скоростей, мгновенная температура в зоне контакта может достигать температуры плавления стали, что приводит к изменению структуры поверхностного слоя детали [11]. Поэтому температура является одним из главных ограничивающих критериев при проектировании циклов шлифования.

Перед расчетом температуры необходимо решить, на какую поверхность накладывать ограничение по максимально допустимой температуре. Первый вариант в качестве предельной рассматривать температуру в зоне резания на поверхности обрабатываемой детали на каждом обороте, тогда радиальная подача на протяжении всего цикла шлифования будет постоянна и минимальна, из-за высокой температуры. Второй вариант принять в качестве ограничения поверхность готовой детали и рассчитать начальную радиальную подачу с учетом общего снимаемого припуска, то по мере удаления припуска температурный фронт будет проникать в глубину детали.

Первый вариант расчет приведет к снижению производительности, а второй к образованию дефектного слоя на поверхности готовой детали, то есть браку. Исходя из этого, предлагается следующая расчетная схема – в качестве предельной температуры принимается температура на поверхности готовой детали, а расчет подачи производится на каждом обороте заготовки.

В разрабатываемом программном обеспечении расчет мощности теплового источника рассчитывается по формуле, описанной в работе С.Н. Корчака [12], которая учитывает тепловыделение от пластического сдвига и трения о вершину абразивного зерна металла:

$$Q = q_{\text{нд}} = \frac{3,92\sigma_i v_k}{l_3 (4a + 1,177l_3)} \quad (2)$$

где  $\sigma_i$  – интенсивность сопротивления материала деформации Дж/м;  $v_k$  – скорость вращения круга, м/с;  $l_3$  – величина площадки затупления зерна, м,  $l_3 = 0,1$  мм;  $a$  – толщина среза, м.

Кроме того, при расчете температур производится учет изменения теплоемкости и теплопроводности обрабатываемого материала от температуры, так же по зависимостям полученных С.Н. Корчаком. Учет отвода тепла в смазочно-охлаждающую жидкость, производится по формулам, предложенным В.А. Сипайловым [13].

Алгоритм работы подпрограммы расчёта ограничения по температуре представлен на рисунке 3.

Другим важным фактором при проектировании циклов шлифования является расчет силы резания, особенно радиальной составляющей, так как получаемая точность и качество обработанной детали определяется величиной и колебаниями радиального усилия. Так же величина силы резания влияет на износ режущего инструмента.

В подпрограмме рассчитывающей температурное ограничение создавался профиль круга, которое позволяет определить количество зерен, контактирующих с заготовкой, в любой момент времени. По известному количеству

зерен, температуре в зоне резания и интенсивности сопротивления материала деформации, возможно, рассчитать величину радиальной силы резания.

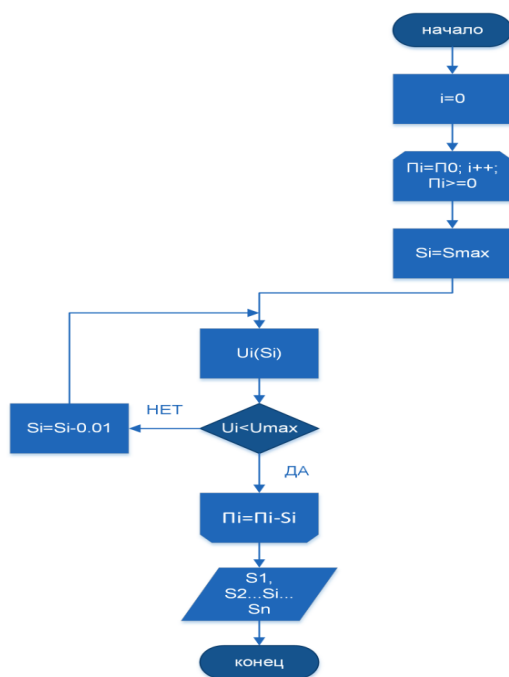


рис. 3 Алгоритм подпрограммы расчёта ограничения по температуре

На последних стадиях шлифования главным ограничением является шероховатость обрабатываемой поверхности. В работах Шипулина Л.В. разработана геометрическая модель, в которой шероховатость поверхности описывается как наложение множества следов от абразивных зерен за один проход. Рассчитывается шероховатость путем выбора множества поперечных сечений и определения наиболее часто встречающихся неровностей. Так же Шипулиным Л.В. предложена комплексная модель для плоского шлифования, в которой объединены геометрическая, силовая и теплофизическая модели [14].

Объединение основных ограничений обработки в единую программу, позволит сократить время на разработку управляющих программ для круглошлифовальных станков с ЧПУ.

#### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД-932.2017.8.*

#### Литература

1. SINUMERIK. Круглое шлифование Справочник по программированию и работе – Siemens – 2009. – 397 с.
2. Fanuc Series 30i-Model B. Fanuc Series 31i-Model B. Fanuc Series 32i-Model B. Для систем многоцелевого станка. Руководство по эксплуатации. – 2012. – 474 с.
3. Studer Professional Mixing Consoles [Электронный ресурс]: офиц. сайт. 2018. URL: <https://www.studer.ch/en-US> (дата обращения 25.09.2017).
4. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и дово-дочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д.В. Ардашев [и др.]— Челябинск: Изд-во АТОКСО, 2007. — 384с.
5. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. - М.: Машиностроение, 1969. - 192 с
6. Лурье Г.Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1984.- 103 с.
7. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
8. Братан, С.М. Разработка алгоритмов управления операцией круглого шлифования, учитывающих коррекции цикла за период стойкости инструмента/С.М. Братан, А.А. Ярошенко, Н.Н. Столяров// Вестник СевНТУ. – 2014. – №150. – С. 28-35.
9. Кулыгин В.Л. Управление режимными параметрами операций круглого наружного шлифования с продольной подачей на основе силовой модели процесса/В.Л. Кулыгин, С.В. Кулыгин//Прогрессивные технологии в машиностроении. – Челябинск. – 2016. – С. 22-28.
10. Переверзев П.П. Разработка методики оптимизации циклов внутришлифовальной обработки в многомерном пространстве/ П.П. Переверзев, А.В. Попова// Современные проблемы теории машин. – 2015. – №3. – С. 22-24..
11. Евсеев, Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке/ Д.Г. Евсеев. – Изд-во Саратовского университета, 1975. – 127с
12. Корчак, С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей/ С.Н. Корчак – М., Машиностроение, 1974. – 280 с.
13. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности, М. Машиностроение. 978, 167 с.
14. Шипулин Л.В. Совершенствование методики проектирования операций плоского шлифования периферией круга на основе комплексного моделирования процесса/Л.В. Шипулин// Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №2. – С. 214-222.