

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ ДЛЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.А Дьяконов, О.В. Ковалерова

Рассмотрены возможности современного шлифовального оборудования, понятие рабочего цикла шлифования и возможные пути его оптимизации. Определена необходимость разработки методики оптимизации рабочего цикла для современного многокоординатного оборудования.

Ключевые слова: шлифование; цикл обработки; математическое моделирование; станки с ЧПУ; современные возможности.

Обеспечение высокого качества и эффективного результата производства предполагает использование современных прогрессивных технологий и оборудования. Одно из основных требований, предъявляемых к оборудованию, является обеспечение высокой производительности при выполнении высочайших требований к точности обработки. Для достижения необходимых потребностей станкостроительные заводы внедряют различные инновационные разработки. Отечественные предприятия по производству станочного оборудования видят перспективный путь развития в трансформации в сборочные заводы с механической обработкой только определяющих деталей узлов и ноу-хау в конструкторских разработках. Западные же станкостроительные концерны большое внимание уделяют совершенствованию не только механической части, но и электронной, а также улучшению эргономики и дизайна.

Современное производство сегодня невозможно представить без использования станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Особое место в этой линейке занимает шлифовальное оборудование, различающееся по расположению обрабатываемой детали, её форме, способу

подачи и принципу вращения шлифовального круга. В этой группе выделяют: плоскошлифовальные, бесцентрошлифовальные, внутришлифовальные и круглошлифовальные станки (КШС).

Шлифовальные станки с ЧПУ относятся к классу оборудования, обладающие огромным производственным потенциалом и многочисленными технологическими преимуществами. Они отличаются повышенной надежностью и жесткостью, быстродействием рабочих органов и точностью работы.

Среди отечественных производителей круглошлифовальных станков можно выделить: ООО «Санкт-Петербургский завод прецизионного станкостроения», модели: ЛЗ – 190А; ЛЗ – 194; ЛЗ – 250; ЛЗ – 259; ЛЗ – 259М; Владимирский станкостроительный завод, модели: КШ – 400(600); КШ – 400.2; КШ – 600.4; ЗАО «МСЗ – Салют», модели: МШ 475 – I(II); МШ 476 – I(II).

Представителями ближнего зарубежья являются: харьковские станки ОАО «Харвест», модели 3У131М; 3У142МВ; 3У143МВ; 3У144МВ; 3М152МВ – 01; 3М132В; 3М162В01(02); ХШ – 138Ф2, технологические функции которых ограничены наружным продольным (полуавтоматическим) и врезным (ручным) шлифованием цилиндрических и конических поверхностей; белорусский ОАО «Вистан», модели: 3У131ВМ; 3У12УВФ10; Вильнюсский завод шлифовальных станков «Vingriai», модели: 3У10МАФ10; 3У10МС; 3У12РА; 3У12АФII, сфера их возможностей распространяется на наружное и внутреннее шлифование цилиндрических, конических и торцевых поверхностей.

Первую пятерку западных импортеров составляют традиционно сильные в этом секторе производители Японии, Германии, Китая, Италии, Испании, Чехии, Южной Кореи. Чуть отстают от корейских производителей Тайвань. Среди лидеров находятся США и Швейцария.

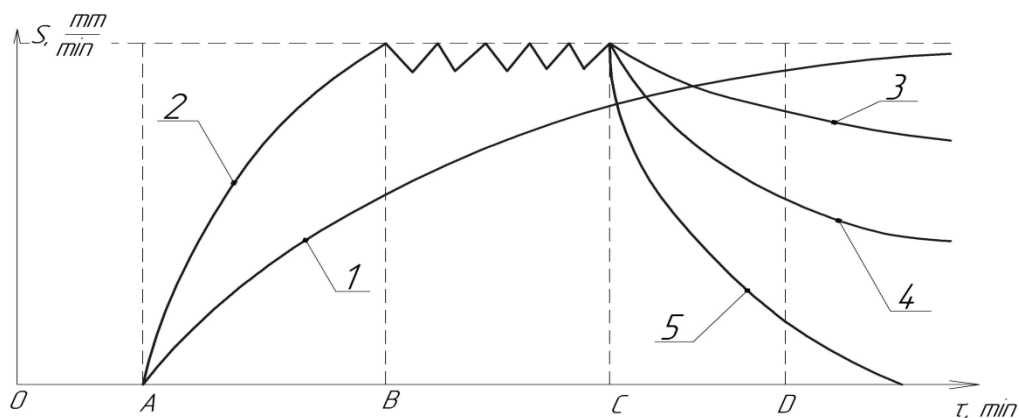
Известная фирма Studer (Швейцария) разработала универсальный круглошлифовальный станок с ЧПУ модели Favorit CNC для шлифования деталей среднего размера в штучном и серийном производстве. За счет различных опций, таких как система активного контроля, система балансировки, распознавание касания кругом детали и продольное позиционирование, позже он может быть адаптироваться и к другим задачам шлифования. Не отстают и фирма Ulmer Werkzeugschleiftechnik, презентовавшая станок SF40 Reinecker для шлифовки концов режущего инструмента из твердых сплавов со скоростью до 140 м/с. Особенности его являются шпиндель мощностью 11 кВт, вращающийся круг диаметром 350 мм с частотой до 7500 оборотов в минуту.

Особый интерес вызывает немецкое оборудование фирм Knuth, модели RSM 500 и RSM 1000 с высокопроизводительным ЧПУ GPlus 450, обеспечивающим точность, производительность, высочайшее качество обработки и гибкость переналадки. Группа JUNKER выпускает функциональные и экономичные шлифованные станки серии Lean Selection.

Круглошлифовальный станок Solaris фирмы Weldon Solutions (США) оснащён управляемой координатой C для обработки некруглых деталей.

Современное оборудование с ЧПУ позволяет производить шлифовальную обработку в 3–4-х координатах, но существуют станки с несколькими шлифовальными кругами, которые могут шлифовать изделия в 8-ми координатах. Круглошлифовальные станки оснащены программным управлением типа CNC с управлением по X – Y – Z координатам, позволяющим автоматически определять траекторию движений шлифовального круга и при необходимости вносить коррективы. Система ЧПУ способна контролировать износ круга и автоматически компенсировать его без изменения традиционной компоновки станка. Данные станки позволяют совершать полный цикл обработки изделий из металла. Обладают удобной системой наладки, управления и перенастройки. Управление шлифовальной операцией может осуществляться дистанционно и быть упрощено благодаря использованию шлифовальных циклов технологически оптимально разработанных с графической поддержкой. Рабочий цикл может быть выбран из уже имеющихся на станке или быть задан оператором.

При круглом врезном шлифовании под циклом понимают путь, проходимый шлифовальной бабкой в направлении поперечной подачи, состоит из нескольких этапов: быстрого подвода круга с форсированной подачей по воздуху до момента касания с обрабатываемой поверхностью, ускоренного врезания в металл; чернового и чистового шлифования [1]. Структура рабочего цикла приведена на рисунке.



- 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

Рабочий цикл отражает последовательность изменения режимов шлифования и связанное с ней изменение интенсивности съёма металла во времени. Управление им осуществляется путем изменения программной скорости подачи шлифовального круга, обеспечивающей требуемую скорость

движения режущей кромки инструмента. Программная скорость подачи переключается ступенчато в зависимости от оставшейся части припуска и является постоянной для каждой ступени цикла.

Величина программной скорости подачи для каждой ступени цикла задается. Фактический же закон движения режущей кромки круга отличается от программного наличием зазоров в кинематических цепях узлов станка и упругой податливости звеньев технологической системы.

Максимальное значение фактической скорости подачи на каждой ступени цикла корректируется комплексом технологических ограничений в зависимости от требуемой точности обработки, заданной шероховатости поверхности, осыпаемости шлифовального круга и изменении его режущей способности, появлению тепловых дефектов (прижогов) и т. д.

Для первой ступени цикла существенными ограничениями являются: работа круга в режиме затупления для чистовых операций или частичного самозатачивания при обдирочных обработках; допустимая глубина прижога, мощность привода и др. В конце этой ступени цикла допустимы прижоги, глубиной резания не превышающей оставшейся части припуска.

На второй ступени цикла расчет фактической скорости подачи ограничивается требованиями точности размера и отклонений формы, а так же снижением интенсивности тепловыделения.

На третьей ступени цикла уменьшаются динамические погрешности обработки, и возникает необходимость учёта ограничений по шероховатости обрабатываемой поверхности до требуемого уровня.

Методиками формирования оптимального рабочего цикла круглого шлифования (без учёта пути быстрого подвода и отвода круга), применяющихся в промышленности занимались многие учёные [1–8].

Предлагаются пути оптимизации циклов на основе: эмпирических зависимостей скоростей съема металла за время шлифования (В.И. Островский и А.Г. Савицкая); использовании управляющего параметра, за который принимается нормальная составляющая силы резания, а не программная скорость подачи (Д.В. Каленник, А.И. Левин, В.М. Машинистов, Ю.И. Манохин); расчёта стартовых режимов через постоянную времени для всех ступеней (В.А. Иоголевич); динамического программирования (Ю.К. Новоселов).

Одной из последних методик проектирования и оптимизации циклов обработки деталей на круглошлифовальных станках является научная работа П.П. Переверзева [8], позволяющая рассчитать высокопроизводительный процесс врезного круглого шлифования. Практическое применение данная методика получила в общемашиностроительных нормативах времени и режимов резания [9].

Оптимизация основана на подборе параметров управления рабочего цикла шлифования и сравнении их с предельно допустимыми по ряду технологических ограничений значениями. Одновременно учитывается комплекс технологических ограничений, на основе моделирования взаимосвя-

зи оптимальных режимов резания с получаемой точностью и другими показателями качества. Комплекс основных моделей ограничений базируется на единой модели силы резания, устанавливающей функциональную взаимосвязь с режимами резания, геометрией зоны резания (размерами шлифуемой поверхности, параметрами круга и т. д.), физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, затуплением круга и его характеристикой. Учтены колебания значений входных параметров (точности заготовок, припуска, затупления круга) на колебания результирующих качественных показателей обрабатываемой поверхности.

Однако предлагаемые в данной работе математические модели в силу ограниченных возможностей вычислительной техники, составляющие базу для реализации теории, содержат ряд допущений не позволяющих реализовать возможности современного оборудования.

Так теплофизическая модель, применяемая для реализации ограничения по глубине тепловых дефектов, построена на теории быстродвижущихся источников и сплошного контакта [10, 11], что не позволяет вести управление по скорости вращения заготовки и учитывать продвижение температурного поля по мере уменьшения припуска. Применение данной теории быстродвижущихся источников приводит к допущениям в силовой модели, модели по осыпаемости круга и др.

Современное оборудование, имеющие мощный привод и широкие диапазоны плавного изменения программных скоростей подач, и бесступенчатое регулирование частоты вращения рабочего шпинделя, позволяет применять более высокопроизводительные бесступенчатые циклы шлифования. Тем самым обеспечить полное совпадение траектории фактической скорости подачи с границей области допустимых значений, достигая теоретического предела производительности цикла.

Оптимизация рабочего цикла шлифования сегодня возможна на основе модели процесса, учитывающей его сложные термодинамические особенности, упругие свойства технологической системы, высокую теплопроводность, вероятностное множественное микрорезание и др.

Необходимо рассматривать построение рабочего цикла шлифования сочетанием численных значений управляющих параметров (программной скорости подачи и величиной припуска) для каждой его ступени.

Принимая во внимание современные технические и технологические тенденции, необходимо разработать комплексную модель, которая позволит учитывать современные возможности оборудования.

На основе вышеизложенного необходимо:

1. Провести анализ возможностей современного шлифовального оборудования на предмет реализации программных циклов.
2. Разработать комплексную математическую модель, прогнозирующую выходные показатели процесса шлифования с учётом современных возможностей оборудования.

3. Разработать методику проектирования оптимального цикла для современного оборудования.

Такой подход позволит перейти к проектированию максимально производительных циклов шлифования для конкретных требований по точности, шероховатости и тепловых дефектов обработки, а также соблюдения условий по стойкости.

Библиографический список

1. Лурье, Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 172 с.
2. Островский, В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1981. – 144 с.
3. Левин, А.И. Оптимизация цикла врезного круглого шлифования / А.И. Левин, В.М. Машинистов // Станкоинструмент. – 1992. – № 12. – С. 27–29.
4. Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
5. Новосёлов, Ю.К. Динамика формирования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новосёлов. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1979. – 232 с.
6. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Методика программирования: учебное пособие / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, В.А. Иголевиц, И.В. Сурков. – Челябинск: Издательство ЧПИ, 1989. – 81 с.
7. Переверзев, П.П. Моделирование и оптимизация управляющих программ в автоматизированном машиностроительном производстве / П.П. Переверзев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Машиностроение». – 2012. – № 12. – Вып. 19. – С. 152–157.
8. Переверзев, П.П. Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с основными технологическими параметрами / П.П. Переверзев, А.В. Попова // Металлообработка. – 2013. – № 3. – С. 24–30.
9. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: нормативы режимов резания. – М.: Экономика, 1990. – Ч. 2. – 480 с.
10. Дьяконов, А.А. Стохастический подход к решению теплофизических и силовых задач теории шлифования / А.А. Дьяконов // Металлообработка. – 2008. – № 2(44). – С. 2–6.
11. Дьяконов, А.А. Область применения теории быстродвижущихся источников в задачах теплофизики абразивной обработки при дискретной схеме контакта / А.А. Дьяконов, Л.В. Шипулин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 4(2). – С. 136–142.

[К содержанию](#)