



CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES

Volume: 04 Issue: 05 | May 2023 ISSN: 2660-5317
<https://cajotas.centralasianstudies.org>

Оптимизация Технологического Процесса При Обработке На Круглошлифовальных Станках С Чпу

Желтухин А. В.

Старший преподаватель, Ташкентский государственный технический университет

Сирожиддинов Ш. И

Ассистент, Ташкентский государственный технический университет

Received 4th Mar 2023, Accepted 6th Apr 2023, Online 6th May 2023

Аннотация: *Одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед наукой в сфере организации производства, является нахождение научно обоснованных решений проблемы совершенствования и эффективного функционирования производственных процессов предприятий различных отраслей на базе разработки и использования практических методов планирования и широкого применения цифровых технологий.*

Ключевые слова: *производство, технологический процесс, оптимизация, механическая обработка, шлифование.*

Введение. Решение задач оптимизации режимов обработки и упрощения программирования на станке требует комплексного рассмотрения всего технологического процесса, т.е. создания модели обработки процесса. Разработка такой модели в общем виде пока нереальна, однако использование ряда упрощений, основанных на анализе особенностей оборудования и обрабатываемых деталей, оказывающих наибольшее влияние на выходные характеристики процесса, позволяет разработать упрощенную модель, обеспечивающую получение высоких технико-экономических показателей.

Основная часть. Рассмотрим методику построения такой модели для процесса обработки врезным шлифованием на круглошлифовальном станке с ЧПУ деталей типа ступенчатых валов с требованиями к точности размера в пределах 1-3 классов и параметра шероховатости R_a в пределах 0,16-0,25 мкм.

В общем случае математическая модель процесса обработки представляется в виде зависимости технико-экономического показателя эффективности процесса обработки и ограничений (по качеству изделия, возможностям станка и инструмента) от всех определяющих факторов. С учетом упомянутых особенностей обработки на станках с ЧПУ предлагается в качестве показателя эффективности использовать сумму затрат основного времени, времени на правку и холостые перемещения в той части, которая зависит от структуры операции, а в качестве основных ограничений-ограничения, связанные с требованиями по качеству изделия. Следует отметить, что из этих ограничений наиболее сложными для учета являются требования по шероховатости, поскольку этот параметр практически не поддается контролю в процессе обработки и существенно

зависит от состояния инструмента. В связи с этим в описываемой ниже модели ограничению по шероховатости уделяется наибольшее внимание.

Для конкретизации модели процесса и проверки возможностей ее практического использования был создан автоматизированный станок-стенд на базе круглошлифовального станка мод. 3A151Ц с управлением от мини-ЭВМ типа Электроника ДЗ-28, оснащенный прибором активного контроля, путевыми датчиками, датчиками силы, смонтированными в гидростатических подшипниках шпинделя круга, серийными датчиками перемещений и т.п. Исследования, проведенные на стенде, анализ возможностей и обобщение опыта показали, что построение технологического процесса обработки на станках с ЧПУ целесообразно разделить на три этапа:

выбор структуры операции на основе обобщения имеющегося опыта с учетом возможного сокращения затрат времени на холостые перемещения;

определение режимов обработки и правки, обеспечивающих возможность получения заданного параметра шероховатости в течение всего периода стойкости круга при минимальном времени черновой обработки и правки, и коррекция этих режимов, исходя из ограничений по мощности двигателя, по прижогам, по действительной величине припуска и др.;

выбор структуры и определение параметров чистовой части цикла, обеспечивающих минимизацию времени чистовой обработки при выполнении требований по шероховатости, точности размера и формы и структуре поверхностного слоя.

На первых двух этапах информация, имеющаяся до начала обработки, используется при подготовке программы. Третий этап реализуется в процессе обработки.

На этапе выбора структуры операции устанавливаются такие параметры, которые определяются имеющимся опытом эксплуатации круглошлифовальных станков: маркой круга и правящего инструмента, СОЖ окружными скоростями круга и детали и т.п., а также периодичностью правки и порядком обработки поверхностей.

Выбор периодичности правки в общем случае должен был проводиться на основе решения задач оптимизации. Однако упомянутые выше особенности обработки деталей на станках с ЧПУ, т.е. наличие на одной детали поверхностей различных размеров с разными требованиями по качеству, а также значительное время, затрачиваемое на правку, обуславливают целесообразность правки перед каждой деталью. Анализ показывает, что это решение является наиболее экономичным, несмотря на то, что режим правки выбирается, исходя из требований к наиболее ответственным поверхностям.

При выборе порядка обработки поверхности естественным является решение обрабатывать шейки подряд, например, слева направо, при котором затраты времени на холостые перемещения минимальны. Однако следует учитывать, что при шлифовании широких шеек после узких на обрабатываемой поверхности остаются риски из-за неравномерного износа круга. Сравнение величин линейного износа круга с высотой неровностей обработанной поверхности при заданной шероховатости показало, что при $Ra=0,16\div 0,32$ мкм вначале следует обрабатывать широкие, а потом узкие шейки. При шлифовании шеек подряд перед широкими шейками допустима обработка не более одной узкой шейки при $Ra=0,64$ мкм и не более двух при $Ra=1,25$ мкм. Отсюда следует, что обработку надо начинать, как правило, с наиболее ответственных шеек.

Определение режимов обработки и правки производится на основе решения задачи оптимизации при использовании в качестве целевой функции соответствующих составляющих затрат времени. При правке перед каждой деталью целевую функцию можно записать в виде:

$$\tau_0 = \tau_{ч} i + \tau_{пр}, \quad (1)$$

где $\tau_{ч} i$ — время черновой обработки i -й шейки; $\tau_{пр}$ — время правки; k — число обрабатываемых на детали шеек.

При заданном на каждой шейке припуске i время $\tau_{ч} i$ зависит от скорости съема $v_{чi}$, или при использовании систем стабилизации — от уровня силы P_i (мощности N_i). С другой стороны, объем снятого металла $Q = E P_i$ и режимы чернового шлифования определяют процесс затупления круга и возможность получения требуемой шероховатости на всех шейках. Поскольку на чистовых режимах съем металла и нагрузки на инструмент, существенно меньше, чем на черновых, затупления круга практически не происходит, а время его работы $E \tau_{ч} i$ равно стойкости круга шероховатости. Поскольку стойкость абразивного инструмента определяется в отличие от лезвийного инструмента не только режимами обработки, но и режимами, правки, оптимальными будут такая стойкость круга и такие режимы обработки и правки, при которых время τ_0 будет минимальным. Для определения этих оптимальных условий необходимо иметь зависимости, определяющие шероховатость, как функцию режимов обработки и правки [1], однако таких зависимостей, которые можно было бы

использовать для решения указанных задач, пока нет. Исследование показало, что соответствующая зависимость для случая работы в режиме стабилизации радиальной составляющей силы резания может быть представлена в виде

$$Ra_0 = a_0 + a_1 s_{пр} e + a_2 s_{пр,з} (1-e) + a_3 P_y^2 Q \quad (2)$$

где Ra_0 — параметр шероховатости, мкм, — который можно обеспечить выхаживанием после того, как единицей ширины круга будет снят объем металла Q , мм³/мм, при удельной нагрузке на круг P_y кгс/мм; $s_{пр}$ — продольная подача при правке, мм/мин; $s_{пр,з}$ и n_3 — зачистная подача, мм/мин, и число зачистных, проходов при правке; a_0 — a_3 — коэффициенты регрессии.

Аналогичная зависимость может быть получена для случая обработки с постоянной черновой подачей $S_{ч}$.

При окончании обработки с конечным значением скорости съема $v_{ч}$ параметр шероховатости обработанной поверхности определяют по формуле

$$Ra = Ra_0 + a_4 (v_{и} + v_{к})^{0,5} \quad (3)$$

где $v_{и}$ — окружная скорость изделия, м/мин; a_4 — коэффициент.

Эти зависимости должны быть известны до начала обработки. Они могут быть получены в процессе тестовых испытаний, которые проводятся, например, при сдаче нового станка или замене круга. Полный тест для определения коэффициента a_0 — a_4 , представляющий собой планированный многофакторный эксперимент, требует проведения 16 шлифовок. Для случая обработки конструкционных сталей кругом 24A25C1K5 при правке единичным алмазом в оправе были получены: $a_0=0,12$; $a_1=0,016$; $a_2=0,000011$; $a_3=0,0032$; $a_4=0,086$.

Соотношение затрат времени при разных режимах правки круга и режимах обработки ступенчатого валика с тремя шейками при требованиях к шероховатости $Ra=0,32$ мкм, полученные расчетом при использовании зависимостей (1), (2), приведены на рис. 1.

Стойкостная зависимость (2) соответствует шлифованию с выхаживанием практически до полного снятия натяга. Поскольку полученные расчетом режимы черновой обработки выбираются так, чтобы обеспечить возможность получения заданного параметра шероховатости на всех обрабатываемых поверхностях, может оказаться, что на шейках, обрабатываемых непосредственно

после правки, выхаживание дает более высокий параметр шероховатости, чем требуется. В этом случае обработку можно закончить при скорости съема он, определяемой по зависимости (3). Так, для данного примера (см. рис. 1) можно ,показать, что при обработке первой шейки скорость съема в конце цикла может быть принята $v_k = 0,03$ мм/мин, для второй $v_k = 0,015$ мм/мин, третью шейку можно обрабатывать с выхаживанием в течение 10 с, как это было принято в экспериментах при получении коэффициентов зависимости (2).

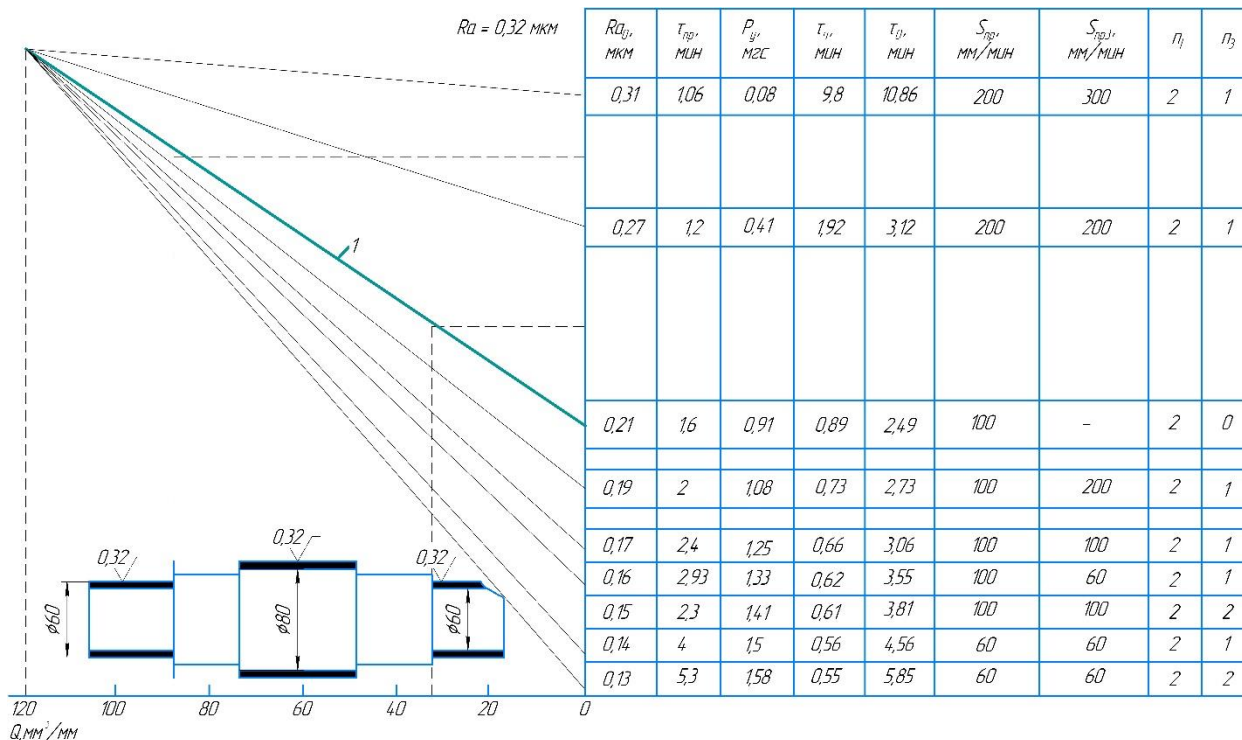


Рис.1. Пример определения T_0 в зависимости от режимов обработки и правки (n_1 -число проходов при правке с подачей на глубину 0,01 мм): 1- кривая изменения параметра Ra_0 шероховатости в функции объема Q снятого металла при оптимального режима обработки.

Таким образом, для автоматизированного выбора режимов обработки и правки, близких к оптимальным, в памяти системы должны быть коэффициенты a_0 — a_4 , соответствующие различным сочетаниям абразивных и правящих инструментов. Исследования, проведенные для различных сочетаний трех типов абразивных и трех типов правящих инструментов, показали, что при относительно невысоких требованиях к шероховатости ($Ra=0,64\div 125$ мкм) оптимальные режимы, полученные по зависимостям для различных сочетаний инструментов, практически одинаковы. Это указывает на возможность использования одной и той же стойкостной зависимости для различных условий обработки. Такой подход возможен и при более высоких требованиях к шероховатости, однако при этом выбранные режимы будут существенно отличаться от оптимальных, и могут быть потери производительности. Кроме того, ,при этом следует иметь в виду, что не всякое сочетание инструментов обеспечивает получение высоких требований к шероховатости. В качестве критерия при выборе инструмента можно использовать коэффициент a_0 , характеризующий максимально достижимый параметр шероховатости для данного сочетания абразивного и правящего инструментов.

Последним этапом построения технологического процесса, реализуемым непосредственно в процессе обработки, является выбор структуры и определение параметров чистой части цикла.

Здесь необходимо обеспечить минимизацию времени чистовой обработки при выполнении всех ограничений по качеству.

На станки с ЧПУ обычно применяют трех и четырехступенчатые циклы, включающие черновое и чистовое шлифование и выхаживание. Это обусловлено в основном стремлением получить требуемую точность обработки при имеющихся вариациях параметров упругой системы СПИД. Как показали исследования, при обработке на станке мод. 3A151Ц валика с $l/d=10$ при среднем диаметре $d_{cp}=50$ мм постоянная времени, характеризующая время переходного процесса и зависящая, в частности, от жесткости системы, изменяется более чем в 2 раза: от $\tau = 3$ с у переднего центра $\tau = 6,5$ с посередине детали. При многоступенчатых циклах условия обработки к концу цикла более или менее стабилизируются, однако имеются значительные потери времени.

Повышения производительности за счет использования двухступенчатого цикла возможно в том случае, если удастся обеспечить стабилизацию условий обработки к концу этапа съема чистового припуска, например, методами адаптивного управления. Реализация этих методов на современных станках с ЧПУ, оснащенных приборами активного контроля и путевыми датчиками, принципиальных трудностей не представляет, и поэтому как основной принят двухступенчатый цикл. При двухступенчатом цикле длительность числового этапа зависит от задаваемой скорости съема в конце обработки и точности определения припуска на чистовую обработку. Скорость съема в конце цикла с учетом требований к шероховатости определена на предыдущем этапе. При формировании чистового этапа цикла полученные значения v_k следует проверить по другим ограничениям.

По условиям обеспечения отсутствия прижогов скорость съема в конце обработки не должна превышать предельного значения, при котором дефектный слой не образуются, а из условий обеспечения требуемой точности форма должна быть не более 0,3-0,4 допуска на некруглость; очевидно, что реализовано должно быть меньшее из этих значений. Заметим, что при обработке валиков из углеродистых сталей в большинстве случаев скорость съема в конце цикла определяется требуемой шероховатостью.

При выбранной скорости съема в конце обработки (эта скорость может быть различной на разных шейках) требования по точности обработки могут быть обеспечены введением коррекции уставки прибора активного контроля [2] как функции скорости съема, устанавливаемой на основе соответствующих тестовых испытаний.

Минимизация времени чистовой обработки обеспечиваются, если заданный размер и скорость съема v_k достигаются одновременно. Для этого команда на переход к числовому этапу должна подаваться при диаметре заготовки, отличающемся от номинального на величину Δh разности натягов в системе при $v_{\text{ч}}$ и v_k . Если припуск на чистовую обработку больше Δh , то время чистовой обработки будет больше минимального; если он меньше Δh , то обработка закончится на скорости на скорости съема v_k больше заданной. Точное определение Δh возможно только на основе измерений, проводимых в ходе обработки.

Натяг при черновой обработке определяется как разность показаний прибора активного контроля и путевого датчика. Натяг, соответствующих скорости съема текущей и в конце обработки, можно вычислить, зная законы изменения этих величин. Для литейной системы они известны и определяются так называемой постоянной времени системы

$T = \frac{h}{v}$, где h – натяг. Однако, как показали проведенные исследования¹, систему СПИД при малых натягах нельзя рассматривать как линейную.

¹ Исследования шероховатости и режущей способности круга проведены Т.Д. Долидзе, а влияние нелинейности системы – С.А. Рябовым.

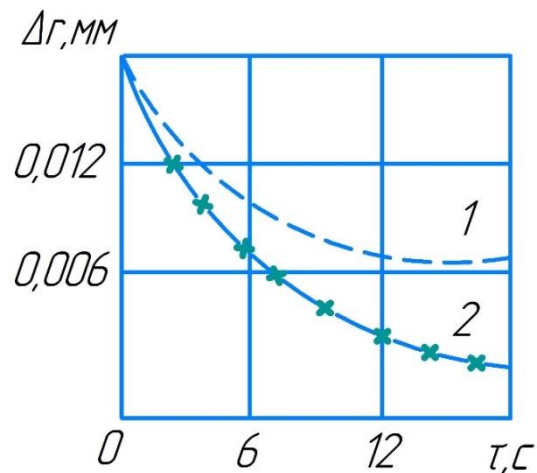


Рис. 2. Изменение Δr радиуса детали за время τ чистовой обработки: 1- расчетное для литейной системы ($h/v=\text{const}$); 2-расчетное для нелинейной системы ($j = Kh^\beta$; $\beta = 1$); точками показаны экспериментальные значения.

Отношение $\frac{h}{v}$ в ходе процесса не остается постоянным, и изменение параметров процесса, вычисляемой по зависимостям, справедливым для линейных систем, может существенно отличаться от действительного; удовлетворительная точность обеспечивается (рис. 2), если принять зависимость жесткости системы от натяга в виде $j = Kh^\beta$, где K , – эмпирические коэффициенты.

При этом припуск на чистовую обработку определяют по формуле

$$P_{\text{чист}} = \frac{T_0 v_{\text{ч}}}{\gamma} \left[1 - \left(\frac{v_{\text{к}}}{v_{\text{ч}}} \right)^\gamma \right], \quad (4)$$

и время съема этого припуска

$$\tau_{\text{чист}} = \frac{T_0}{\beta \gamma} \left[\left(\frac{v_{\text{к}}}{v_{\text{ч}}} \right)^{\beta \gamma} - 1 \right],$$

здесь $\gamma = \frac{1}{1+\beta}$; $T_0 = \frac{h_{\text{ч}}}{v_{\text{ч}}}$.

Коэффициент γ и β можно определять с помощью соответствующих тестовых испытаний, например при сдачи станка. В первом приближении можно принимать $\beta=1$.

Вычисленная по формуле (4) величина припуска на чистовую обработку сравнивается с глубиной дефектного слоя [3], получаемого при черновой обработке, и за окончательное значение принимается большее.

По известной величине исходной погрешности формы заготовки, которая для ответственных шеек должна предварительно измеряться или строго регламентироваться, оценивается возможность

исправления этой погрешности за полное время цикла [4]. Необходимые для этого значения режущей способности круга определяются на основе регрессионных зависимостей, аналогичных зависимостям (2), (3), получаемых при тех тестовых испытаниях.

Описанный технологический процесс обработки на круглошлифовальных станках с ЧПУ был реализован на разработанном автоматизированном станке-стенде при обработке ступенчатых валиков со средним диаметром $d_{cp} = 50$ мм и отношением $\frac{l}{d} = 5 \div 10$. Обработка велась кругом 24A24C1K5, правка – единичным алмазом в оправе. Исходные данные (геометрические размеры, припуски на обработку и требования по шероховатости) вводились с пульта системы управления. Режимы обработки и правки рассчитывались в системе управления на основе зависимости (1) - (3).

Вывод. При реализации данного двухступенчатого цикла после пуска по команде ЭВМ происходит непрерывный опрос датчика радиальной силы. Врезание осуществляется в режиме чернового шлифования сводятся губки прибора активного контроля (ПАК) и начинается поочередной опрос ПАК и датчика положения шлифовальной бабки, в результате которого определяется скорость $v_{\text{ч}}$ съема металла и натяга $h_{\text{ч}}$ (как разность показаний ПАК и путевого датчика), затем по формуле (4) производится расчет чистового припуска. После расчет продолжается опрос ПАК, и когда действительного припуск становится равным расчетному, происходит переключений на выхаживание. Отвод круга от детали производится по команде ПАК по достижении заданного размера. Критерием оценки качества отработки цикла являлось соответствие заданной и фактически полученной скорости съема в конце цикла. Расхождение между ними в диапазоне скоростей съема 0,005-0,05 мм/мин не превышало 5%. Шероховатость обработанных поверхностей соответствовала заданной. Исследования показали также, что использования двухступенчатого цикла при вычислении чистового припуска с учетом нелинейности системы СПИД позволяет повысить производительность по сравнению с многоступенчатыми циклами на 20-50% при обработке одной поверхности. Кроме того, это дает возможность без усложнения исходной программы дифференцировать режимы для разных поверхностей одной детали.

Полученные результаты позволяют рекомендовать методику построения технологического процесса при эксплуатации круглошлифовальных станков с ЧПУ, в том числе и в условиях автоматизированных участков при ограниченном количестве обслуживающего персонала.

Список литературы

1. Salje E., Mushardt H., Aufbau einer Optimierregelung für einen mehrstufigen Schleifprozess, wt-Z. ind Fertigung, 65 (1975), s. 335-338.
2. Гейлер З. Ш. Самонастраивающийся системы активного контроля М.: Машиностроение, 1978.
3. Михелькевич В. Н. Автоматическое управление шлифованием. М.: Машиностроение, 1975.
4. Лурье Г.Б., Гичан В.В. Адаптивная система управления процессом круглого врезного шлифования.- Станки и инструмент, 1974, №7, с 5-7.
5. Картамышев Никита Антонович МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ // StudNet. 2022. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-proizvodstva-na-promyshlennom-predpriyatii> (дата обращения: 01.05.2023).