

УДК 621.924.1

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ПЛОСКОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ*д-р техн. наук, доц. Н.Н. ПОПОК**(Полоцкий государственный университет);**Ю.Е. МАХАРИНСКИЙ**(Витебский государственный технологический университет)*

Анализируются исследования в области управления процессом шлифования. Предложена модель процесса и программное обеспечение управления рабочим циклом при плоском врезном шлифовании с учетом затупления инструмента. Проведен анализ затупления шлифовального круга в зависимости от числа проходов инструмента и количества обработанных деталей. Даны рекомендации по адаптивному управлению режущей способностью круга, обеспечивающие повышение производительности шлифования и экономию ресурсов (электроэнергии, абразивного и правящего инструмента).

Введение. Технологический процесс шлифования является одним из широко распространенных в машиностроении. Так, в отечественном машиностроении доля шлифовальных станков составляет 12 %, а в автомобилестроении – до 25 %. Большой резерв в повышении эффективности шлифовальных станков заложен в управлении процессом шлифования, например, плоского врезного шлифования заготовок. Нестабильность рабочих характеристик шлифовального круга, изменение их во время обработки заготовок приводит к необходимости занижать режимы шлифования для обеспечения заданного качества деталей. Поэтому невозможно достигнуть максимальной производительности как при использовании граничного, так и оптимального ступенчатого алгоритмов управления съемом припуска.

Если проведением тестов во время рабочего цикла или по полученной экспериментальной модели после шлифования каждой детали определяется фактическое значение коэффициента режущей способности, то можно оптимизировать показатели оптимального управления ступенчатым рабочим циклом с учетом затупления шлифовального круга, вследствие чего изменяются показатели ограничения производительности.

Анализ исследований по управлению процессом шлифования. При разработке алгоритмов управления рабочим циклом шлифования в ряде работ [1 – 3] ставились задачи ускорения процесса исправления исходных погрешностей формы и получения минимального значения показателя шероховатости Ra. Предлагались различные характеристики управления: радиальная подача (при плоском шлифовании – скорость стола, при круглом – скорость вращения заготовки); радиальная сила и коэффициент демпфирования. Предлагалось также управление по двум характеристикам одновременно – радиальной подаче и скорости вращения заготовки, которая на последнем этапе рабочего цикла уменьшается для снижения уровня показателя шероховатости Ra.

В работе [4] рекомендуется заменять непрерывную радиальную подачу импульсной, а для максимального приближения эффективности ступенчатого алгоритма управления – к эффективности граничного выбирать оптимальное число ступеней, которое зависит от постоянной времени и коэффициента действия импульсной подачи. В работе [5] рассматривается эффективность применения шаговой подачи для оптимизации круглого врезного шлифования по затратам машинного времени и качеству обработанной поверхности при адаптивном управлении процессом обработки. Разработан алгоритм изменения шаговой подачи для реализации оптимальных циклов. Его эффективность определяется соотношением объёма фактически сошлифованного металла к объёму металла, который должен быть сошлифован в соответствии с оптимальным алгоритмом в течение заданного интервала времени, равного шагу подачи. Указывается, что зависимости оптимальных параметров шаговой подачи можно представить линейными функциями, что позволяет относительно простыми средствами обеспечить максимальную производительность станка на всём цикле шлифования путём адаптивного управления шаговой подачей. Представлена конструкция шагового привода круглошлифовального станка, обеспечивающего отработку цикла шлифования с учётом жёсткости системы, однако не учитывающего свойства и износ шлифовального круга.

При разработке и исследовании адаптивного управления рабочим циклом по каналам обратной связи передавалась следующая информация:

- 1) об оставшемся припуске;
- 2) активной мощности шлифования;
- 3) радиальной силе;
- 4) уровне вибраций;
- 5) о максимальной температуре в зоне шлифования.

Другую информацию, необходимую для управления, получали путем обработки первичной информации в вычислительных устройствах системы управления.

Как известно [2, 7], режущая способность шлифовального круга существенно изменяется за период его работы после правки. Характер и скорость этого изменения зависит от режима правки и режима шлифования. Проблема затупления шлифовального круга исследовалась изолированно от проблемы управления рабочим циклом шлифования. В результате проведенных экспериментальных исследований, однако, не были получены математические модели, достаточно полно отражающие процесс затупления. Как правило, применяется модель:

$$K_p = K_{pc}(\beta + \lambda \cdot \tau) / (\beta + \tau), \quad (1)$$

где K_p – коэффициент режущей способности шлифовального круга; K_{pc} – коэффициент режущей способности шлифовального круга после правки; β – параметр, характеризующий темп затупления режущих кромок абразивных зёрен и имеющий смысл времени, за которое K_p принимает своё среднее значение;

λ – эмпирический коэффициент; τ – время шлифования после правки.

Коэффициент λ вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{\gamma_m \cdot P_y}{P_{yc} + P_y}.$$

Здесь γ_m – параметр, зависящий от режима правки круга; P_y – радиальная сила; P_{yc} – критическое значение радиальной силы, при котором круг переходит в режим полного самозатачивания.

Затупление шлифовального круга можно автоматически учесть и компенсировать только в системах адаптивного управления, за счет соответствующей обработки сигналов, поступающих в вычислительное устройство по каналам обратной связи.

Практические результаты теоретических и экспериментальных работ по проблемам управления рабочим циклом шлифования реализованы в изобретениях. Все отобранные авторские свидетельства можно классифицировать:

- 1) относящиеся к проблеме управления рабочим циклом шлифования (37,5 %);
- 2) относящиеся к отдельным вопросам, связанным с проблемой управления рабочим циклом (62,5 %).

Из первых к способам управления рабочим циклом круглого шлифования относятся 75 % авторских свидетельств, плоского – 2,3 %, к обоим способам одновременно относятся – 16,7 %. В 8 % свидетельств кроме способа предлагаются еще и устройства для управления рабочим циклом, а также новые устройства для реализации известного алгоритма управления.

Варианты рабочих циклов применяемых в авторских свидетельствах можно разбить на две группы:

- 1) управление в зависимости от припуска, который осталось удалить (83,3 %);
- 2) управление во времени (16,7 %).

Представлены практически все варианты ступенчатых алгоритмов управления с непрерывной и дискретной подачей в функции припуска (рис. 1).

№ опыта	S ₁	S ₂	S ₃
1	> 0	> 0	> 0
2	> 0	> 0	–0
3	> 0	–0	> 0

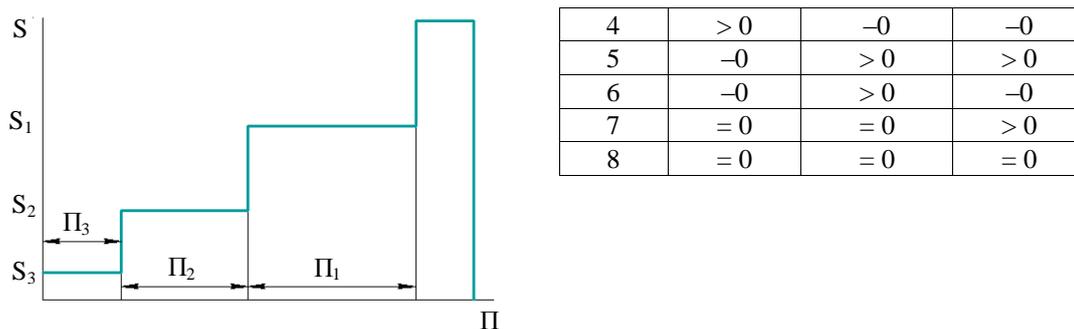


Рис. 1. Варианты ступенчатых алгоритмов управления подачей S в зависимости от оставшегося припуска П

Варианты 3 и 7 распадаются на два подварианта. В первом случае сразу после первого этапа осуществляется переключение на третий и $\Pi_3 = 0$. Во втором случае – на втором этапе осуществляется промежуточное выхаживание и $\Pi_2 > 0$.

Рекомендуется использовать алгоритмы управления с несколькими ступенями на чистовом этапе и несколькими импульсными подачами на этапе выхаживания, а также с отскоком равным части натяга перед этапом выхаживания (рис. 2). Кроме того, предлагаются алгоритмы управления, которые содержат специальные этапы получения информации о показателях свойств технологической системы (коэффициент режущей способности, постоянная времени). Обычно это некоторая часть чистового этапа, выполняемая с нулевой подачей (рис. 3).

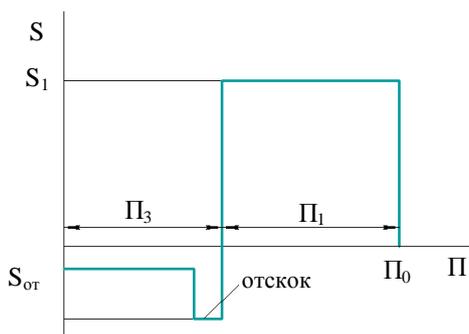


Рис. 2. Алгоритм управления с отскоком

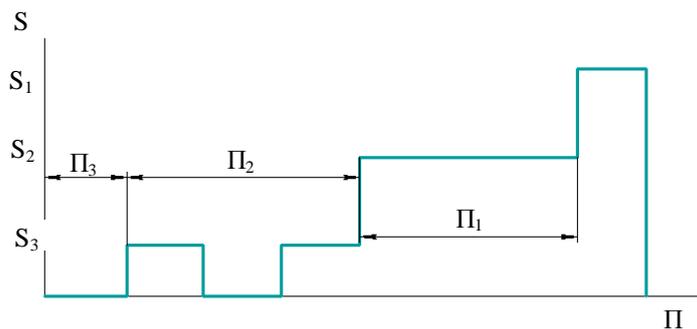


Рис. 3. Алгоритм управления с этапом испытания

При управлении рабочим циклом во времени Витебское специализированное конструкторское бюро ЗШ и ЗС рекомендовало часть припуска (на чистовом или отделочном этапе) удалять с переменной подачей (уменьшающейся по закону экспоненты). Такие алгоритмы управления показаны на рисунках 4 и 5.

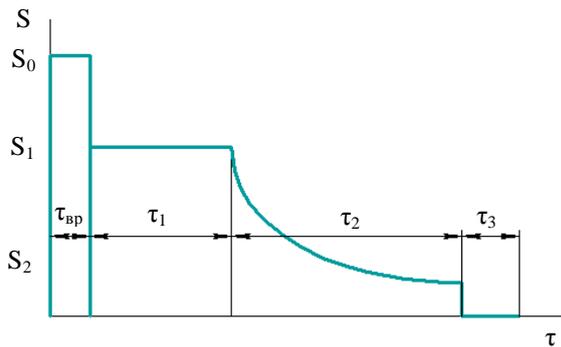


Рис. 4. Алгоритм управления с подачей, изменяющейся по закону экспоненты

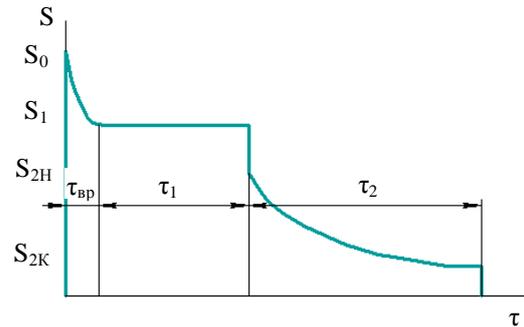


Рис. 5. Алгоритм управления с подачами S_B и S_2 , изменяющимися по закону экспоненты

Каждый из предлагаемых в авторских свидетельствах алгоритмов управления пригоден и эффективен в определенных условиях, которые в большинстве случаев не обозначены в описании изобретений. Кроме того, не указан эффект от применения предлагаемого алгоритма управления и дополнительные затраты на его реализацию. Но самое главное это то, что в большинстве случаев не учитывается наличие теплового ограничения и не обосновывается причина его незначимости, а значит, невозможность получения шлифуемой поверхности без прижогов и с заданными показателями качества.

В рассмотренных авторских свидетельствах первой группы используются семь вариантов информации, которая передается из зоны обработки по каналам обратной связи. Самым распространенным является измерение только оставшегося припуска L (54,17 %). Припуск измеряется также в сочетании с радиальной силой, перемещением бабки шлифовального круга или активной мощностью шлифования. В других случаях предлагается разомкнутое управление (без обратной связи).

Вычислительные устройства, описанные в авторских свидетельствах, определяют скорость съема припуска, постоянную времени, жесткость и другие показатели технологической системы для определения параметров управления. Для определения жесткости измеряют разность между перемещением бабки шлифовального круга и припуском, а в таких операциях погрешности измерения существенно влияют на результат (в противоположность суммированию или интегрированию). Почти все рассмотренные методы обработки входной информации пригодны только для круглого шлифования. В некоторых случаях принятые допущения не адекватны.

Моделирование процесса плоского врезного шлифования. Разработано программное обеспечение, которое реализует моделирование процесса управления рабочим циклом с учетом затупления и позволяет выяснить эффективность такого управления, выбирать оптимальный по производительности период стойкости шлифовального круга [10].

В качестве характеристики эффективности управления принято условное среднее значение числа проходов i_{yc} рабочего цикла с учетом затрат вспомогательного времени (на установку и снятие заготовок) и на правку шлифовального круга, которое можно определить из следующего выражения:

$$i_{yc} = \left(\sum_{j=1}^N i_{sj} + k_{np} i_{sj} \right) / N + k_g i_{sj}, \quad (2)$$

где N – число заготовок, отшлифованных между правками; i_{sj} – число проходов для j -го цикла; k_g и k_{np} – коэффициенты, отражающие отношение вспомогательного времени и времени правки к времени, затраченному на шлифование первой (после правки шлифовального круга) детали.

Имитационное моделирование процесса управления с учетом затупления шлифовального круга показало, что по мере затупления величины врезной подачи на каждом этапе рабочего цикла i_{sj} имеют тенденцию к уменьшению. Но зависимость не является «гладкой», а обычно состоит из участков уменьшения и увеличения. При значительном затуплении величины подачи второго и третьего этапов рабочего цикла не изменяются.

Результаты исследований. Были проведены исследования влияния величины затупления шлифовального круга, числа рабочих циклов и обработанных заготовок на число проходов круга.

На рисунке 6 показан типовой график, отражающий влияние затупления шлифовального круга на требуемое суммарное число проходов i , оптимального ступенчатого рабочего цикла. Изменение всех ха-

рактических характеристик процесса затупления, кроме i_{sj} (параметр, характеризующий скорость затупления), слабо влияет на характер и интенсивность изменения i_s . Характер влияния i_{sj} на i_s показан на рисунке 7.

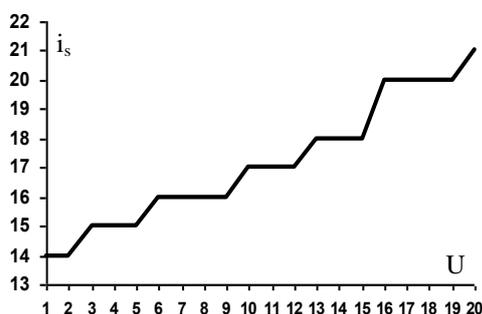


Рис. 6. Зависимость числа проходов i_s от величины затупления шлифовального круга U

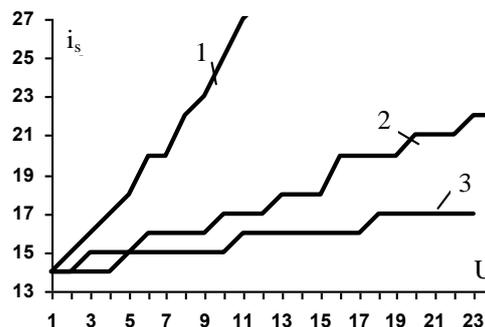


Рис. 7. Зависимость числа проходов i_s от величины затупления шлифовального круга U :
1 - $i_{sj} = 250$; 2 - $i_{sj} = 1000$; 3 - $i_{sj} = 1750$

На рисунке 8 показана типовая зависимость характеристики эффективности управления рабочим циклом в условиях затупления шлифовального круга от числа U заготовок, прошлифованных между правками. На графике виден явно выраженный минимум i_{yc} , соответствующий оптимальному числу U_s заготовок, которое должно быть прошлифовано между правками шлифовального круга. Вблизи U_s значения i_{yc} изменяются незначительно. Имитационным моделированием установлено, что в широком диапазоне изменения показателей процесса затупления значения i_{yc} изменяются также незначительно. Максимальное отклонение i_{yc} от среднего составляет не более 7,4 %. Некоторое влияние на U_s оказывают показатели i_{sj} и k_{np} , увеличение которых ведет к монотонному увеличению U_s .

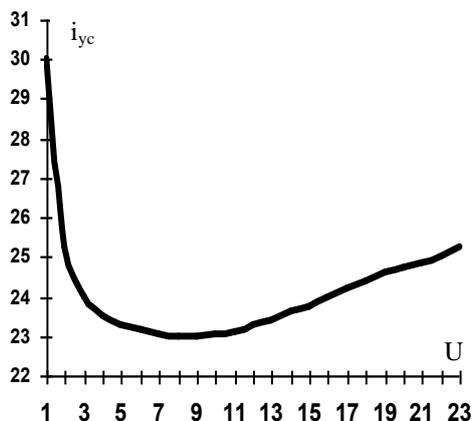


Рис. 8. Зависимость числа проходов круга i_{yc} от числа обработанных заготовок U

Заключение. Адаптивное управление по параметру режущей способности круга позволяет получить значительный эффект как в производительности шлифования, так и в экономии ресурсов (электроэнергии, абразивного и правящего инструмента).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье, Г.Б. Прогрессивные методы круглого шлифования / Г.Б. Лурье. – Л.: «Машиностроение», 1967. – 150 с.
2. Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. – М.: «Машиностроение», 1975. – 252 с.
3. Лурье, Г.Б. Оптимизация цикла шлифования на основе адаптивного управления / Г.Б. Лурье // Машиностроитель. – 1979. – № 3. – С. 12 – 14.
4. Тверской, М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках / М.М. Тверской. – М.: «Машиностроение», 1982. – 204 с.

5. Новиков, В.Ю. Адаптивное управление шлифованием с шаговой подачей / В.Ю. Новиков // Станки и инструмент. – 1984. – № 4. – С. 23 – 24.
6. Ратмиров, В.А. Адаптивно-программные системы управления шлифовальными станками от микроЭВМ / В.А. Ратмиров, А.С. Чубуков. – М.: «Машиностроение», 1982. – 43 с.
7. Тимирязев, В.А. Применение адаптивных систем на станках с программным управлением. Обзор / В.А. Тимирязев. – М.: НИИмаш, 1974. – 123 с.
8. Ратмиров, В.А. Состояние и тенденции развития систем ЧПУ шлифовальными станками. Обзор / В.А. Ратмиров, А.С. Чубуков. – М.: НИИмаш, 1979. – 84 с.
9. Тверской, М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках / М.М. Тверской. – М.: «Машиностроение», 1982. – 204 с.
10. Ящерицын, П.И. Влияние затупления на изменение параметров ограничений производительности плоского врезного шлифования / П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский // Весці акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1997. – № 3. – С. 31 – 36.

Поступила 14.01.2010

ADAPTIVE MANAGEMENT AT FLAT INFEEED GRINDING

N. POPOK, J. MAKHARINSKI

Researches in the field of management of grinding process are analyzed. The model of process and the software of management by a running cycle at flat infeed grinding with the account of the tool dulling are offered. The analysis of dulling a grinding circle depending on number of passes of the tool and quantity of the processed details is presented. Recommendations about adaptive management of cutting ability of the circle, providing increase of productivity of grinding and economy of resources are given (the electric power, the abrasive and ruling tool).