

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ШЛИФОВАНИЯ

П.П. Переверзев

MODELLING OF TECHNOLOGICAL RESTRICTIONS BY OPTIMIZATION OF AUTOMATIC CYCLES OF GRINDING

P.P. Pereverzev

Приведена методика моделирования ограничений по осыпаемости шлифовального круга и количеству ступеней переключения программной скорости подачи при оптимизации автоматических циклов круглого шлифования методом динамического программирования.

Ключевые слова: автоматический цикл, круглое шлифование, управляющая программа, оптимизация, динамическое программирование, моделирование, технологические ограничения.

The technique of modeling of restrictions on durability of a grinding circle and quantity of steps of switching of program speed of giving is resulted by optimization of automatic cycles round grindings by a method of dynamic programming.

Keywords: automatic cycle, the round grinding, the operating program, optimization, dynamic programming, modeling, technological restrictions.

Несмотря на широкое распространение операций, выполняемых на станках с автоматическим циклом управления, задача оптимизации управляющих параметров цикла не поддавалась решению по следующим основным причинам:

1. Для большинства методов оптимизации режимов резания требовалось, чтобы области ограничений были заранее известны. Но для некоторых важнейших технологических ограничений невозможно заранее построить границу области допустимых значений фактической или программной скорости подачи. К таким ограничениям относятся, например, ограничения по точности обработки и шероховатости поверхности, так как эти ограничения заданы для готовой поверхности детали, получаемой в конце цикла. Проблема заключается в том, что эти ограничения заданы только для конца цикла, поэтому их невозможно рассчитать на протяжении всего цикла обработки.

2. Для многих методов оптимизации нужно, чтобы модели целевой функции, управления и ограничений дифференцировались, описывались непрерывной функцией, имеющей достаточно простой вид, и имели явное решение. К сожалению, эти требования невозможно выдержать при оптимизации режимов резания, так как управление циклом производится путем ступенчатого изменения программной скорости подачи, что лишает модель управления свойств дифференцируемости и возможности описать ее непрерывной функцией. Кроме того, модели управления и ограничений имеют сложную функциональную взаимосвязь с фактическими скоростями подачи и силой резания и в подавляющем количестве случаев решаются только численными методами.

Метод динамического программирования не чувствителен к этим требованиям и наилучшим образом подходит для решения задачи оптимизации циклов управляющих программ. Рассмотрим методику оптимизации цикла на примере операции круглого врезного шлифования.

В процессе оптимизации цикла шлифования нахождение минимума целевой функции производится с учетом различных ограничений, связанных с точностью, шероховатостью и твердостью обрабатываемой поверхности детали, исходной точностью заготовки, колебанием припуска, эксплуатационными свойствами шлифовального круга, конструктивными параметрами станка и максимальным количеством ступеней цикла, допустимых конструкцией прибора активного контроля (ПАК). Из всех технологических ограничений ограничения по осыпаемости круга и по

количеству допустимых ступеней цикла представляют повышенную трудность и изучены меньше, чем другие ограничения.

При моделировании ограничения по осыпаемости круга предполагается, что требуется ограничить силовую нагрузку на круг до такого уровня, при котором зерна круга работают в режиме затупления с образованием площадки затупления, т. е. без вырывания зерен из связки или разрушения зерен, что характерно для работы круга в режиме самозатачивания. В этом случае необходимо знать величину допустимой силы резания $[P]$, при которой круг работает в режиме затупления и которую нельзя превышать на протяжении всего цикла шлифования заготовки. Причем $[P]$ должна быть меньше критической силы $P_{кр}$, при которой начинается самозатачивание круга, т. е. $[P] < P_{кр}$. По рекомендациям ряда исследователей критическая сила разрушения связки и зерен $P_{кр}$ измеряется в направлении радиальной составляющей силы резания.

Согласно данным Г.Б. Лурье [1], при величине радиальной составляющей силы резания примерно равной $0,3 P_{кр}$ происходит переход от работы круга с преобладающим затуплением к смешанному процессу – затуплению зерен и частичному самозатачиванию круга. Поэтому, с небольшим запасом, ограничение силы резания по осыпаемости круга запишем в виде $P_y \leq [P] = 0,25 P_{кр}$, где P_y – текущее значение радиальной составляющей силы резания в течение цикла шлифования.

В связи с тем, что самозатачивание круга происходит в виде двух процессов: вырывание зерен из связки и разрушение зерен, то $P_{кр}$, соответственно, зависит от сил, необходимых для совершения этих процессов.

Для расчета прочности мостиков связки и зерен круга применим методику К. Умино [2], по которой критическая сила разрушения зерна и мостика связки рассчитывается в соответствии с теорией хрупкого разрушения. В соответствии с этой методикой, при воздействии внешней силы на данную модель круга, рассматриваются два случая: когда связка прочнее зерен и когда зерна прочнее связки.

Средняя критическая сила, при которой происходит разрушение зерна или связки, рассчитывается по методу Гриффита [2] по следующим формулам:

$$f_3 = S_3 \sigma_3, \quad f_c = S_c \sigma_c$$

при $\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\gamma_3 E_3}{d_3}}, \quad \sigma_c = \sqrt{\frac{2\gamma_c E_c}{d_c}},$

где f_3, f_c – критическая сила разрушения зерна и связки; S_3, S_c – площадь поперечного сечения зерна и площадь поперечного сечения мостика связки; σ_3, σ_c – среднее критическое напряжение в толще зерна и среднее критическое напряжение в толще мостика связки; γ_3, γ_c – поверхностная энергия материала зерен и связки; E_3, E_c – модуль упругости материала зерен и связки.

Учитывая, что абразивный круг представляет собой композитное вещество, состоящее из материала зерен и связки, то суммарная критическая сила $f_{кр} = f(f_3, f_c)$ на зерне, при которой происходит самозатачивание круга, зависит как от прочности связки, так и от прочности зерен.

Учет в функции $f_{кр}$ совместного влияния f_3 и f_c заключается в том, что строится область граничных значений этих сил в зависимости от объемного содержания связки W_c в круге. Критическая сила f_3 не зависит от W_c и поэтому изображена на графике горизонтальной прямой. Критическая сила f_c прямо пропорциональна W_c и поэтому выходит из начала координат в виде прямолинейной зависимости. Эти две зависимости определяют область граничных значений суммарной критической силы $f_{кр}$ самозатачивания круга для обоих случаев осыпания круга. Расположение линий f_3 и f_c зависит от прочности материала и связки. Полученная область граничных значений аппроксимируется экспоненциальной зависимостью силы $f_{кр}$ самозатачивания в следующем виде:

$$f_{кр} = f_3(1 - \exp(-f_c / f_3)),$$

который представлен на рис. 1.

В таком виде формула $f_{кр}$, обладая свойствами непрерывной функции, позволяет производить расчет критической силы самозатачивания одновременно для двух случаев осыпания (разрушения) круга:

1. Прочность связки меньше прочности зерен. Осыпание круга происходит в результате вырывания зерен из связки.

2. Связка прочнее зерен. Происходит разрушение зерен круга и зона разрушения переходит от границ зерен к самим зернам.

Рассмотрим модель ограничения по допустимому количеству ступеней цикла в координатах $S_{Пм} - П_n$ (программная скорость подачи – припуск) (рис. 2), используемую для управления циклом обработки. Прибор активного контроля имеет ограниченное количество ступеней переключения программной скорости подачи. Если не учитывать ограничения по количеству ступеней цикла, то оптимальная траектория может содержать любое количество ступеней, ограниченное только числом узлов координатной сетки, на которых возможно переключение. Согласно принципам метода динамического программирования, состояние процесса определяется координатами $[n, m, z]$. В узлах координатной сетки помещена клетка с количеством строк, равным максимально возможному количеству ступеней цикла Z_{max} , и в каждой строке клетки записано значение Z . В строках каждой клетки записывается также запомненное значение уровня программной скорости подачи, откуда произведен оптимальный ход, обозначенный в виде $m^*(n, m, z)$. Ограничение по допустимому диапазону изменения ступеней цикла запишем в следующем виде:

$$1 \leq Z \leq Z_{max},$$

где Z_{max} – максимально допустимое конструкцией ПАК количество ступеней цикла (обычно в диапазоне от 2 до 5).



Рис. 1. Графики критических сил разрушения круга, зерен и связки в зависимости от содержания связки в круге

Время достижения промежуточного состояния цикла на каждом пересечении координатной сетки обозначим в виде Tn, m, z . В процессе оптимизации производится множество переходов из предыдущего $(n - 1, m, z)$ -го уровня припуска при m -й программной скорости подачи в n -й уровень припуска, путем моделирования съема этой дискреты припуска. После каждого хода производится проверка его по всем ограничениям целевой функции. Из всех возможных ходов выбираются только допустимые по ограничениям целевой функции ходы, в том числе и ограничению по количеству допустимых ступеней цикла (или по количеству допустимых переключений программных скоростей подач). Из массива допустимых ходов выбирается только один оптимальный ход для каждой ступени Z , удовлетворяющий принципу оптимальности. Для каждой ступени цикла при всех состояниях $[n, m, z]$ запоминаются оптимальные ходы.

Нахождение оптимальной траектории цикла производится с помощью процедуры обратного хода (см. рис. 2), на котором показаны траектории управляющих программ для одноступенчатого, двухступенчатого и трехступенчатого цикла.

Выводы

1. Разработана модель технологического ограничения по осыпаемости шлифовального круга, учитывающая параметры конструкции круга и прочностные характеристики зерен и связки круга.

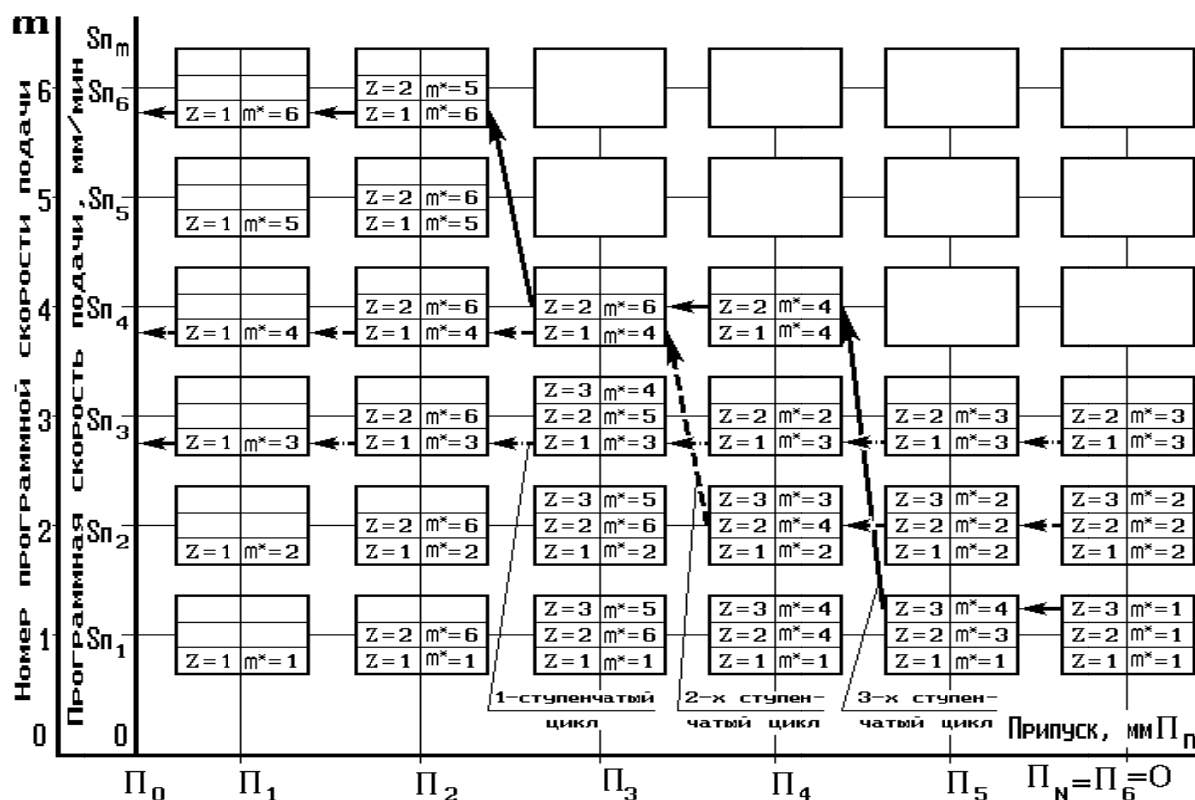


Рис. 2. Координатная сетка для оптимизации цикла круглого врезного шлифования методом динамического программирования при учете ограничения по допустимому количеству переключений программной скорости подачи и схема обратного хода

2. Впервые разработана модель ограничения по количеству ступеней цикла, которая может применяться при оптимизации ступенчатого цикла управляющей программы на координатной сетке, независимо от шага ее разбиения.

Литература

1. Лурье, Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 192 с.
2. Умино, К. Критическое давление при износе шлифовальных кругов. Сообщение 2: Изучение износа и работоспособности шлифовальных кругов: пер. с яп. / К. Умино; Всесоюз. центр переводов науч.-техн. лит. и документации. Пер. № А-54285. – М., 1978. – 21 с.

Поступила в редакцию 5 марта 2012 г.

Переверзев Павел Петрович. Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – моделирование и оптимизация операций механической обработки. E-mail: dtnppp@yandex.ru

Pavel P. Pereverzev. Doctor of science (engineering), an associate professor, professor of Engineering techniques department, South Ural state university. The area of scientific interests – modeling and optimization of operations of machining. E-mail: dtnppp@yandex.ru