

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз (НТУ Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев)

The method of calculation of firmness of throw-away plates of tools is offered at lathe machining on machine-tools with CNC, when an optimum control will be realized, as a result the cutting mode changes constantly. The algorithm of calculation which can be utilized in the CAM-system at technological preparation of lathe machining for machine-tools with CNC is presented.

Актуальность. Стойкость режущего инструмента является важнейшей характеристикой процесса резания и определяет одно из ограничений области допустимых значений при классической постановке задачи оптимизации [1,2]. Стойкость существенно зависит от режима резания и при назначении ее величины априори считается, что инструмент будет работать заданное время при постоянном, расчетном режиме резания. В то же время, при токарной обработке на станках с ЧПУ оптимальный режим резания является квазистационарным, поскольку глубина резания зависит от траектории формообразования и постоянно изменяется, что предопределяет разные положения ограничений на фазовой плоскости «частота вращения шпинделя – подача» [3]. Поэтому нет никакого основания считать, что фактическая стойкость режущего инструмента будет соответствовать заданной. Однако без знания фактической величины стойкости инструмента практически невозможно верно спроектировать технологический процесс обработки. Таким образом, расчет и прогнозирование фактической стойкости инструмента при оптимальном управлении процессом резания является актуальной задачей.

Постановка задачи. Стойкость резцов определяется по так называемым кривым износа, отображающим зависимость «износ задней поверхности – время работы» для принятого критерия допустимого износа. Кривые износа определяются экспериментально в зависимости от режима резания для каждого определенного сочетания материала инструмента и заготовки. На рис.1 приведена кривая износа [4], построенная при обработке чугуна СЧ25 трехгранной пластиной из ВК6 с главным углом в плане 90^0 при следующих режимах резания: скорость резания 60 м/с, глубина резания 2мм, подача 0,32 мм/об.

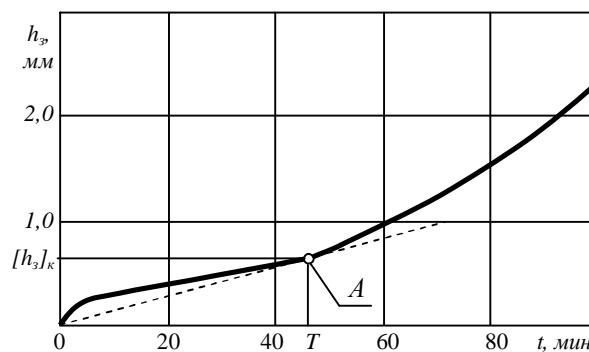


Рис.1. Характерная кривая износа инструмента

На кривой износа могут быть выделены характерные точки, например, точка *A* перегиба, после которой наступает период критического, ускоренного износа резца.

Период стойкости инструмента определяется как время T работы резца до наступления критического износа $[h_3]_k$, измеряемого по задней поверхности. Изменение любого параметра токарной обработки соответственно влечет за собой изменение кривой износа резца, что существенно затрудняет расчет фактического износа при квазистационарных режимах резания. Для облегчения задачи можно линеаризовать зависимость на участке нормального износа, заменив кривую износа касательной к ней в точке A прямой (см. пунктирную линию на рис.1).

При использовании созданной САМ-системы с модулем оптимизации [5] проектирование управляющей программы выполняется в процессе моделирования токарной обработки на ПЭВМ. На предварительном этапе моделирования рассчитывается оптимальная глубина резания на черновых проходах. Оптимизация выполняется по критерию максимума скорости удаления припуска. После выполняется расчет необходимого количества проходов и формируются траектории движения инструмента. Срезание чернового припуска предусмотрено движениями по эквидистантам к контуру детали.

Формирование управляющей программы, включая координаты формообразующей траектории, частоту вращения шпинделя детали и подачу выполняется автоматически в процессе моделирования. Таким образом, в САМ-системе на каждом шаге моделирования имеются все параметры режима резания, которые могут быть использованы для расчета износа резца и прогнозирования его фактической стойкости.

Методика решения. Для решения проблемы расчета фактического износа резца при переменном режиме резания предложен следующий подход, который проиллюстрирован на рис.2. На рис.2 пунктирной линией обозначен допустимый по техническим условиям износ $[h_3]_d$ резца, измеряемый по задней поверхности. В таком случае его стойкость составляет T_1 минут, при неизменном режиме резания.

Предположим, что инструмент работает при таком постоянном режиме резания, который определяет линеаризованную зависимость износа и стойкость T_1 (линия 2 на рис.2), в течение времени от 0 до t_1 . Тогда его износ за этот период времени будет соответствовать величине $(h_3)_1$. В момент времени t_1 произошло изменение режима резания и соответственно линеаризованной зависимости кривой износа (линия 3 на рис.2). Такому режиму резания соответствует уже период стойкости T_1 . Следовательно, дальнейший износ резца будет происходить по линии 3, начиная с уже полученного износа при работе на предыдущем режиме резания. При работе с новым режимом резания в течение времени $t_2 - t_3$ резец продолжает изнашиваться и износился до величины $(h_3)_2$. В момент времени t_3 вновь произошло изменение режима резания и износ а также стойкость определяются уже линией 1 и т.д.

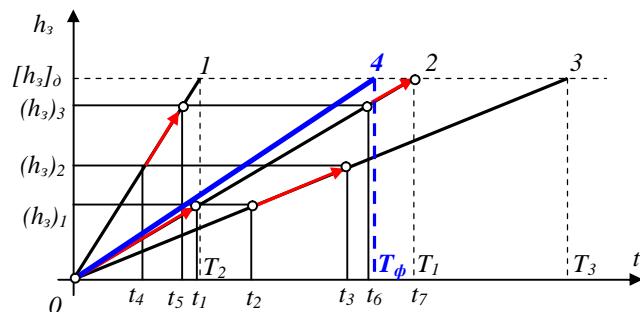


Рис.2. К расчету фактического износа при переменном режиме резания

Таким образом, процесс продолжается до наступления фактического износа резца, который соответствует допустимому $[h_3]_d$. В результате фактическая стойкость резца определяется как сумма интервалов времени работы при разных режимах резания:

$$T_\phi = \sum_{i=1}^n (t_i - t_{i-1}), \quad (1)$$

где t_i – моменты времени изменения режима резания, n – количество изменений за период работы резца до наступления допустимого износа.

Для данного примера оказалось, что период стойкости соответствует T_ϕ минут, что не соответствует периоду стойкости резца ни при каком из трех использованных режимах резания (см.рис.2). Этот факт еще раз доказывает невозможность традиционного подхода к решению поставленной проблемы при оптимальном управлении режимом резания на токарном станке с ЧПУ. В то же время, проиллюстрированный подход и зависимость (1) позволяют решить проблему в рамках созданного модуля оптимизации процесса токарной обработки.

Оптимальные параметры режима резания (частота вращения шпинделя и подача) определяются на этапе моделирования процесса для фактической глубины резания при решении задачи нелинейного программирования по разработанной методике [5]. Далее, на каждом i -ом шаге моделирования по оптимальному значению частоты $(n_o)_i$ вращения шпинделя рассчитывается величина скорости резания:

$$V_i = \frac{\pi D_i (n_o)_i}{1000}, \quad (2)$$

где D_i – текущий диаметр обработки.

Затем, для параметров и условий обработки, соответствующих текущему шагу моделирования, рассчитывается стойкость инструмента:

$$T_i = \left[\frac{C_v k_v}{V_i H_i^{x_v} (S_o)_i^{y_v}} \right]^{\frac{1}{m}}, \quad (3)$$

где C_v , k_v , x_v , y_v , m – коэффициенты и показатели степени, соответствующие текущим условиям обработки, H_i – текущая глубина резания, $(S_o)_i$ – оптимальная подача на текущем шаге моделирования.

Поскольку оптимальные параметры процесса резания, а также глубина резания постоянно изменяются, зависимость (3) определяет семейство линий износа, соответствующих различным значениям периода стойкости инструмента. Коэффициент наклона линеаризованных зависимостей кривых износа в этом случае может быть рассчитан по формуле:

$$(k_T)_i = [h_3]_d / T_i, \quad (4)$$

где $[h_3]_d$ – допустимый износ резца по задней поверхности.

Следовательно, прогнозируемый износ резца за один шаг δ моделирования:

$$(\delta h_3)_i = \frac{(k_T)_i \delta}{(S_o)_i (n_o)_i}, \quad (5)$$

Общий износ резца определяется как сумма рассчитанных по зависимости (5) элементарных износов резца.

Предложенный подход реализован в модуле оптимизации САМ-системы как процедура, алгоритм которой представлен на рис.3. В процессе моделирования на каждом шаге определяется фактическая глубина резания и решается задача оптимизации. Полученные значения оптимальных параметров режима резания (частота $(n_o)_i$ вращения шпинделя и подача $(S_o)_i$) используются для дальнейших вычислений. В случае превы-

шения износа резца допустимого значения, соответствующее сообщение выводится на экран монитора. При моделировании обработки новой детали износ инструмента при моделировании обработки предыдущей детали не учитывается и вновь рассчитывается как для неизношенного резца.

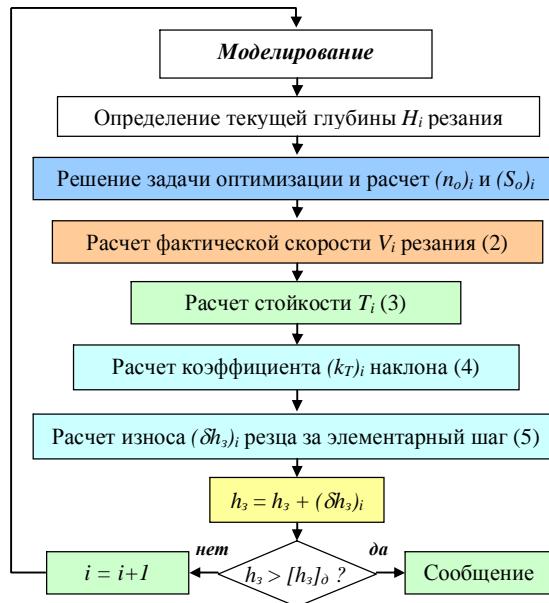


Рис.3. Блок-схема алгоритма процедуры определения износа инструмента

Практическое использование. Разработанный метод реализован в модуле оптимизации САМ-системы токарной обработки ступенчатых валов. Модуль оптимизации САМ-системы подготовки управляющей программы для обработки ступенчатых валов после задания геометрических размеров детали и заготовки предполагает введение технологических параметров. Интерфейс ввода технологических параметров (рис.4, а) предусматривает, кроме задания стойкости, задание допустимого износа резца по задней поверхности.

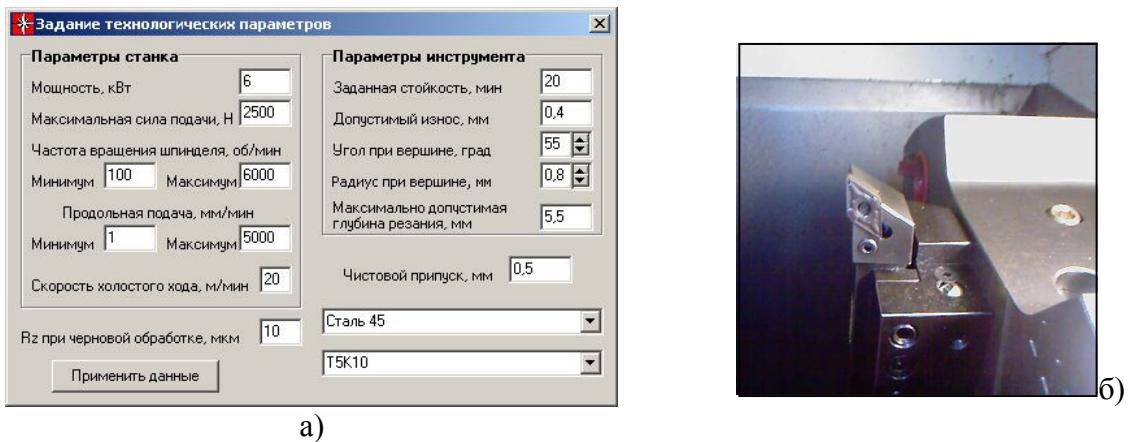


Рис.4. Интерфейс ввода технологических параметров (а) и резец на станке SL10 (б)

Кроме того, в условия задачи оптимизации введено дополнительное ограничение – максимально допустимая глубина резания по используемой пластине резца. Такая

информация всегда имеется в технических условиях фирмы-изготовителя. Углы в плане (угол при вершине) и радиус округления соответствуют геометрии пластины, используемой в эксперименте на токарном станке SL10 фирмы HAAS (рис.4, б).

Во время моделирования выполняется анимация процесса обработки в специальном графическом окне (рис.5), где представлены деталь 1 в стадии обработки, инструмент 2, траектории 3 черновых проходов и траектории 4 чистового прохода. Причем во время такого моделирования создается промежуточный файл управления. Этот файл содержит сведения по геометрической траектории на черновых проходах и на чистовом (финишном) проходе, а также данные параметров режима резания: частоту вращения шпинделя детали и подачу. Отметим, что на каждом шаге моделирования согласно разработанному алгоритму [5], автоматически определяются оптимальные составляющие режима резания.

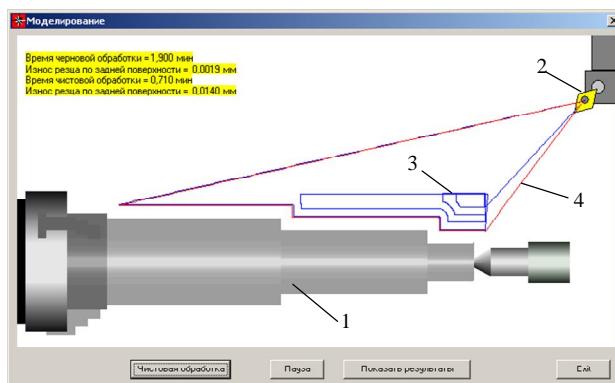


Рис.5. Интерфейс моделирования

Результат работы подключенной процедуры определения износа инструмента выводится в графическом окне моделирования после завершения моделирования каждого перехода обработки. Причем износ инструмента после завершения каждого перехода рассчитывается только для этого перехода, т.е. не суммируется. Для заданных условий эксперимента полученные данные (см.рис.5) свидетельствуют, что стойкость чернового резца составляет $0,4/0,0019 = 210$ деталей, тогда как стойкость чистового резца гораздо ниже: $0,4/0,014 = 28$ деталей. Не смотря на это, расчеты показывают, что заданная стойкость чистового резца по времени работы выдержана $28 \times 0,71 \text{мин} = 20 \text{ мин}$. Отсюда можно сделать вывод, что при решении задачи оптимизации для чернового перехода основными активными ограничениями оказались силовые и энергетические (по силе и мощности), а для чистового перехода – по стойкости.

По спроектированной в автоматическом режиме программе в G-кодах был проведен эксперимент на станке SL10 фирмы HAAS (рис.6).



Рис.6. Обработанная деталь на станке SL10 (HAAS)

Результаты эксперимента прежде всего подтвердили адекватность работы созданного программного обеспечения в части геометрического формообразования траекторий как на черновых так и на чистовом проходах. Размеры обработанных деталей полностью соответствуют требованиям чертежа. При обработке деталей, наблюдение за данными, которые афишируются на стойке ЧПУ станка можно также сделать вывод о выполнении заданных в программе управлений по частоте вращения шпинделя и подаче. Кроме того, проведенные замеры износа пластины за время обработки партии деталей из 5 штук подтверждают установленную при моделировании тенденцию износа по задней поверхности.

Выводы. Проведенные исследования и анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

- 1) При обработке деталей на станке с ЧПУ с оптимальным регулированием режима резания понятие стойкости как времени работы резца до допустимого износа по задней поверхности теряет смысл, поскольку в течение обработки режим резания не остается постоянным.
- 2) Определять фактическую стойкость резца необходимо по разработанному алгоритму и соответствующей процедуре, которые построены по принципу интегрирования текущих износов резца на каждом шаге моделирования с учетом фактических текущих режимов резания.
- 3) Разработанное программное обеспечение прошло практическую апробацию, где подтвердило заложенные функции и может быть рекомендовано к практическому применению при технологической подготовке производства ступенчатых валов на токарных станках с ЧПУ.

Список литературы: 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с. 2. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985.-304с. 3. Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз Оптимизация токарной обработки / Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. К.:2008. -№54. С.24-30. 4. Петрушин С.И., Грубый С.В. Обработка чугунов и сталей сборными резцами со сменными многогранными пластиналами. – Томск: Изд.ТПУ, 2000.-156с. 5. Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз Модуль оптимизации токарной обработки ступенчатих валов на станках с ЧПУ / Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. Вип.34. – Донецьк: ДонНТУ, 2008.-С.154-162.

Надійшла до редколегії 24.04.2009 р.

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз

Стаття присвячена вирішенню проблеми розрахунку фактичного зносу різця при змінному режимі різання з використанням САМ-системи токарної обробки ступінчатих валів.

режим резания, стойкость инструмента, токарная обработка, программное обеспечение