УДК 621.01(06)

ОПТИМИЗАЦИЯ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВАЛКОВ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Лещенко А.И. (*ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)*
Факс: +38 (0629) 529924; E-mail: Leshenko_o_i@pstu.edu

Аннотация. *Предлагается, на основе экспериментальных данных, математический алгоритм оптимизации режимов обработки, подачи и скорости резания, при заданном предельном значении размерного износа. Разработана обобщенная методика расчета, позволяющая связать режимы резания с точностью обработки высокопрочного чугуна минералокерамическими пластинами.*

Ключевые слова: *валки прокатных станов, точность обработки, оптимизация.*

1. Введение

Все существующие методы определения обрабатываемости материалов и получение стойкостных зависимостей, основаны на исследованиях закономерностей износа инструментов, в ходе которых определен ряд параметров характеризующих износ – линейный износ, ширина фаски по задней поверхности, размер лунки на передней и др.

Однако наиболее важным элементом износа инструмента остается радиальный или размерный износ, величина которого измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности и поэтому непосредственно влияет на точность изготовления деталей. Кроме этого, цикл работы технологической системы без подналадки, зависит от времени прохода пути резания, при котором радиальный износ инструмента не превысит пределов, обусловленных шириной поля допуска на полученные размеры.

Вопросы оптимизации режимов резания рассматривались многими авторами. Нашли применение коэффициенты и показатели степени в параметрических уравнениях максимальной размерной стойкости [1], а также методы последовательного анализа режимных параметров в стойкостных зависимостях [3] [5]. Вместе с тем, предлагаемые алгоритмы оптимизации, в большей степени соответствуют анализу функций одной переменной, при этом не полной мере учитывается конкретные условия технологии обработки и вероятностный характер экспериментальных данных.

2. Основное содержание и результаты работы

В данной работе рассматривается задача: при заданной длине пути резания построить целевую функцию $H_r(V, S)$ оптимизации, представляющую собой однозначную зависимость между критерием оптимизации - предельной величиной радиального износа h_{rLim} и подлежащими оптимизации режимами резания - скоростью резания V и подачей S. Глубина резания, в процессе получения экспериментальных данных остается постоянной т. к. при чистовой обработке и достаточно жесткой технологической системе, незначительно влияет на износ инструмента [1].

Целью оптимизации является повышение точности обработки и увеличение временных интервалов между операциями подналадки.

Если при дискретном изменении скорости резания $V_1 < V < V_n$ и подачи $S_1 < S < S_n$, в фиксированных точках определять значение радиального h_r^n износа, то целевую функцию $H_r(V, S)$ можно интерполировать как двухмерную полиномиальную зависимость, графическое представление которой - поверхность, с узловыми точками $((S_1,V_1,h_r^1)\ (S_2,V_2,h_r^2)..............(S_n,V_n,h_r^n))$.

Если существует область, где функция $H_r(V, S)$ определена и непрерывна то согласно теоремы Вейерштрасса [5] она имеет в этой области точную верхнюю и нижнюю границы. Другими словами, при выполнении условий теоремы всегда существует точка $M(V_0, S_0)$ для которой выполняется условие - $H_r(V_0, S_0)<H_r(V_n, S_n)$ для всех точек (V_n, S_n) достаточно близких к точке $M(V_0, S_0)$ и отличных от нее.

На первом этапе решения поставленной задачи, по точкам минимального износа, полученным при каждом значении подачи, рассчитываем интерполяционные зависимости $h_r(V)$ износа от скорости резания. Следует отметить, что для нахождения минимума целевой функции мы априори предположили ее достаточную гладкость и непрерывность. Существование локальных минимумов $h_r(V)$, полученные при различных значениях подачи должны косвенно подтвердить это предположение.

В области резания металлов, наибольшее распространение получили формулы степенного вида, позволяющие объединить частные зависимости, отражающие влияние отдельных факторов, в обобщенные уравнения. В работе [2] предлагается зависимость стойкости инструмента T от скорости резания V, при постоянном значении подачи S:

$$T(V)=C_t\cdot V^{b_t}\cdot e^{-c_t\cdot V}. \qquad (1)$$

Формула аналогичного вида, для вычисления радиального износа, приведена в работе [3]

$$h_r(T)=J_h\cdot T^m\cdot V^n. \qquad (2)$$

Можно предположить, существование зависимости такого типа и для $h_r(V)$, если подставить выражение (3.1) в формулу (3.2):

$$h_r(V)=J_h\cdot C_t^m\cdot V^{m\cdot b_t+n}\cdot e^{-c_t\cdot m\cdot V}=C_h\cdot V^k\cdot e^{-q\cdot V} \qquad (3)$$

где $C_h=J_h\cdot C_t^m$ коэффициент, а $k=m\cdot b_t+n$ и $q=c_t\cdot m$ показатели степени, зависящие от конкретных условий процесса резания.

Если дифференцируемая, на определенном интервале, функция (3) $h_r(V)$ имеет при значении аргумента $V=V_0$ максимум или минимум, то ее производная в этой точке обращается в нуль.

$$\frac{dh_r(V)}{dV}=C_h\cdot e^{-q\cdot V}\cdot V^k\cdot(k\cdot V^{-1}-q)=0.$$

Решение уравнения $k\cdot V^{-1}-q=0$ определяет экстремум функции $h_r(V)$, при $V_0=V_{min}=\frac{k}{q}$. Следовательно, минимальное значение износа определяется по формуле:

$$h_r\left(V_{min}\right)=h_r\left(\frac{k}{q}\right)=C_h\cdot\left(\frac{k}{e\cdot q}\right)^k=h_{rmin}. \qquad (4)$$

В основу эксперимента положено 12 измерений величин радиального износа h_r, при точении заготовки из высокопрочного чугуна СПХН-49. Обработка проводилась с постоянной глубиной резания на всех 12 интервалах, при четырех значениях подачи, в диапазоне S=0.05 |0.3 мм/об и трех скоростях резания V_1, V_2, V_3, из диапазона 60 |120 м/мин. Точение цилиндрической поверхности проводилось круглыми режущими пластинами цилиндрической формы из оксидно - карбидной керамики, резцами с одинаковой геометрией и конструкцией, на одной заготовке.

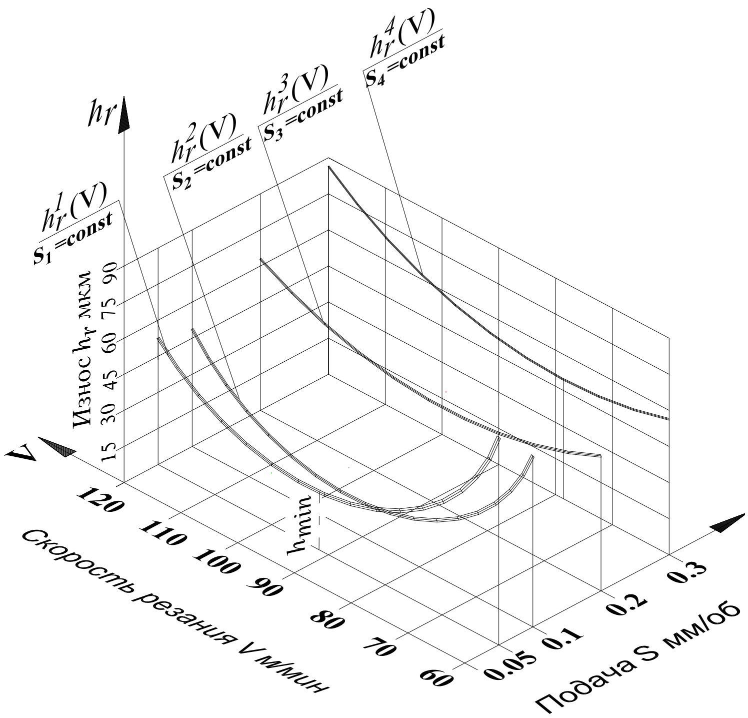

Рис. 1. Изменение радиального износа h_r, в зависимости от скорости резания V и подачи S

Радиальный износ режущей пластинки определялся как половина значения отклонения проточенного диаметра от расчетного. Измерение выполнялось электронной измерительной скобой ИДВ-1 с дискретностью измерений 0.001 мм. В общем случае величина отклонения зависит от упругих деформаций технологической системы и износа инструмента [4]. По данным [1] при чистовом точении керметом стали 40Х с глубиной резания до 1 мм величина силы резания весьма мала (100-150 Н), а при резании чугуна это значение имеет тенденцию к снижению. При точении цилиндрической поверхности направление вектора силы резания остается неизменным, поэтому при данных параметрах жесткости заготовки деформация от силы резания может внести постоянную погрешность на результаты всех измерений. При обработке минералокерамикой, имеющим низкую теплопроводность, можно предположить и невысокую температуру в зоне резания, т.к. по мере уменьшения химической однородности материалов трущихся поверхностей снижается коэффициент трения, кроме этого положительную роль в снижении влияния температурных деформаций при обработке чугунов играет графит – внутренняя смазка трущихся поверхностей. Таким образом, можно сделать вывод, что в данном случае основным фактором, влияющим на отклонение проточенного диаметра от расчетного значения, является радиальный износ инструмента.

$$\begin{cases} \ln h_{r1} = \ln C_h + k \cdot \ln V_1 - q \cdot V_1 \\ \ln h_{r2} = \ln C_h + k \cdot \ln V_2 - q \cdot V_2 \\ \ln h_{r3} = \ln C_h + k \cdot \ln V_3 - q \cdot V_3 \end{cases}, \qquad (5)$$

Величины радиального износа h_{r1}, h_{r2}, h_{r3} измерялись для каждого значения оборотной подачи из условия постоянства длины пути резания $10 \cdot 10^6$м.

Аппроксимация результатов экспериментальных исследований состоит в нахождении численных значений трех параметров - C_h, k и q в формуле (3). Подставив экспериментальные данные в уравнение (3) и прологарифмировав их, получаем систему трех уравнений (5) с тремя неизвестными - C_h, k и q.

Решив систему уравнений (5) получим:

$$k = \frac{(\ln h_{r1} - \ln h_{r2}) \cdot (V_3 - V_2) - (\ln h_{r2} - \ln h_{r3}) \cdot (V_2 - V_1)}{(\ln V_1 - \ln V_2) \cdot (V_3 - V_2) - (\ln V_2 - \ln V_3) \cdot (V_2 - V_1)}, \quad q = \frac{\ln h_{r1} - \ln h_{r2} - b \cdot (\ln V_1 - \ln V_2)}{V_2 - V_1}$$

Коэффициент C_h определяется при любом V и соответствующем ему h_r, например при h_{r1} и V_1:

$$C_h = \frac{h_{r1}}{V_1^k \cdot e^{-q \cdot V_1}}.$$

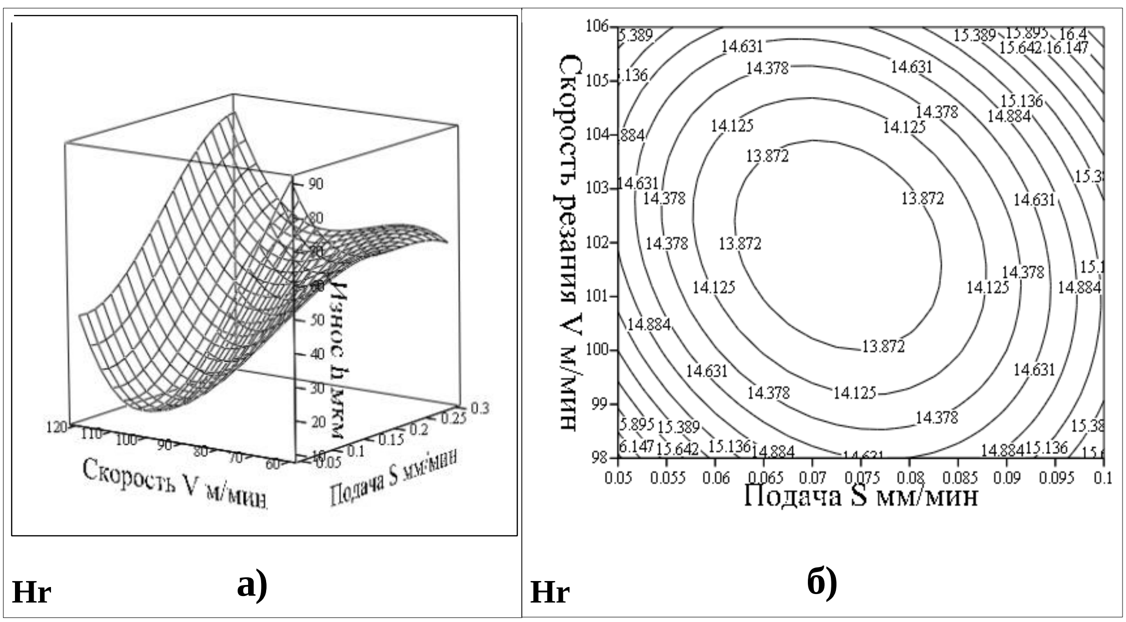

Рис. 2. Трехмерный график (а) и линии уровня (б) функции износа H_r(V, S)

Таким образом, для операции обработки прокатных валков из легированного чугуна с пластинчатым графитом, мы получили дискретный ряд режимов резания -

подачи S скорость резания $V_{min} = \frac{k}{q}$, при которой радиальный износ h_{rmin} (4) инструмента минимальный. На рис.1 показаны графики функции $h_r(V)$, при четырех значениях подач, из диапазона *S*=0.1-0.4 мм/об.

Расчетные значения и экспериментальные данные позволяют получить матричное представление поверхности определяющей параметры целевой функции:

$$W_r(V,S,h_r) = \begin{vmatrix} S_1 & S_1 & S_1 & S_1 & , & , & , & , & , & , & , & , & S_4 & S_4 & S_4 & S_4 \\ V_1 & V_{min}^1 & V_2 & V_3 & , & , & , & , & , & , & , & , & V_1 & V_{min}^4 & V_2 & V_3 \\ h_r^1 & h_{r\,min}^1 & h_r^2 & h_r^3 & , & , & , & , & , & , & , & , & h_r^{10} & h_{r\,min}^4 & h_r^{11} & h_r^{12} \end{vmatrix} \quad (6)$$

Для получения целевой функции $H_r(V, S)$ применяем метод приближения с помощью двухмерной полиномиальной регрессии, который заключается в нахождении параметров функции регрессии, при которых график этой функции проходит в «облаке» узловых точек матрицы $W_r(V,S,h_r)$, обеспечивая наименьшую среднеквадратичную погрешность их представления. Инструментарий пакета Matchcad обеспечивает расчет коэффициентов полиномиальной функции $H_r(V, S)$ (рис. 2, а) и определение ее минимального значения $H_r^{min}(V^{min},S^{min})$.

Функция износа $H_r(V, S)$ принимает минимальное значение $H_r^{min} = 13.6$ мкм, при $S^{min} = 0.075$ мм/об, $V^{min} = 102$ м/мин.

Средствами пакета Mathcad представим полученную функцию $H_r(V, S)$ проекциями на координатную плоскость линий уровня (Control Plot) (рис. 2, б), отражающих изменение границ областей с определенными значениями износа. Тогда скорость резания V и подача S, при которых предельное значение износа $h_{rLim} < 14$ мкм не превышает заданное, должны находиться в границах области: (100.6<V<104) м/мин (0.065<S<0.85) мм/об.

3. Заключение

Существующие нормативы по режимам резания установлены вне зависимости от размерной стойкости инструмента, поэтому большие резервы ее повышения заключаются в оптимальном сочетании подач и скоростей резания. Именно этой проблеме посвящена настоящая работа, в которой на основе экспериментальных исследований обрабатываемости высокопрочного чугуна, предлагается новый подход к определению оптимальных режимов резания, который позволяет существенно повысить технологическую надежность операции чистового точения фасонного профиля валков сортового проката.

Проведенные исследования характера радиального износа резцов дают возможность технологам, при разработке технологического процесса рассчитывать точность обработки, в то время как обычные стойкостные формулы такой возможности не дают.

Следует отметить, что представленный алгоритм является частью общей системы управления точностью при обработке сложно-профильных поверхностей валков сортового проката минералокерамическими режущими пластинками круглой формы.

Список литературы: 1. Макаров А. Д., Оптимизация процессов резания, - М.: «Машиностроение», 1976. – 276. 2. Макаров А. Д., Износ и стойкость режущих инструментов, - М.: «Машиностроение», 1966. – 255. 3. Грановский Г. И., Грановский В. И., Резание металлов, - М.: «Высшая школа», 1985. – 303. 4. Маталин А. А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 510 с. 5. Лещенко А.И. Метод оптимизации переднего и заднего углов резцов с пластинками круглой формы. // Вістник приазовського державгого технічного університету. Сбірник наукових праць. – Мариуполь: ПГТУ, 2004. – Вып. 14. - С. 102 -107.

Надійшла до редколегії 28.04.2010 р.

OPTIMIZATION OF FIRMNESS OF INSTRUMENT AT TREATMENT OF ROLLERS FROM HIGH-TENSILE CAST-IRON

Leshenko A. I. *(PSTU, Mariupol, Ukraine)*

Annotation. *The mathematical algorithm of optimization of the modes of treatment, serve and cutting speed is offered, on the basis of experimental information,, at the set maximum value of size wear. The generalized method of calculation, allowing to bind the cutting modes to exactness of treatment of high-tensile cast-iron ceramic plates, is developed.*

Keywords: *rolls, exactness of treatment, optimization*

ОПТИМІЗАЦІЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ ВАЛКІВ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Лещенко О. І. (*ПДТУ, Маріуполь, Україна)*

Анотація. *Пропонується, на основі експериментальних даних, математичний алгоритм оптимізації режимів обробки, подачі і швидкості різання, при заданому граничному значенні розмірного зносу. Розроблена узагальнена методика розрахунку, що дозволяє пов'язати режими різання з точністю обробки високоміцного чавуну мінералокерамічними пластинами.*

Ключові слова: *валкі прокатних станів, точність обробки, оптимізація.*