

УДК 621.9: 658.5

А.Б. Таровик, аспирант
А.Н. Михайлов, докт. техн. наук, проф.
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Рассмотрены вопросы оптимизации режимов резания при обработке тонкостенных цилиндрических изделий. Использован подход, базирующийся на применении математической модели, описанной с помощью технических ограничений в виде системы неравенств. Предложен способ определения оптимальных режимов резания, основанный на методе линейного математического программирования.

Ключевые слова: оптимизация, технические ограничения, математическая модель, подача, частота вращения

1. Введение

Тема работы является актуальной, так как одним из резервов повышения эффективности современных технологических процессов изготовления деталей машин является оптимизация параметров их механической обработки.

Постоянное развитие техники на современном этапе требует использования деталей, которые имеют тонкие стенки (с целью экономии материала и облегчения конструкции в целом). Сейчас их количество значительно увеличивается в общей массе деталей, подвергающихся механической обработке. Тонкостенные изделия, обеспечивая высокую прочность и плотность компоновки, находят широкое применение в самых различных отраслях промышленности.

В настоящее время наиболее распространенными критериями оптимизации является максимальная производительность или минимальная себестоимость обработки [1].

Обеспечение качества обработанной поверхности с достижением минимальной себестоимости механической обработки – важнейшая задача, решаемая при проектировании технологических процессов изготовления деталей. Одним из условий снижения себестоимости является выбор рациональных параметров процесса резания. В связи с этим весьма актуальны исследования по определению оптимальных режимов резания, обеспечивающих для заданных условий обработки и требований к качеству обработанных поверхностей минимальную себестоимость.

Режимы резания оказывают существенное влияние на качество обрабатываемых изделий и эффективность технологических процессов механической обработки деталей, поэтому определение оптимальных параметров этих режимов является одной из актуальных задач при проектировании технологических процессов. В известных публикациях [2, 3, 4], посвященных данной проблеме, предлагаемые математические модели оптимизации построены в основном на базе упрощенных функциональных зависимостей и включают в свой состав неполный перечень ограничений, что снижает их точность и требует корректировки полученных решений.

Целью данной работы является создание математической модели, описывающей процесс резания тонкостенной цилиндрической детали, и исследование оптимальных параметров режимов резания.

2. Основное содержание и результаты работы

Одним из наиболее распространенных методов оптимизации в настоящее время является метод линейного программирования [5], позволяющий осуществлять одно-временную оптимизацию скорости резания (или связанную с ней частоту вращения шпинделя) и подачи с учетом действующих при резании ограничений по критерию максимальной производительности.

Целевую функцию (ЦФ) оптимизации можно записать в виде произведения, прямо пропорционального производительности обработки:

$$\text{ЦФ: } F = s \cdot v \rightarrow \max \text{ или } F = s \cdot n \rightarrow \max, \quad (1)$$

где v – скорость резания, м/мин;

n – частота вращения шпинделя, об/мин;

s – подача, мм/об.

Как видно из формулы (1), чем больше значения подачи и частоты, тем выше производительность обработки. Однако это вовсе не означает, что настроив станок на максимальную частоту вращения шпинделя и подачу суппорта, можно получить оптимальную (максимальную) производительность.

В настоящее время известно большое количество различных методов оптимизации режимов резания на металлорежущих станках. Выбор метода зависит от типа оборудования, структуры технологической операции, способа обработки, сведений о его технологических возможностях и других параметров технологической операции. В основу каждого метода положена математическая модель процесса обработки, состоящая из целевой функции и ограничений, отражающих цели оптимизации и закономерности резания металлов. Поэтому в дальнейшем рассматривается схема построения математической модели оптимизации режимов резания технологических переходов при одноинструментальной обработке тонкостенных цилиндрических деталей. Модель имеет следующие ограничения:

- режущие свойства инструмента, определяемые его материалом, геометрией, рациональным периодом стойкости и условиями обработки;
- мощность электродвигателя привода главного движения станка;
- жесткость заготовки;
- кинематические ограничения.

Кинематические ограничения. Первые ограничения накладываются непосредственно на сами переменные s и n , так как они не могут быть отрицательными числами (или быть ниже установленных уровней s_{min} и n_{min}), а также их значения не могут превышать максимальных установленных для модели станка 1М61 s_{max} и n_{max} . Совокупность таких ограничений имеет вид (2):

$$\begin{cases} s \geq 0; \\ n \geq 0; \\ s \leq s_{max} \\ n \leq n_{max} \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} s_{min} \leq s \leq s_{max}; \\ n_{min} \leq n \leq n_{max}. \end{cases} \quad (2)$$

Ограничение по жесткости заготовки. Ограничение на подачу, допускаемую жесткостью заготовки, определяется по формуле [4]:

$$s \leq x_{Pz} \sqrt[3]{\frac{\varepsilon \cdot J \cdot E \cdot f}{1,1 \cdot C_{Pz} \cdot l^3 \cdot t^{y_{Pz}}}}, \quad (3)$$

где f – прогиб заготовки при обработке;

E – модуль упругости материала обрабатываемой заготовки;

J – момент инерции сечения заготовки;

l – расстояние между точками закрепления заготовки;

ε – коэффициент жесткости;

C_{Pz} – постоянный коэффициент для заданных условий обработки;

x_{Pz}, y_{Pz} – показатели степени, характеризующие влияние глубины резания и подачи на силу резания.

Ограничение по стойкости режущего инструмента. Режущие возможности инструмента отражены в полученном искомом ограничении:

$$n \cdot s^{y_v} \leq \frac{1000 \cdot C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot \pi \cdot D} \cdot K_v, \quad (4)$$

где T – период стойкости инструмента;

m – показатель относительной стойкости инструмента;

C_v, x_v, y_v – коэффициенты, характеризующие условия обработки;

K_v – общий поправочный коэффициент, приводящий табличные значения коэффициентов к реальным условиям обработки с учетом физико-механических свойств материала заготовки, состояния ее поверхности и материала режущей части инструмента.

Ограничение по мощности привода главного движения станка. Это ограничение устанавливает связь между эффективной мощностью резания и мощностью привода главного движения станка. Ограничение по мощности примет вид:

$$n^{(n_{Pz}+1)} \cdot s^{y_{Pz}} \leq \frac{6120 \cdot N_{cm} \cdot \eta}{K_o \cdot C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot K_{Pz}} \cdot \left(\frac{1000}{\pi \cdot D}\right)^{(n_{Pz}+1)}, \quad (5)$$

где N_{cm} – мощность привода главного движения станка;

η – коэффициент полезного действия кинематической цепи главного движения;

K_{Pz} – поправочный коэффициент, который представляет собой произведение ряда коэффициентов, учитывающих фактические условия резания;

n_{Pz} – показатель степени, характеризующий влияние скорости на силу резания;

K_o – коэффициент, учитывающий увеличение сил во время комбинированной обработки, $K_o = 1,2-1,5$.

Определение оптимальных режимов резания приведено для комбинированной обработки (точение и ультразвуковая обработка) тонкостенной цилиндрической гильзы диаметром $D = 100$ мм, длиной $L = 200$ мм, толщина стенки 6 мм, материал заготовки – сталь 45. Обработка осуществлялась на токарно-винторезном станке модели 1М61.

Для заданных условий механообработки приняты следующие коэффициенты и показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и стойкости на скорость резания [6]: $C_v = 350$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,35$; $m = 0,2$; $K_v = 0,75$. Коэффициенты и по-

казатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и скорости на силу резания [6]: $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$; $K_p = 0,77$.

В результате линеаризации целевой функции и ограничений путем логарифмирования определена математическая модель процесса резания, выраженная системой линейных неравенств, графически представленных на рис. 1 ($X_1 = \ln n$; $X_2 = \ln s$):

$$\begin{cases} x_2 \leq b_1; \\ x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_2; \\ \left(n_{p_z} + 1 \right) x_1 + y_{p_z} \cdot x_2 \leq b_3; \\ b_4 \leq x_1 \leq b_5; \\ b_6 \leq x_2 \leq b_7; \\ (x_1 + x_2) \rightarrow \max. \end{cases} \quad \begin{aligned} b_1 &= \ln \cdot \left(x_{Pz} \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot J \cdot E \cdot f}{1,1 \cdot C_{Pz} \cdot l^3 \cdot t^{y_{Pz}}}} \right); \\ b_2 &= \ln \cdot \left(\frac{1000 \cdot C_v}{T^m \cdot t^x \cdot v \cdot \pi \cdot D} \cdot K_v \right); \\ b_3 &= \ln \cdot \left(\frac{6120 \cdot N_{cm} \cdot \eta}{K_o \cdot C_{Pz} \cdot t^x \cdot Pz \cdot K_{Pz}} \cdot \left(\frac{1000}{\pi \cdot D} \right)^{(n_{Pz} + 1)} \right); \\ b_4 &= \ln n_{\min}; \quad b_5 = \ln n_{\max}; \quad b_6 = \ln s_{\min}; \quad b_7 = \ln s_{\max}; \end{aligned}$$

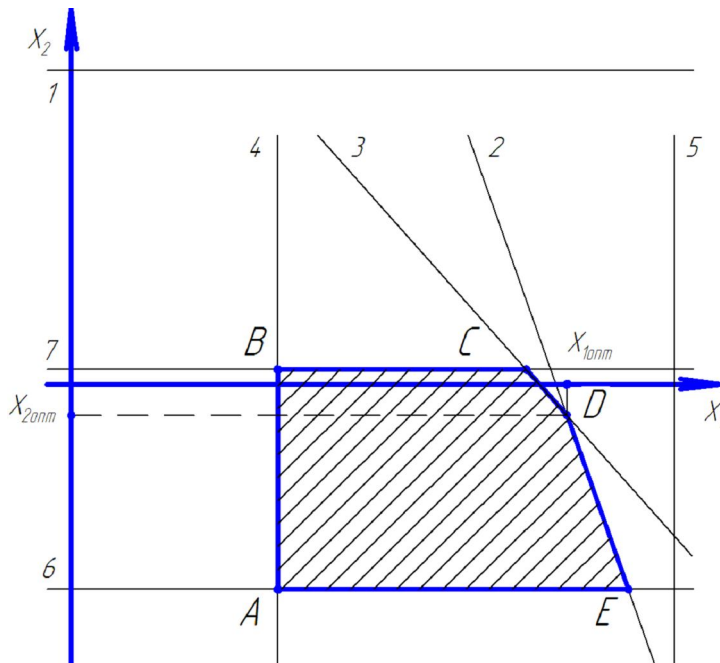


Рис. 1. Нахождение области допустимых решений графическим способом

С учетом вышеизложенного материала, определены следующие значения параметров b_i : $b_1 = 3,868$; $b_2 = 5,930$; $b_3 = 4,870$; $b_4 = 2,526$; $b_5 = 7,378$; $b_6 = -2,526$; $b_7 = 0,182$.

Многоугольник $ABCDE$ (рис. 1) представляет собой область возможных решений. Целевая функция принимает максимальное значение в точке D , для которой сумма рас-

стояний до осей (X_1+X_2) максимальна. Координаты точки D (X_{1opt} , X_{2opt}) является искомыми оптимальными значениями параметров, на основании которых определяются оптимальные частота вращения и подача.

Для заданных условий определены следующие оптимальные режимы: подача $s_{opt} = 0,68$ мм/об; частота вращения $n_{opt} = 430$ об/мин; скорость резания $v_{opt} = 135$ м/мин.

3. Заключение

В результате проведенных исследований определена математическая модель для расчета оптимальных режимов резания с использованием в качестве метода оптимизации линейное программирование.

Представленная методика позволяет производить расчеты оптимальных режимов резания, обеспечивающих максимальную производительность при обработке тонкостенных цилиндрических изделий.

Список литературы:

1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. – М.: Машиностроение, 1989. – 296с.: ил.
2. Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ / Н.М. Капустин. – М.: Машиностроение, 1980. – 256 с.: ил.
3. Грубый С.В. Методы оптимизации режимных параметров лезвийной обработки: учеб. пособие / С.В. Грубый. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 96 с.: ил.
4. Безъязычный В.Ф. Расчет режимов резания: учеб. пособие / В.Ф. Безъязычный, И.Н. Аверьянов, А.В. Кордюков. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.
5. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.: ил.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.: ил.

Надійшла до редколегії 24.06.2014

А.Б. Таровик, О.М. Михайлов

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ

Розглянуто питання оптимізації режимів різання при обробці тонкостінних циліндричних виробів. Використано підхід, що базується на застосуванні математичної моделі, описаної за допомогою технічних обмежень у вигляді системи нерівностей. Запропоновано спосіб визначення оптимальних режимів різання, заснований на методі лінійного математичного програмування.

Ключові слова: оптимізація, технічні обмеження, математична модель, подача, частота обертання.

A.B. Tarovik, A.N. Mikhailov

OPTIMIZATION OF CUTTING CONDITIONS FOR PROCESSING THIN-WALLED CYLINDRICAL PRODUCTS

The optimization of cutting conditions for processing thin-walled cylindrical products is considered. The approach based on applying the mathematical model described with the help of engineering constraints in the form of the inequality system is used. The technique of determining optimum cutting conditions, which is based on the method of linear mathematical programming, is offered.

Keywords: optimization, technical limitations, mathematical model, feed, speed.