

А. И. Бохонский, д-р техн. наук, проф., **Е. С. Елькина**, аспирант
Севастопольский государственный университет, Россия
E-mail: bohon.alex@mail.ru

УПРАВЛЯЕМОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Найдены управления в виде опорных моментов деформированием нежесткой заготовки с дискретным изменением изгибной жесткости. Устранение перемещения и угла поворота сечения заготовки с координатой приложения силы резания обеспечивает локальную квазижесткость заготовки, что снижает погрешности формы и размеров в процессе автоматической токарной обработки.

Ключевые слова: нежесткие заготовки, токарная обработка, погрешность обработки, управление деформированием, опорные моменты.

A. I. Bokhonsky, E. S. Ielkina

THE CONTROLLED DEFORMATION OF BLANK PARTS BY THE AUTOMATIC TURNING

The controls constituting the moments of a support by non-rigid billet deformation with discrete rigidity of flexural changes were found. The clearing of a drift and the angle of rotation of the workpiece with the point a provides the local quasihard of workpiece that provides error decreasing of form during automatic turning.

Key words: non-rigid workpieces, turning, error handling, control deformation, moments of a support.

1. Введение

В работах [1-5] не только предложены, разработаны, теоретически и экспериментально исследованы модели оптимального управления упругим деформированием нежестких заготовок при токарной обработке (при медленном перемещении силы резания вдоль заготовки), но и даны новые технические решения механических исполнительных органов систем автоматического управления деформированием заготовок. Например, в [3] рассмотрен пример экспериментальной реализации силового воздействия на заготовку в виде опорных моментов, изготовлены и апробированы исполнительные органы, реализующие управление данного типа.

Для синтеза оптимальных силовых управлений деформированием заготовок переменного сечения по длине в [2-4] использовался, например, вариационный метод Ритца, строго обосновывалась зависимость между погрешностью формы заготовки в виде бочкообразности и ее упругими перемещениями в процессе обработки. В работе [5] обращено внимание на необходимость разделения управлений: медленным перемещениям нежесткой заготовки (в связи с изменениями положения силы резания при ее движении вдоль заготовки) и сложными колебаниями, обусловленными процессом резания.

И до настоящего времени задачи моделирования поведения широкого класса нежестких заготовок при управлении их деформированием продолжают оставаться актуальными как с точки зрения снижения погрешности изготавливаемых деталей, так и как задачи прикладной механики деформируемого твердого тела – оптимального управления деформированием объектов при динамической подвижной нагрузке.

Целью данной статьи является совершенствование модели управляемого деформирования нежесткой заготовки с дискретным изменением изгибной жесткости при использовании управлений в виде опорных моментов.

2. Основное содержание и результаты работы

В качестве управляющих воздействий (Рисунок 1) использовались опорные моменты M_1 и M_2 . Необходимо найти такие управления $M_1(a)$ и $M_2(a)$, при которых перемещение $W(a)$ и угол поворот сечения $W'(a)$ от силы резания и опорных моментов с координатой a равны нулю ($W(a) = 0, W'(a) = 0$).

Для вычисления перемещения по направлению радиальной составляющей силы резания использовался принцип суперпозиции (независимости действия сил) для линейной системы и интеграл Мора:

$$f_c = \sum_{i=1}^3 \int_S \frac{\bar{M}_1 M_p dS}{EI}, \quad (1)$$

где \bar{M}_1 – величина изгибающего момента от единичной силы (либо единичного момента) на каждом из трех участков; M_p – изгибающий момент на каждом из участков от силы резания P_r и опорных моментов; EI – изгибающая жесткость заготовки (EI_1 и EI_2).

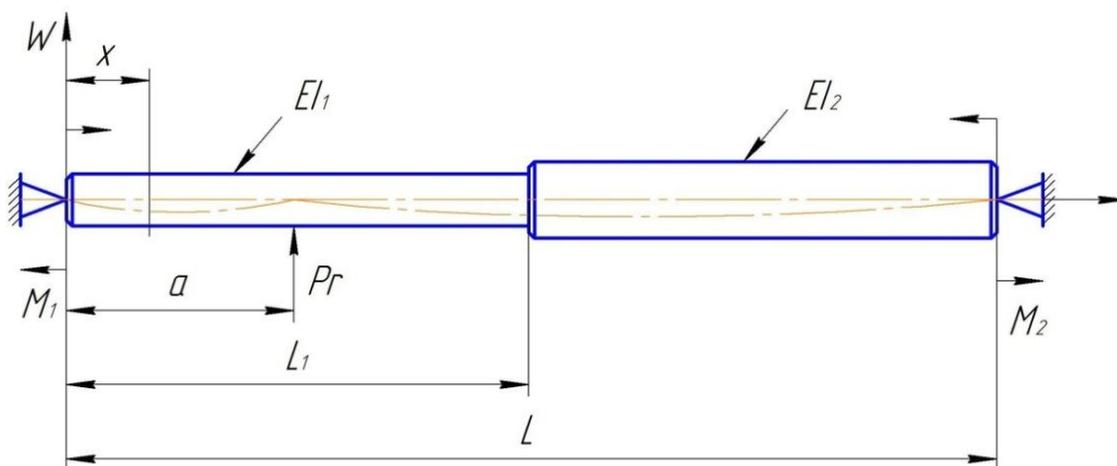


Рис.1. – Схема нежесткой заготовки

При движении силы резания на участке выражения для опорных моментов $L_1 \geq x \geq 0$, обеспечивающие $W(a) = 0, W'(a) = 0$, принимают вид:

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{3} \frac{(Pr \cdot a(-3L^2na + 2L^3n - 9aL^2 + 12La^2 + 2L^3 - 4a^3))}{L(-aLn + L^2n - 3La + 2a^2 + L^2)}, \\ M_2 &= \frac{1}{6} \frac{((7L^3 + L^3n - 24aL^2 + 24La^2 - 8a^3)Pr a)}{L(-aLn + L^2n - 3La + 2a^2 + L^2)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где L – общая длина заготовки; a – координата силы резания; $n = \frac{EI_1}{EI_2}$; $L_1 = L/2$.

При движении силы резания на следующем участке $L > x > L_1$ выражения для управлений записываются следующим образом:

$$M_1 = \frac{1}{6} \frac{\text{Pr}(-L^4 + nL^4 + aL^3 - nL^3a - 8nLa^3 + 8na^4)}{La(-L - 2an + Ln)},$$

$$M_2 = -\frac{1}{3} \frac{(-L^4 + nL^4 - 4nL^3a + 4aL^3 + 3nL^2a^2 - 3L^2a^2 + 4nLa^3 - 4na^4)\text{Pr}}{La(-L - 2an + Ln)}. \quad (3)$$

Совмещенные графики изменения управлений при последовательном движении на участках с разными жесткостями (при: $L = 1\text{ м}$; $\text{Pr} = 100\text{ Н}$; $n = 0,25$) изображены на рисунках 2, 3. На этих рисунках также показаны графики опорных моментов при постоянной изгибной жесткости. Если $EI_1 = EI_2 = EI$, т. е.

$$M_1 = M_2 = \frac{2\text{Pr}(L-a) \cdot a}{3L}. \quad (4)$$

Выражение (4) для опорных моментов постоянной жесткости заготовок, которое получено из (2) и (3), подтверждает достоверность полученных управлений деформированием заготовки с дискретным изменением жесткости. Как следует из графиков, характер управлений деформирования заготовок изменяется в зависимости от соотношения изгибных жесткостей участков.

С использованием найденных управляющих воздействий совершенствуется модель и структурная схема системы автоматического управления деформированием заготовок, включающая управление по медленному движению (в связи с изменением положения силы резания при ее движении вдоль заготовки) и управление по быстрому движению (управление колебаниями, которые порождаются подвижным динамическим воздействием).

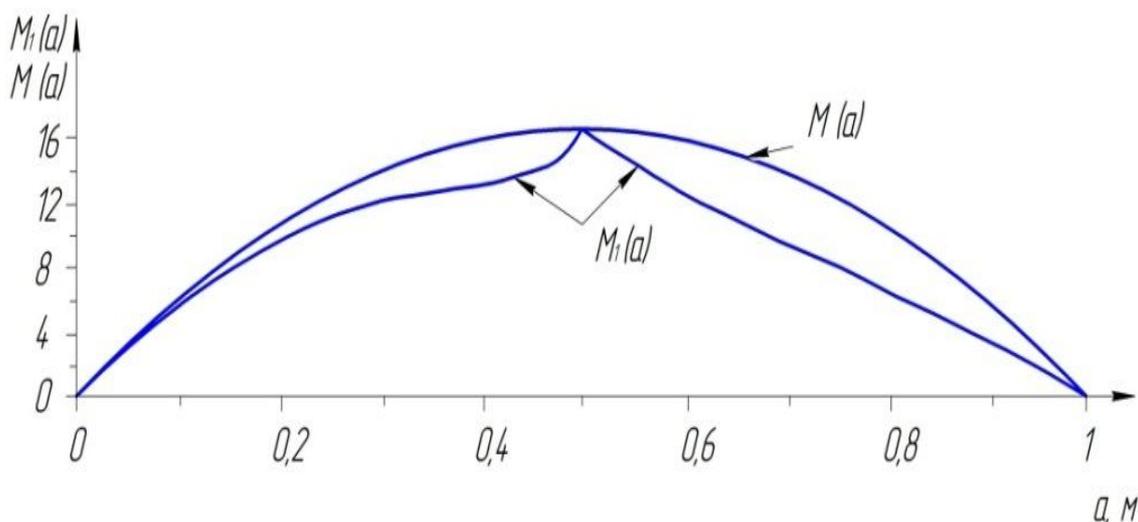


Рис.2.— Графики опорных моментов $M(a)$ и $M_1(a)$

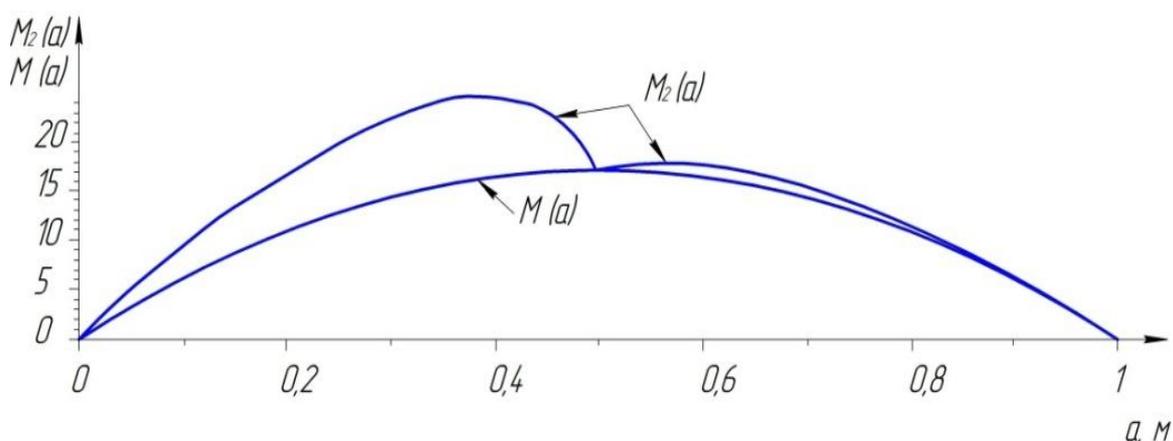


Рис.3. – Графики опорных моментов $M(a)$ и $M_2(a)$

3. Заключение

Возможны два типа реализации оптимальных управлений: использование специально разработанных устройств [3] для реализации опорного изгибающего момента, оснащенного гасителями изгибных и крутильных колебаний; применение для подавления колебаний ПД – регулятора (в отрицательной обратной связи), который снижает уровень колебаний среднего сечения заготовки, обеспечивая таким образом уменьшение колебаний сечения заготовки, в котором приложена сила резания.

Снижение упругих перемещений, обусловленных изгибными деформациями нежестких заготовок в процессе автоматической токарной обработки, и колебаний заготовки обеспечивает повышение точности изготовления деталей данного класса и чистоту их поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бохонский А. И., Рыжкова Н. П. Управление линейными и угловыми упругими деформациями заготовок при токарной обработке // Станки и инструменты. 1985. – № 4. – С. 28–29.
2. Бохонский А. И., Вохмянин А. И. Повышение точности токарной обработки нежестких заготовок // Станки и инструмент. 1994. – № 9. – С. 27–31.
3. Бохонский А. И., Вохмянин А. Н. Управление деформированием нежестких деталей при токарной обработке: Монография. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1999. – 240 с.
4. Бохонский А. И., Шмидт Л. А. Вариационные методы поиска управлений деформированием нежестких заготовок при токарной обработке // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – № 20. – С. 56–60.
5. Бохонский А. И., Варминская Н. И. Вариационное и реверсионное исчисление в механике: монография. Под ред. А. И. Бохонского. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 212 с.

Поступила в редколлегию 07.12.2015 г.