

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИГЛЫ ПРИ РАСШИРЕНИИ ФАЗЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ В ШВЕЙНЫХ ПОЛУАВТОМАТАХ

Кириллов А. Г.; Радкевич А. В.

Сравнительно невысокие динамические характеристики привода координатного устройства с шаговыми электродвигателями ограничивает скорость полуавтоматов, в которых он находит применение. К таким полуавтоматам относятся, в частности, вышивальные, для стачивания по контуру деталей одежды, для стачивания заготовок верха обуви и др. После того, как существующие конструктивные возможности повышения быстродействия привода (уменьшение масс движущихся частей, повышение мощности электродвигателей и т. д.) исчерпаны, возникает проблема повышения скоростных характеристик привода за счет более рационального управления, как приводом координатного устройства, так и полуавтоматом в целом. Одним из путей решения этой проблемы является расширение фазы транспортирования, которое заключается в том, чтобы начинать перемещение каретки координатного устройства до выхода иглы из материала и заканчивать к моменту следующего прокола.

Существует ряд швейных машин и полуавтоматов [1, 2], в которых используются механизмы подачи материала непрерывного действия, однако исследования динамики процесса взаимодействия иглы с материалом практически отсутствуют. Целью данного исследования являлось определение поперечных деформаций иглы при взаимодействии ее с материалом. При этом было выделено две основных фазы процесса взаимодействия иглы с материалом:

- 1) вынужденных колебаний с момента начала транспортирования до момента выхода иглы из материала;
- 2) свободных колебаний с момента выхода иглы из материала до момента следующего прокола.

Уравнение вынужденных колебаний иглы (фаза 1) имеет вид:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho F \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \mu EI \frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} = f(x, t), \quad (1)$$

где  $y$  - прогиб балки в любом заданном сечении  $x$ ,

$E$  - модуль упругости материала иглы 1 рода,

$I$  - момент инерции сечения иглы,

$\rho$  - плотность материала,

$F$  - площадь поперечного сечения иглы,

$\mu$  - коэффициент затухания.

$f(x, t)$  - распределенная нагрузка, действующая на иглу со стороны материала.

Принятые для данной модели допущения:

- 1) игла представляет собой балку постоянного сечения круглой формы с двумя канавками;
- 2) деформации игловодителя пренебрежимо малы по сравнению с деформациями иглы, т. е. игловодитель является абсолютно жестким;
- 3) материал жестко закреплен в кассете, не стягивается и не смещается при деформации.

Решение уравнения (1) состоит из двух частей

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t), \quad (2)$$

где  $y_1(x,t)$  - общее решение без правой части,

$y_2(x,t)$  - частное решение с правой частью.

Поскольку закон изменения распределенной нагрузки  $f(x,t)$  является довольно сложным и зависит от таких факторов, как параметры закона движения каретки, кинематические параметры механизма иглы, деформационные свойства материала, было решено задаться законом  $f(x,t)$  с таким расчетом, чтобы учесть основные результаты, полученные экспериментально:

- в начальный момент времени усилие, действующее на иглу со стороны материала, равно нулю;
- с момента начала перемещения каретки усилие возрастает, достигая в момент выхода иглы из материала максимального значения.

Были рассмотрены различные варианты функции  $f(x,t)$  и дальнейший расчет уравнения (1) показал, что при выборе такой распределенной нагрузки, координаты площади приложения которой меняются во времени, получается громоздкое решение. В связи с этим было решено задаться неизменными координатами площади приложения нагрузки. Для этого случая

$$f(x,t) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < l - \delta \\ \frac{pt}{t_n}, & \text{при } l - \delta \leq x \leq l \end{cases} \quad (3)$$

где  $l$  - длина иглы,

$d$  - толщина материала,

$p$  - величина распределенной нагрузки в момент выхода иглы из материала,

$t_n$  - время перемещения каретки при нахождении иглы в материале.

Решение уравнения (1) получено в следующем виде:

$$1) \text{ при } \frac{\mu^2 \omega^2}{4} - 1 > 0$$

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) \left[ \left( e^{-\frac{\mu \omega_i^2 t}{2}} \right) \left( A_i e^{\frac{\omega_i \gamma_1 t}{2}} + B_i e^{-\frac{\omega_i \gamma_1 t}{2}} \right) - \frac{C(\mu - t)}{\omega_i^2} \right], \quad (4)$$

$$2) \text{ при } \frac{\mu^2 \omega^2}{4} - 1 \leq 0$$

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) \left[ \left( e^{-\frac{\mu \omega_i^2 t}{2}} \right) \left( A_i \sin \frac{\omega_i \gamma_2 t}{2} + B_i \cos \frac{\omega_i \gamma_2 t}{2} \right) - \frac{C(\mu - t)}{\omega_i^2} \right], \quad (5)$$

где  $X_i(x)$  - собственные формы колебаний,

$\omega_i$  - собственные частоты колебаний иглы,

$t$  - промежуток времени от начала перемещения каретки до момента, для которого определяется поперечная деформация иглы,

$$\gamma_1 = \sqrt{\mu^2 \omega^2 - 4}, \quad \gamma_2 = \sqrt{4 - \mu^2 \omega^2},$$

$$C = \frac{\rho \int_0^l X_k(x) dx}{\rho Ft_n \int_0^l X_k^2(x) dx}$$

$A_i, B_i$  - коэффициенты, которые были определены из начальных условий  $y(x,0)=y_0(x)=0, y'(x,0)=V_0(x)=0$  с использованием свойства ортогональности собственных форм. Для всех точек иглы начальные смещения и начальные скорости в данном случае были приняты равными нулю.

Для вычисления прогибов иглы при вынужденных колебаниях была составлена программа на языке Турбо-Паскаль. При вычислении бесконечных сумм (4, 5) было достаточно ограничиться 3-4 первыми слагаемыми, т.к. последующие слагаемые быстро убывают; при расчетах определенных интегралов при вычислении коэффициентов  $A_i, B_i$  использовался численный метод средних прямоугольников. При анализе вынужденных колебаний иглы был сделан вывод, что к моменту выхода из материала свободные колебания, соответствующие первому слагаемому в уравнении (2), практически затухают, остаются лишь вынужденные. Из этого следует, что характером изменения нагрузки  $f(x,t)$  во времени к моменту выхода иглы из материала можно пренебречь, рассматривая взаимодействие иглы с материалом в статике. При анализе свободных колебаний иглы было установлено, что деформация иглы к моменту следующего прокола зависит от длительности колебаний, в связи с чем была определена зависимость амплитуды колебаний к моменту следующего прокола от скорости стачивания материалов. Было установлено, что амплитуда отклонения острия иглы N90 к моменту следующего прокола при частоте вращения главного вала швейной головки 3000 об/мин равна приблизительно  $5 \cdot 10^{-3}$  мм.

Для проверки правильности теоретических выводов были проведены экспериментальные исследования по определению низшей собственной частоты колебаний иглы и прогибов иглы при свободных колебаниях. Исследования проводились на специально разработанных стендах. Методика проведения эксперимента по определению прогибов иглы при свободных колебаниях и расчета коэффициента затухания описана в [3]. Для определения низшей собственной частоты колебаний иглы был разработан датчик, состоящий из светодиода и фотодиода, представляющих собой излучатель и приемник инфракрасного излучения, включенных в электрическую цепь, между которыми расположена игла. Излучатель, приемник и игла смонтированы на одном кронштейне. При колебаниях иглы относительно положения равновесия по цепи приемника протекает переменный электрический ток, частота которого фиксируется электронносчетным частотомером. Проведенные замеры для игл различных типоразмеров показали практическое совпадение результатов с полученными теоретическими (погрешность не превышает 5%).

Таким образом, расчеты свободных затухающих колебаний иглы показали, что они практически прекращаются к моменту следующего прокола и, следовательно, не оказывают отрицательного влияния на процесс шитья и работоспособность полуавтомата с расширенной фазой транспортирования. При этом нагрузка, действующая на иглу в момент выхода ее из материала, не должна превышать допускаемой величины, определяемой из условия прочности иглы. Проведенные исследования подтверждают, что для практических расчетов характером изменения нагрузки на иглу со стороны материала во времени при существующих скоростных режимах стачивания (до 3000 ст/мин) можно пренебречь.

#### Литература:

1. Жуков В.П. Анализ перемещения сшиваемых деталей в машинах автоматического действия // Известия вузов. ТЛП, 1972, N2, с. 158-164.

2. Новгородцев В.А., Мокиева Н.С., Педченко Н.А. Анализ возможности непрерывного перемещения материалов при выполнении вышивальных работ // Известия вузов. ТЛП, 1979, N5, с. 76-80.

**SUMMARY:**

The possibility of widening of material phase transporting in sewing semi-automatic machines was proved that allows to raise the speed of sewing considerably. The mathematical model of needle diametrical oscillation was examined in its interaction with a material. The experimental check of theoretical supposition on the designed devices was executed.

Витебский государственный технологический университет