# Наука и Образование МГТУ им. Н.Э. Баумана

Сетевое научное издание ISSN 1994-0408 Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 10. С. 36—46.

#### DOI: 10.7463/1015.0823142

Представлена в редакцию: 30.09.2015 Исправлена: 24.10.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

### удк 621.01 Методика оптимизации координат зоны резания в токарных станках

Цзи Ш.<sup>1,\*</sup>, Чернянский П. М.<sup>1</sup>

<sup>\*</sup>jisc1988@sina.com

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В статье изложена методика оптимизации координат зоны резания в станках для повышения точности обработки. Зона резания соответствует точке приложения сил резания и ее координаты изменяются в рамках рабочего пространства. При изменении координат зоны резания эпюры давлений в направляющих могут быть равномерными и неравномерными. В первом, идеальном, случае достигается наибольшая точность обработки. В статье показано, что изменением вектора и координат точки приложения сил резания, веса суппортов и ее размеров можно обеспечить повышение точности обработки.

Ключевые слова: давление, зона резания, точность обработки, методика оптимизации

#### Введение

Наиболее важными показателями качества станков являются точность И производительность. Важнейшим фактором, влияющим на эти два показателя, служит жесткость несущей конструкции станка. Влияние жесткости на производительность многогранно: через изменение стойкости инструмента, потерю устойчивости, технологическую наследственность снижение долговечности и т.п. [1] Это проявляется, например, в том, что при статических нагрузках 50-80% от всех, имеющих место в станке деформаций, приходится на долю деформаций несущих конструкций [2, 3]. Анализ упругих смещений станков, приведенных в зону резания, показывает, что в самих несущих конструкциях преобладают контактные деформации стыков. Например, для станков фрезерно-расточной группы их доля доходит до 70% от общего уровня деформаций [3, 4].

Обработка на металлорежущих станках основана на относительном перемещении обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. Цель данного задачи – повысить точность обработки за счет выравнивания давлений в направляющих.

#### 1. Методика расчета активной рабочей зоны и точности обработки

Приведем расчет прямоугольных направляющих горизонтального токарного станка CN6140B (КНР). Расчетная схема с указанием действующих сил и их координат в направляющих приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расчета направляющих

В общем виде уравнение давления *р* для любой точки опорной поверхности прямолинейных направляющих будет иметь вид [5, 6]:

$$p = Ax + Bz + D,\tag{1}$$

где:

$$A = \frac{12d}{Ml} \left( -\frac{N\sum P_y}{2d} + \sum M_z \right),$$
  

$$B = \frac{12}{dl^2} \left( -\frac{\sum P_y}{2} + \frac{\sum M_x}{l} \right),$$
  

$$D = \frac{1}{l} \left[ \frac{\sum P_y}{d} \left( 4 + \frac{3N^2}{M} \right) - \frac{6\sum M_x}{dl} - \frac{6N\sum M_z}{M} \right];$$

 $\sum P_y$  – сумма проекций внешних сил, спроектированных на ось *y*;  $\sum M_x$  – сумма моментов внешних сил относительно оси *Ox*;  $\sum M_z$  – сумма моментов внешних сил относительно оси *Oz*; *a*, *b*, *c* и *l* – смотрим рис. *1*. Для сокращения обозначено:

$$d = a + b; N = a^{2} - b^{2} + 2bc;$$
$$M = 4 \left[ a^{3} + b^{3} + 3bc(c - b) \right] (a + b) - 3N^{2}.$$

Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана

Эпюра давлений направляющих ограничена прямой или плоскостью. Возможны три варианта: 1) эпюра неравномерного давления распределена не по всей длине направляющих; 2) эпюра неравномерного давления распределена по всей длине направляющих; 3) эпюра равномерного давления распределена по всей длине направляющих; 2).



Рис. 2. Возможные эпюры давлений в направляющих

Ранее установлено [5], что наибольшая точность обработки будет при равномерном давлении (варианта 3). Наихудший вариант 1, когда неравномерное давление распределено не по всей длине поверхности направляющих. Второй вариант лучше первого, хуже третьего, но можно рассматривать как крайне допустимый с позиции точности обработки. Для получения высокой точности обработки давлению нужно распределиться по всей длине поверхности направляющих (варианта 2 и варианта 3). Получим наиболее высокую точность обработки из варианта 3.

Контактные смещения  $\delta$  и давления *р* связаны экспериментально установленными зависимостями, полученными для плоских стыков: [4]

$$\delta = Cp^m, \tag{2}$$

где *С* и *m* – зависят от материала, шероховатости (макро- и микрогеометрии), методов обработки и состояния контактных поверхностей.

Для повышения точности обработки нужно выравнивать давления в направляющих.

Для конструкции токарного станка с направляющими скольжения принимаем, рис. 1:

силы резания:  $P_y = 12 \ KH$ ,  $P_z = 6.2 \ KH$ ,  $P_x = 2.8 \ KH$ ; сила веса суппорта с фартуком  $G = 1 \ KH$ ; размеры салазок в направляющих:  $a = b = 50 \ mm$ ,  $c = 450 \ mm$ ,  $l = 550 \ mm$ ; координаты сил резания:  $z_P = 20 \ mm$ ,  $x_P = 300 \ mm$ ,  $y_P = 350 \ mm$ ; координаты тягового усилия:  $z_Q = 100 \ mm$ ,  $x_Q = 580 \ mm$ ,  $y_Q = 150 \ mm$ ; координаты силы веса:  $z_G = 240 \ mm$ ,  $x_G = 500 \ mm$ ,  $y_G = 70 \ mm$ ; зазор в направляющих:  $\theta = 20 \ m\kappa M$ .

#### Расчет горизонтальных граней

Выбор того или иного типа тягового устройства в значительной мере зависит от величины тяговой силы, необходимой для перемещения подвижного узла по направляющим. Тяговое усилие, приложенное к суппорту [7]:

$$Q_z = P_z + 0.15(P_x + G + P_y).$$
(3)

Составим исходные уравнения:

$$\begin{cases} \sum P_{y} = P_{y} + Q_{y} + G; \\ \sum M_{x} = P_{y} \cdot z_{P} + P_{z} \cdot y_{P} + G \cdot z_{G} + Q_{z} \cdot y_{Q}; \\ \sum M_{z} = P_{y} \cdot x_{P} + P_{x} \cdot y_{P} + G \cdot x_{G}; \end{cases}$$
(4)

где: *x*, *z* – координаты в поверхности граней направляющих, рис. 1.

С целью получения распределения давления по всей поверхности в направляющих (варианта 2 и 3 на рис. 2) методике расчета системы математических уравнений (1), (3) и (4) нужно добавить условие:

$$p > 0. \tag{5}$$

Методика расчета выполняется в Matlab 12b по схеме, рис. 3 [8]. Решением системы уравнений (1), (3) – (5), и находим координаты зоны резания, когда давление расчета по методике в полной поверхности существует, рис. 4. Эта зона резания является активной рабочей зоной резания.



Рис. 3 Схема расчета в Matlab



Рис. 4. Активная рабочая зона резания

Эпюра максимального и минимального давления в направляющих показана на рис. 5.



Рис. 5. Эпюры давления на поверхности в направляющих: (максимальное давление *p<sub>маx</sub>*=0.473 *H/мм*<sup>2</sup>, минимальное *p<sub>мин</sub>≈*0)

Когда координаты точек приложения сил резания находятся в активной рабочей зоне показанокрасным цветом на рис. 4, давление распределено по всей поверхности направляющих (рис. 5). Разница максимального и минимального давления в активной рабочей зоне равна 0.473 *H/мм*<sup>2</sup>. Максимальная точность обработки в активной рабочей зоне определяется:

$$\Delta = C p_{Max}^{m} + \frac{C p_{Max}^{m} - C p_{MUH}^{m}}{\sqrt{c^{2} + l^{2}}} \cdot y_{p} = 1.623 \text{ мкм.}$$

В активной рабочей зоне станка получим высокую точность обработки. От полной рабочей зоны данного станка, показанокрасная активная рабочая зона составляет только 8.96%. С целью увеличения точности обработки в полной рабочей зоне следует выравнивать давление, обеспечивающее больше активную рабочую зону и меньше разность максимального и минимального давления. При этом изменять параметры в направляющих: вектор и координаты сил, размеры подвижного узла.

#### 2. Методика оптимизации системы позиционирования по критерию точности

Для оптимизации точности обработки системы позиционирования следует определить координаты зоны резания, при которых давление в направляющих должно быть по возможности равномерным.

Обозначим разность максимального и минимального давления через  $\Delta p$  и полную рабочую зону станка через  $W_p$ . По результатам расчета получим активную рабочую зону  $W_3$  с существованием давления. Для повышения точности обработки, нужно увеличить активную рабочую зону  $W_3$ . Обозначим отношение  $W_p$  и  $W_3$  через  $\eta$ :

$$\eta = W_{\mathfrak{H}} / W_p \,. \tag{6}$$

Из уравнения (2) значит, что для увеличения точности обработки, нужно уменьшить разницу максимального и минимального давления в направляющих в данном исследовании.

Методику оптимизации по указанным выше параметрам можно выполнить по схеме рис. 6 в Matlab 12b.



Рис. 6 Схема методики оптимизации расчета в Matlab

**А.** Оптимизация по величинам сил резания. Изменяются только составляющие силы резания  $P_y$ ,  $P_z$  и  $P_x$ . Другие параметры постоянные. По изложенной выше методики оптимизации рассчитаны разность давления  $\Delta p$  и функция  $\eta$ . График на рис.7 строился по схеме рис. 6. Каждый график  $P_y$ ,  $P_z$ ,  $P_x$  изображает зависимости  $\eta$  (a) и  $\Delta p$  (б) в функции составляющих сил резания.



Рис. 7. Зависимости функции <br/>  $\eta$ и разности  $\Delta p$ от составляющих сил резания

Б. Оптимизация по параметрам конструкции. Изменяем координату у<sub>p</sub> силы резания, размеры суппорта, величину и координат силы веса. Другие факторы

постоянные. Методика расчета аналогична варианту А. По результатам расчета построены графики, рис. 8 – рис. 10.



**Рис. 8.** Зависимость функции  $\eta$  и разности давления  $\Delta p$  от силы веса *G* суппорта



**Рис. 9.** Зависимости функции  $\eta$  и разности давления  $\Delta p$  от координаты  $y_p$  силы резания, ширины c и длины l



Рис. 10. Зависимость функции  $\eta$  и разницы давления  $\Delta p$  от координат xG и zG силы веса G суппорта

Из анализа результатов рис. 7 – рис. 10 расчета видно, что функция η и разности давления Δ*p* изменяются, примерно, по линейной зависимости. Графики показывают

влияние разных факторов на функции  $\eta$  и разности давления  $\Delta p$ , и облегчают поиск наиболее оптимального решения.

С целью дальнейшего увеличения активной рабочей зоны (рис. 4) и уменьшения разности давления  $\Delta p$  (рис. 5) можно изменить ширину *c* и длину *l* суппорта, силы резания и веса, и их координаты. Например, для оптимизации конструкции суппорта данного станка можно выбрать *c*'=600*мм*, *l*'=800*мм*.

По аналогии с приведенным выше расчетом, построим активную рабочую зону сил резания, и ее эпюру давления (рис. 11 и рис. 12).



Рис. 11. Активная рабочая зона резания нового варианта (η'=11.46%)



**Рис. 12.** Эпюра давления нового варианта в направляющих ( $\Delta p'=0.325 H/MM^2$ )

Максимальная точность обработки в активной рабочей зоне нового варианта определяется:

$$\Delta' = Cp'_{Max}{}^m + \frac{Cp'_{Max}{}^m - Cp'_{MUH}{}^m}{\sqrt{c'^2 + l'^2}} \cdot y_p = 1.217 \, \text{мкм.}$$

Из сравнения рис. 3 – 4 и 11 – 12 следует, что за счет оптимизации конструкции станка разность максимального и минимального давления снизилась, а активная рабочая зона и максимальная точность обработки увеличились.

В данном примере не использованы все возможные варианты оптимизации.

#### Выводы

- 1. Разработана методика определение активной рабочей зоны, в которой давление распределено по всей длине поверхности направляющих.
- 2. Определена зависимость точности обработки от параметров активной рабочей зоны резания.
- 3. Показана возможность существующего увеличения точности обработки при целесообразном варьировании параметров системы позиционирования.

#### Список литературы

- 1. Чернянский П.М. Основы проектирования точных станков: теория и расчет. М.: КНОРУС, 2010. 240 с.
- 2. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
- 3. Ершов А.А. Влияние контактных характеристик соединений корпусных деталей на показатели статической точности станков: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2001. 131 с.
- 4. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.
- 5. Цзи Шоучэн, Чернянский П.М. Методика повышения точности системы позиционирования металлорежущих станков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 12-21. DOI: <u>10.7463/1214.0750300</u>
- 6. Проектирование автоматизированных станков и комплексов: в 2 т. Т. 1. / ред. П.М. Чернянского. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 331 с.
- 7. Гуртяков А.М. Расчет и проектирование металлорежущих станков. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. 136 с.
- 8. Иглин С.П. Математические расчеты на базе Matlab. СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2005. 640 с.

# Science & Education of the Bauman MSTU

Electronic journal ISSN 1994-0408 Science and Education of the Bauman MSTU, 2015, no. 10, pp. 36—46.

#### DOI: 10.7463/1015.0823142

Received:	30.09.2015
Revised:	24.10.2015

© Bauman Moscow State Technical Unversity

## Methods of Optimization Coordinates the Cutting Area on Lathes

Sh. Ji<sup>1,\*</sup>, P.M. Chernyansky<sup>1</sup>

<sup>\*</sup>jisc1988@sina.com <sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: pressure, active working zone, accuracy, optimizing method

The most important quality indicators of machining tool are accuracy and productivity. The most important factor affecting these two indicators is the stiffness of the supporting structure of machine. The processing in machining tools is based on the relative movement between the working billet and the cutting tool. The aim of the research is to improve the processing accuracy through equalizing the pressure in guides.

The paper describes an optimizing method of the cutting area in machining tools, solving the tasks of the active working zone, and processing accuracy. The plot of pressure in guides is limited to straight or plane. There are three options: 1) diagram of uneven pressure distribution along the non-full length of guides; 2) diagram of uneven pressure distribution along the full length of guides; 3) diagram of even pressure distribution along the full length of guides. For optimizing the processing accuracy of a positioning system should be determined coordinates of the cutting zone, at which the pressure in guides must be as even as possible.

The study was based on mathematical modeling and optimization of the cutting zone coordinates. We found the formula to determine the pressure in guides surface. Parameters to be optimized were selected force vectors and magnitudes of saddle in guides. The calculation technique was implemented in matlab 12b. The analysis of calculating results shows that the function  $\eta$  of active working zone and the difference  $\Delta p$  of maximum and minimum pressures are approximately linearly changed. The graphs show an impact of the different factors on the function  $\eta$ and the difference  $\Delta p$  of pressure, and alleviate finding the most optimal solution.

As a result of the study it has been found that: 1) the developed technique enables us to determine the active working zone, in which the pressure is distributed along the full length of guides; 2) the dependence of the processing accuracy on the parameters of the active working zone is defined; 3) there is the possibility to improve the processing accuracy through appropriately varying parameters of the positioning system.

#### References

- 1. Chernyanskiy P.M. *Osnovy proektirovaniya tochnykh stankov: teoriya i raschet* [Basics of designing precise machine tools: theory and calculation]. Moscow, KNORUS Publ., 2010. 240 p. (in Russian).
- 2. Vragov Yu.D. *Analiz komponovok metallorezhushchikh stankov* [Analysis of machine tools configurations]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 208 p. (in Russian).
- 3. Ershov A.A. Vliyanie kontaktnykh kharakteristik soedineniy korpusnykh detaley na pokazateli staticheskoy tochnosti stankov. Kand. dis. [Influence of the contact characteristics of compounds of case details on indicators of the machining static accuracy. Cand. dis.]. Nizhniy Novgorod, 2001. 131 p. (in Russian, unpublished).
- Levina Z.M., Reshetov D.N. Kontaktnaya zhestkost' mashin [Contact stiffness of machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 264 p. (in Russian).
- 5. Ji Sh., Chernyansky P.M. Technique for Increasing Accuracy of Positioning System of Machine Tools. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 12, pp. 12-21. DOI: <u>10.7463/1214.0750300</u>
- 6. Chernyanskiy P.M., ed. *Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov. V 2 t. T. 1* [Designing automated machine tools and systems. In 2 vols. Vol. 1]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2012. 331 p. (in Russian).
- 7. Gurtyakov A.M. *Raschet i proektirovanie metallorezhushchikh stankov* [Calculation and design of machine tools]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 136 p. (in Russian).
- 8. Iglin S.P. *Matematicheskie raschety na baze Matlab* [Matlab based mathematical calculations]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005. 640 p. (in Russian).