Математическое моделирование процесса изнашивания направляющих скольжения металлорежущих станков

04, апрель 2013

DOI: 10.7463/0413.0574580

Утенков В. М.

УДК 621.91

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

utencov@bmstu.ru

Введение

Известно, что износ направляющих скольжения металлорежущих станков вызывает существенное изменение траектории их подвижных рабочих органов. Это сказывается на точности изготавливаемых деталей, особенно на параметрах точности формы [1, 2].

В основе математического моделирования процесса изнашивания направляющих скольжения лежит расчет эпюры давления во всех их гранях, определяемых обычно по схеме сил и реакций (рис. 1).

Рис. 1 Схема действия сил и реакций в направляющих токарного станка 16K20Ф3

Неизвестными являются реакции R_a , R_b , R_c в направляющих, координаты их приложения z_a , z_b , z_c и сила Q , преодолевающая сопротивление силы резания и суммарной силы трения во всех гранях направляющих. При упрощенных расчетах принимают, что распределение давления по ширине каждой грани равномерное, а реакции R_a , R_b , R_c приложены на гранях в их середине (по ширине). Тогда семь указанных неизвестных можно определить, предполагая, что распределение реактивных моментов в направляющих пропорционально их ширине.

Рассчитав параметры R_a , R_b , R_c , z_a , z_b и z_c , строят эпюры давления в направляющих. Для определения изменения формы поверхности направляющих в процессе износа необходимо знать коэффициент изнашивания K , значения которого могут быть получены при физическом моделировании на машинах трения, из результатов эксплуатации станков или при ускоренных испытаниях опытного образца.

Основы методики расчета износа направляющих пар трения скольжения разработаны проф. А.С. Прониковым [3]. При этом базовой является зависимость

$$I_x = kS \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) p(l) dl, \quad (1)$$

где I_x — износ направляющих неподвижного элемента пары трения (станины) в точке с координатой x ; S — путь трения; l_1, l_2 — границы участка эпюры давления, участвующего в процессе изнашивания станины в точке с координатой x , $\varphi(x - l)$ — функция распределения ходов подвижного рабочего органа для точки с координатой l ; $p(l)$ — распределение давления в направляющих подвижного рабочего органа.

Постановка задачи.

Зависимость (1) широко используют для детерминированных расчетов процесса изнашивания трущихся сопряжений. Однако имеются обстоятельства, которые определяют возможность ее усовершенствования, особенно в тех случаях, когда требуется повышенная точность моделирования процесса изнашивания.

Во-первых, согласно формуле (1), эпюра давления $p(l)$ на протяжении всего исследуемого периода эксплуатации пары трения принята условно постоянной. Это обстоятельство в ряде случаев является весьма существенным, особенно когда влияние внешних сил на формирование давления в направляющих соизмеримо с влиянием силы тяжести подвижного рабочего органа (например, для большинства токарных и фрезерных станков).

Во-вторых, формула (1) не позволяет учитывать прирабатываемость трущихся поверхностей.

Рассмотрим простой пример износа направляющих при возвратно-поступательном движении ползуна по станине (рис. 2). При длине ползуна $l_{\text{пол}} = a$, длине станины $l_{\text{ст}} = 3a$, давлении в направляющих ползуна $p = \text{const}$, уравнении кривой распределения ходов ползуна $\varphi = 1/(2a)$ и полном начальном прилегании ползуна к станине расчет изношенных поверхностей направляющих станины по формуле (1) дает следующие результаты:

в зоне I ($0 < x < a$)

$$I_{\text{ст}x} = kSp x / (2a);$$

в зоне II ($a < x < 2a$)

$$I_{\text{ст}x} = kSp x / 2;$$

в зоне III ($2a < x < 3a$)

$$I_{\text{ст}x} = kSp x (3a - x) / (2a).$$

Рис. 2 Схема износа направляющих при возвратно-поступательном движении ползуна по станине токарного станка

Износ ползуна $I_{\text{пол}}$ будет равномерным по всей его длине, то есть

$$I_{\text{пол}} = kSp.$$

Многочисленные экспериментальные исследования трущихся сопряжений аналогичного типа показывают, что форма изношенных поверхностей бывает всегда сглаженной, без углов на границах зон I—III. Характерным также является наличие завалов на краях ползуна. Это объясняется тем, что по мере износа происходит некоторое перераспределение давлений по длине направляющих. Согласно формуле (1), уже после первых циклов износа должен наступить переход от контакта по всей плоскости к контакту в отдельных зонах. Считая условия контактирования направляющих в расчетах при достаточно большом пути трения неизменными, мы тем самым не учитываем постепенного изменения формы направляющих, их прирабатываемость.

Учет процесса прирабатываемости трущихся поверхностей при износе направляющих влияет на точность расчетов, особенно когда на поверхности образуются зоны, где местные давления многократно превышают уровень среднего давления в стыке.

Целью работы является разработка методики моделирование процесса изнашивания направляющих скольжения металлорежущих станков с учётом процесса прирабатываемости.

Предлагаемый алгоритм моделирования процесса изнашивания направляющих скольжения, предусматривающий возможность учета прирабатываемости трущихся поверхностей при износе, основан на известных соотношениях

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{\substack{\Delta_i \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \sum_{i=1}^n f(q_i)\Delta_i,$$

где Δ_i — длина i -го элементарного интервала; n — число элементарных интервалов, имеющих место в пределах интегрирования от a до b ; q_i — точка, соответствующая середине i -го интервала.

Заменив интеграл конечной суммой, можно получить приближенное решение. При этом промежуток от a до b разбивают на n равных частей и для точек $x_0, x_1, \dots, x_n$ с шагом $h = (b - a)/n$ вычисляют интегрируемую функцию $f(x) = y$:

$$\int_a^b f(x)dx = h(y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}). \quad (2)$$

Если представить движение ползуна на участке от a до b как движение эпюры давления $p(l)$ с достаточно малым шагом h , то, рассчитывая на каждом шаге движения

ползуна во всех точках x текущие значения давлений $p_0(l)$, ..., $p_{n-1}(l)$ и суммируя промежуточные результаты с предыдущими, можно накапливать приращение износа направляющих на выполняемом технологическом переходе, причем для любой комбинации технологических переходов со своими параметрами a , b и $p(l)$. Такой алгоритм моделирования процесса по своей сути является имитационным, так как в его основе лежит имитация взаимодействия объектов ползуна и станины.

При использовании приведённого алгоритма появляется возможность расчета износа направляющих при сколь угодно сложном характере изменения эпюры давления на пути движения рабочего органа по станине с единственным требованием неизменности эпюры давления на элементарном шаге моделирования.

С использованием машины трения на образцах, у которых измерялось изменение формы направляющих, установлено, что применение шага моделирования $h = 0,001$ м практически исключает различие между результатами моделирования процесса изнашивания направляющих пар трения скольжения с экспериментальными данными. Серия экспериментальных исследований изменения формы направляющих станка модели 16K20Ф3 в условиях заводской эксплуатации [4] также подтвердила эффективность использования изложенного в статье алгоритма моделирования процесса изнашивания.

Имитационное математическое моделирование процесса изнашивания направляющих открывает возможность достаточно точного расчета изменения траектории подвижного рабочего органа станка (вершины резца). На рис. 3 приведен пример результатов моделирования изменения траектории движения вершины резца токарного станка при износе направляющих скольжения. Точность такого моделирования подтвердили 16-ти месячные экспериментальные исследования изменения траектории суппорта станка мод. СТП-220 АП на СПО г. Павлоград, которые были проведены с использованием фотоэлектрического автоколлиматора модели АФ-1Ц [5].

Рис. 3 Изменение траектории вершины резца токарного станка при износе направляющих в различных плоскостях (координата z – направление оси шпинделя):

1 — траектория вершины резца нового станка; 2 — результаты прогнозирования

Заключение

Общим выводом по статье является экспериментально доказанная эффективность использования имитационных алгоритмов расчета износа направляющих, открывающих возможность достаточно точной оценки изменения траектории рабочих органов металлорежущих станков.

Список литературы

1. Jindong Wang, Junjie Guo, Guoxiong Zhang, Bao'an Guo, Hongjian Wang. The technical method of geometric error measurement for multi-axis NC machine tool by laser tracker // Measurement Science and Technology. 2012. Vol. 23, no. 4. Art. no. 045003. [doi:10.1088/0957-0233/23/4/045003](https://doi.org/10.1088/0957-0233/23/4/045003)
2. Siva Kumar K., Paulraj G. Geometric error control of workpiece during drilling through optimisation of fixture parameter using a genetic algorithm // International Journal of Production Research. 2012. Vol. 50, no. 12. P. 3450-3469. DOI:10.1080/00207543.2011.588616
3. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
4. Утенков В.М. Прогнозирование потери точности токарных станков при износе направляющих на базе ускоренного испытания : дисс. ...канд. техн. наук. М., МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1981. 202 с.
5. Утенков В.М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков с направляющими скольжения: дисс. ... докт. техн. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1995. 327 с.

Mathematical modeling of machine tools' guideway wear

04, April 2013

DOI: 10.7463/0413.0574580

Utenkov V.M.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

utencov@bmstu.ru

This article is devoted to the development of methods of mathematical simulation techniques for modeling machine tools' guideway wear. An example of calculation of pressure curves in the edges of the machine tool's guideways was presented; values of pressure were determined according to the scheme of the forces and reactions. The fundamentals of method for calculating wear of guideway friction pairs developed by prof. A.S. Pronikov were considered. Possibility of improving the method was demonstrated for the case, when greater accuracy for modeling wear process is required. Algorithm of wear simulation with the possibility of calculating guideways wear with any complexity of changes in pressure curves along the trajectory of working body on the bedplate. The only requirement for the calculation is that the pressure curve remains constant at the elementary step of modeling. Experimental data which verify the accuracy of modeling by the example of study of the wear process of guideways and changes in the trajectory of the movable working body of machine tools under operating conditions were also presented in this article.

Publications with keywords: simulation modeling, wear slideways, machine tool**Publications with words:** simulation modeling, wear slideways, machine tool

References

1. Jindong Wang, Junjie Guo, Guoxiong Zhang, Bao'an Guo, Hongjian Wang. The technical method of geometric error measurement for multi-axis NC machine tool by laser tracker. *Measurement Science and Technology*, 2012, vol. 23, no. 4, art. no. 045003. doi:10.1088/0957-0233/23/4/045003
2. Siva Kumar K., Paulraj G. Geometric error control of workpiece during drilling through optimisation of fixture parameter using a genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 2012, vol. 50, no. 12, pp. 3450-3469. DOI:10.1080/00207543.2011.588616
3. Pronikov A.S. *Parametricheskaya nadezhnost' mashin* [Parametric reliability of machines]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2002. 560 p.

4. Utenkov V.M. *Prognozirovanie poteri tochnosti tokarnykh stankov pri iznose napravlyayushchikh na baze uskorennogo ispytaniya. Kand. diss.* [Forecasting loss of precision of lathes with wear sliding guideways based on accelerated testing. Cand. diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 1981. 202 p.

5. Utenkov V.M. *Prognozirovanie poteri tochnosti metallovezhushchikh stankov s napravlyayushchimi skol'zheniya. Dokt. diss.* [Forecasting loss of precision metal-cutting machines with sliding guideways. Dr. diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 1995. 327 p.