



ВЕРЕИНА

Людмила Ивановна
доцент кафедры
«Металлорежущие станки»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Исследование динамики узла многоцелевого станка при быстром торможении

Л.И. Вереина

Рассмотрены условия устойчивости поступательного движения узла многоцелевого станка при быстром торможении.

Ключевые слова: многоцелевой станок, динамика торможения, устойчивость движения.

The article considers the conditions of the combined machine component forward movement stability during rapid deceleration.

Keywords: combined machine, deceleration dynamics, motion stability.

В современных многоцелевых станках [1] скорости быстрых ходов перемещающихся поступательно узлов достигают 60...120 м/мин с ускорениями до 1,5 g [2]. При быстром торможении таких узлов (столов, суппортов) возникающая инерционная сила $F_{и}$ (рис. 1) стремится опрокинуть движущийся узел относительно вперед идущей точки A узла.

На перемещающийся узел кроме нормального давления N действует сила горизонтального сопротивления F в направлении, противоположном движению узла:

$$F = F_1 + F_2,$$

где F_1 — сила, возникающая в результате упругого деформирования на величину Δ направляющих; F_2 — сила трения, которая определяется следующей зависимостью:

$$F_2 = fN = (\mu, \dot{x})N. \quad (1)$$

Здесь f — коэффициент трения скольжения, зависящий от скорости относительного перемещения \dot{x} и свойств сопрягаемых поверхностей μ ; N — равнодействующая удельных нормальных сил, действующих со стороны поверхности направляющих на узел.

Закон распределения q_i неизвестен. Однако можно предположить, что вблизи вперед идущей точки A узла в силу упругих деформаций поверхности направляющих в зоне I возникают напряжения, дающие горизонтальную F_1 и вертикальную N_1 составляющие реакции связи;

$$F_1 = \left(\int_0^e q_{i1} dx \right) \cos \alpha; \quad (2)$$

$$N_1 = \left(\int_0^e q_{i1} dx \right) \sin \alpha, \quad (3)$$

где α — угол наклона к оси x полной реакции связи в зоне I.

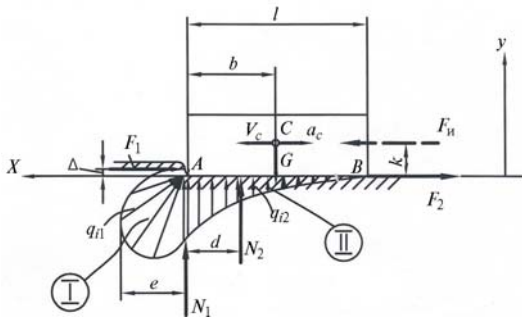


Рис. 1

В зоне II интенсивность давления со стороны связи по мере приближения к точке B будет убывать, так как в этой точке упругие деформации почти полностью восстановились и кроме того точка B все время находится в состоянии расстыковки со связью из-за наличия инерционных сил. В силу этого равнодействующая N_2 удельных давлений со стороны связи в зоне II не проходит через центр тяжести движущегося узла, а будет смещена к точке A:

$$N_2 = \int_0^l q_{i2} dx. \quad (4)$$

Введя инерционную силу $F_{и}$, запишем по принципу Д'Аламбера условия равновесия активных, пассивных и инерционных сил:

$$\sum F_{ix} = F_{и} - F_1 - F_2 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = N_1 + N_2 - G = 0;$$

$$\sum M_A(\bar{F}_i) = F_{и}k + N_2d - Gb - F_1\Delta = 0.$$

Полученную систему уравнений перепишем с учетом выражений (1)–(4):

$$ma_c - \cos\alpha \int_0^e q_{i1} dx - f \sin\alpha \int_0^e q_{i1} dx + \int_0^l q_{i2} dx = 0; \quad (5)$$

$$\sin\alpha \int_0^e q_{i1} dx + \int_0^l q_{i2} dx - G = 0; \quad (6)$$

$$ma_c k + d \int_0^l q_{i2} dx - Gd - \cos\alpha \Delta \int_0^e q_{i1} dx = 0. \quad (7)$$

Если не соблюдается равенство (7), узел будет стремиться повернуться относительно точки A. Это станет возможным, когда

$$ma_c k > Gd + \cos\alpha \Delta \int_0^e q_{i1} dx - d \int_0^l q_{i2} dx$$

или когда ускорение центра масс будет удовлетворять неравенству

$$a_c > \frac{qb}{k} + \frac{\Delta \cos\alpha}{mk} \int_0^e q_{i1} dx - \frac{d}{mk} \int_0^l q_{i2} dx. \quad (8)$$

В этом случае узел начинает отрываться от связи, поворачиваясь вокруг точки A. При этом, плечо d будет уменьшаться и, следовательно, правая часть неравенства (8) будет возрастать — условие неравенства нарушается. Узел вновь начнет скользить по направляющим. Поступательное движение становится неустойчивым.

Поскольку деформация Δ пренебрежимо мала по сравнению с размерами узла, то в первом приближении можно, положив ее равной нулю, пренебречь зоной I. Поскольку интенсивность в зоне II изменяется по параболе $q_{i2} = x^n$, то можно вычислить равнодействующую N_2 нормального давления со стороны связи (рис. 2) на перемещающийся узел

$$N_2 \int_0^l q_{i2} dx = \int_0^l x^n dx = \left| \frac{x^{n+1}}{n+1} \right|_0^l = q_{2\max} \frac{l}{n+1}$$

и ее точку приложения как центр параллельных сил

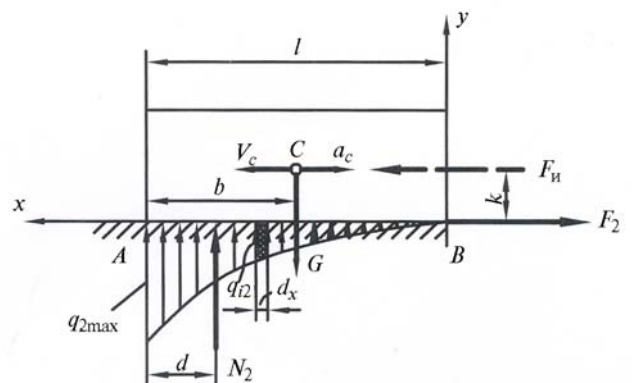


Рис. 2

$$x_{c_2} = \frac{\int_0^l x dN_2}{N_2} = \frac{\int_0^l x q_{i_2} dx}{N_2} = \frac{\int_0^l x x^n dx}{N_2} = \frac{\left. \frac{x^{n+2}}{n+2} \right|_0^l}{q_{2\max} l} = l \frac{n+1}{n+2}.$$

Из полученной зависимости определим плечо равнодействующей N_2 до точки A :

$$d = l - x_{c_2} = \frac{l}{n+2}. \tag{9}$$

Зависимости (5)–(7) принимают вид

$$ma_c - f q_{2\max} \frac{l}{n+1} = 0; \tag{10}$$

$$q_{2\max} \frac{l}{n+1} - G = 0; \tag{11}$$

$$kma_c + \frac{l}{n+2} \frac{l}{n+2} q_{2\max} - Gb = 0. \tag{12}$$

Из выражения (11) следует, что точка A испытывает удельное давление в $n + 1$ раз больше по сравнению с состоянием покоя:

$$q_{2\max} = (n+1) \frac{G}{l}. \tag{13}$$

Подставляя в формулу (12) полученное значение максимального удельного давления со стороны связи на узел станка, получим ускорение, при котором может произойти отрыв точки B от поверхности направляющих:

$$a_{c\text{пред}} \geq \frac{g}{k} \left(b - \frac{l}{n+2} \right). \tag{14}$$

При таком значении ускорения узел отрывается от поверхности связи, поворачиваясь вокруг вперед идущей точки. Однако при этом нарушаются неравенства (10)–(12) и узел вновь сопри-

касается с поверхностью связи. Прямолинейное поступательное движение становится неустойчивым.

Выводы

1. Исследование показало, что при быстром торможении узла его поступательное движение будет устойчивым только в том случае, если

$$a_c < \frac{gb}{k} + \frac{\Delta \cos \alpha}{mk} \int_0^e q_{i_1} dx - \frac{d}{mk} \int_0^l q_{i_2} dx$$

или в первом приближении (без учета упругих деформаций)

$$a_c < \frac{g}{k} \left(b - \frac{l}{n+2} \right).$$

2. Закон распределения удельных давлений по длине опорной поверхности l в зоне II (см. рис. 1) не влияет на величину предельно допустимого ускорения, при котором поступательное движение становится неустойчивым.

3. Соотношение размеров b и k оказывает существенное влияние на величину предельного ускорения при торможении узла многоцелевого станка.

Литература

1. Черпаков Б.И., Вереина Л.И. Технологическое оборудование машино-строительного производства. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 416 с.
2. Черпаков Б.И., Кашева М.Я. Концепция развития инновационного станкостроения России до 2010 года // Станкостроение: базовые и информационные технологии: Сб. науч. трудов ЭНИМС; Под ред. Б.И. Черпакова. М.: ОАО «Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков» (ЭНИМС), 2001 г.

Статья поступила в редакцию 03.11.2011