

**РАБОТА УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА**

В. И. ЛИВШИЦ

(Представлена научным семинаром кафедр станков и резания металлов
и технологии машиностроения)

Резание труднообрабатываемых материалов с самого начала сопровождается интенсивным износом инструмента, существенно меняющим картину и результат рабочего процесса даже на протяжении небольшой длины обработки. Необходимость количественной и качественной оценки влияния износа инструмента на процесс резания и его воздействия на работу станочных узлов не подлежит сомнению.

Важнейшим фактором, меняющимся по мере износа инструмента, представляется изменение дееспособности режущего клина, т. е. способности инструмента врезаться под стружку. Для острого инструмента эта способность различна для разной геометрии инструмента, разных режимов, разных пар материалов «резец — заготовка». По мере изменения способности инструмента к врезанию под стружку растет составляющая силы сопротивления резанию P_x . В экспериментах на сравнительно не жестких токарных станках, а также на поперечно-строгальных станках наблюдались случаи, когда рост P_x приводит к остановке перемещения инструмента в направлении оси X , т. е. к прекращению его фактической подачи. Затем вследствие продолжающегося движения привода подач происходит дополнительное натяжение цепи подач, заканчивающееся скачком инструмента, снимающим целиком или частично накопленную толщину среза. Подобные явления могут повторяться несколько раз подряд.

Периодическое чередование врезания и неврезания инструмента под стружку можно представить как прерывистое движение, состоящее из скачков и остановок. Рассмотрение процесса резания как процесса прерывистого движения представляется более общим подходом, чем традиционная кинематическая схема непрерывного движения, при токарной обработке, например. В реальных условиях обработка ведется с остановками, после которых неизбежны трогание с места тяжелых узлов станка, их разгон, врезание в заготовку, натяжение упругой системы привода подач, выход инструмента и т. п.

Анализ прерывистого движения применительно к станочным узлам выполнен В. Э. Пушем [1], в работах которого получено выражение для критической скорости скольжения, обуславливающей переход непрерывного движения в прерывистое. Основываясь на подходе, разработанном В. Э. Пушем, представляется возможным найти критическое значение скорости вхождения инструмента под стружку, при котором

для данной величины износа (например, по задней грани инструмента) еще сохраняется способность к врезанию под стружку у режущего клина. Практически важным является также определение предельного значения силы P_x , которое допустимо из условия непрерывного движения.

Упругую систему цепи подач станка можно представить схемой, данной на рис. 1 [1]. В состав ее входят равномерно движущееся со скоростью V_0 ведущее звено (привод), передаточные упругие звенья

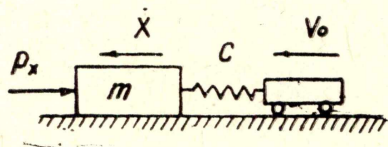


Рис. 1

приведенной жесткости C и груз массы m (станочный узел), скользящий по направляющим. Груз находится под воздействием следующей совокупности сил: а) сил инерции; б) упругой силы от воздействия привода; в) силы сопротивления резанию P_x ; г) силы трения на направляющих.

На основе практики металлообработки можно сделать вывод, что силу P_x в упругой системе цепи подач целесообразно рассматривать для следующих случаев:

I. $P_x = \text{const}$. Этот случай характерен для обработки обычных конструкционных материалов, обладающих хорошей обрабатываемостью резанием, когда износ инструмента происходит с низкой интенсивностью и оказывает влияние на процесс лишь в самом конце периода стойкости инструмента.

II. $P_x = f(t)$, где $f(t)$ — явная и непрерывная функция времени. Этот случай характерен для обработки труднообрабатываемых материалов, о чем говорилось выше.

III. $P_x = \Phi(t)$, где $\Phi(t)$ — периодическая прерывная функция, например, типа «прямоугольный синус».

Такие случаи возникают при обработке сложных несплошных поверхностей инструментами типа фасонных резцов, круглых самовращающихся резцов, резцов для силового резания и т. п.

В дальнейшем рассматривается воздействие на упругую систему цепи подач линейно возрастающей во времени силы P_x . Этот случай соответствует реальным условиям обработки труднообрабатываемых сталей [2].

Существенное значение имеет вопрос о характере сил трения на направляющих. В. Э. Пуш рассматривает работу упругой системы в условиях вязкого трения [1].

По данным ЭНИМСа [3], на направляющих подачи чисто жидкостного трения в значительной части диапазона скоростей достичь не удастся. В зависимости от условий работы, типа смазки и маслораспределения направляющие работают в режимах граничного трения, смешанного трения, жидкостного гидродинамического и гидростатического трения.

Для случая сухого трения груза по направляющим обозначим через R_1 — предельную силу трения покоя, через R_2 — силу трения движения. Возможно такое движение системы, при котором скорость груза равна скорости V_0 ведущего звена. При этом сжатая пружина создает силу, преодолевающую силы сопротивления движению груза R_2 и P_x . Если скорость V_0 мала, то какое-либо случайное препятствие может оказаться достаточным для остановки груза. Таким препятствием может явиться скачкообразное возрастание силы P_x в результате резкого изменения геометрии режущего лезвия инструмента вследствие его износа. После этого момента ведущее звено, продолжая движение, будет сжимать пружину до тех пор, пока сила сжатия не преодолеет силы R_1 и

возросшего значения P_x . Здесь произойдет срыв груза, причем сила трения резко уменьшится до значения R_2 . Равновесие сил, действующих на груз, нарушится.

Если совместить с моментом срыва начало отсчета времени $t = 0$ и отсчет перемещений вести от места остановки груза, то для момента

$$t = 0, x = 0, \dot{x} = 0. \quad (1)$$

Выражения (1) могут быть приняты за начальные условия для системы по рис. 1.

Дифференциальное уравнение движения системы запишется в следующем виде [4]:

$$m\ddot{x} = R_1 - c(x - V_0 t) - R_2 - P_x. \quad (2)$$

Введя обозначения

$$\kappa^2 = \frac{c}{m} \text{ и } P_x = \beta t, \text{ получим}$$

$$\ddot{x} + \kappa^2 x = \left(\kappa^2 V_0 - \frac{\beta}{m} \right) t + \frac{R_1 - R_2}{m}. \quad (3)$$

Решение уравнения, удовлетворяющее начальным условиям (1), получено в следующем виде:

$$x = \left(V_0 - \frac{\beta}{c} \right) t - \frac{1}{\kappa} \left(V_0 - \frac{\beta}{c} \right) \sin \kappa t + \frac{R_1 - R_2}{c} (1 - \cos \kappa t). \quad (4)$$

В правой части первое слагаемое выражает равномерное движение, а остальные слагаемые — дополнительные колебания груза. Я. Г. Пановко показывает, что после срыва через некоторое время вновь произойдет остановка, а за ней — новый срыв, и начнется следующий цикл, полностью совпадающий с предыдущим [4]. Рассматриваемый процесс представляет собой стационарные автоколебания около состояния равномерного движения груза, оказавшегося неустойчивым. Чем меньше скорость ведущего звена, тем более резко выражен процесс автоколебаний. В условиях сложной многостыковой упругой системы цепи подач указанные автоколебания могут в значительной степени демпфироваться и поэтому проявляться слабо.

Из решения (4) следует, что равномерное движение груза происходит со скоростью $V_0 - \frac{\beta}{c}$. Это позволяет сделать важный для эксплу-

атации станков вывод о том, что при линейно возрастающей во времени силе сопротивления резанию P_x подача в период установившегося процесса меньше номинальной. Дополнительная сила сжатия упругой системы цепи подач, возникающая за счет разности скоростей груза и ведущего звена, идет на преодоление прироста силы сопротивления резанию P_x . Это существенное отличие процесса от работы при $P_x = \text{const}$, когда подача в период установившегося процесса не отличается от номинальной [5]. Известное в практике увеличение подачи на выходе инструмента при работе в условиях линейно возрастающей во времени силы P_x усугубляется, что ведет к большему возрастанию сечения среза и скачку усилия на выходе.

На основании решения (4) можно также сделать вывод о том, что в случае большого значения β при малом C возрастание силы P_x приведет к остановке движения подачи.

Очевидно, существует предельное значение упругой деформации цепи подач при резании с линейно возрастающей силой P_x . В. Э. Пуш

[5] предлагает для определения суммарной деформации цепи подач следующее выражение:

$$x = t \cdot \frac{1}{2c_x \operatorname{tg} \varphi} (2c_x \operatorname{tg} \varphi s_0 + c - \sqrt{c^2 + 4c_x \operatorname{tg} \varphi s_0 c}), \quad (5)$$

где

C_x — коэффициент в эмпирической формуле силы резания, характеризующий свойства обрабатываемого материала;

φ — угол в плане инструмента;

S_0 — номинальная величина подачи.

На наш взгляд, это выражение не отражает существа работы цепи подач в станках, ибо здесь с ростом t деформация цепи подач x растет неограниченно, чего не может быть в реальных конструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Э. Пуш. Малые перемещения в станках. М., Машгиз, 1961.
2. В. И. Лившиц. Исследование обрабатываемости резанием высокомарганцевых сталей, диссертация. Томск, 1966.
3. Детали и механизмы металлорежущих станков. Т. 1, под редакцией Д. Н. Решетова. М., «Машиностроение», 1972.
4. Я. Г. Пановко. Введение в теорию механических колебаний. М., «Наука», 1971.
5. В. Э. Пуш. О скачке усилия при выходе инструмента. «Станки и инструмент», 1948, № 6.