

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ КОНСОЛЬНОГО ВАЛА

*Политехника Зеленогурска
Зелена Гура, Польша*

Относительные колебания инструмента и детали оказывают существенное влияние как непосредственно на процессы в зоне резания, так и на выходные параметры технологической системы – стойкость инструмента, точность обработки, качество поверхностного слоя. Анализируя колебательные процессы в зоне резания, можно определить сочетания амплитуды и частоты, обеспечивающие производительную и экономичную обработку.

В процессе обработки наиболее интенсивные колебания возникают только в одной системе – инструмента или детали. В частности, при точении консольно закрепленного вала колебания с наибольшей амплитудой имеет деталь.

В упругих системах, совершающих поперечные колебания, действуют силы инерции F_u , сопротивления (демпфирования) F_d , упругости $F_{упр}$ и резания P [1]. В большинстве реальных систем доминирующими являются поперечные колебания в плоскости, в которой действуют главная сила резания P_z и радиальная сила P_y , поскольку жесткость вдоль оси X значительно выше, а уровень осевой силы P_x – меньше.

Сила инерции в соответствии с известными законами механики может быть представлена в виде

$$\vec{F}_u = -m \left(\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} \vec{j} + \frac{\partial^2 z(x,t)}{\partial t^2} \vec{k} \right), \quad (1)$$

где $m = c/\omega_0^2$ – приведенная масса системы; c – обобщенный коэффициент жесткости системы; ω_0 – круговая частота первой гармоники свободных колебаний; \vec{j}, \vec{k} – орты осей Y и Z соответственно; y и z – функции времени t и длины x (вдоль оси X).

Силу сопротивления (демпфирования) для зоны малых амплитуд с некоторым приближением можно принять пропорциональной скорости колебательного перемещения

$$\vec{F}_d = \eta_0 \left(\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} \vec{j} + \frac{\partial z(x,t)}{\partial t} \vec{k} \right) \quad (2)$$

где η_0 – обобщенный коэффициент сопротивления системы.

Его можно найти, как [2]

$$\eta_0 = \frac{2m\delta_0^*}{T}, \quad (3)$$

где T – период колебаний; m – приведенная масса системы; δ_0^* – обобщенный логарифмический декремент колебаний.

Сила упругости системы может быть определена, как

$$\bar{F}_{уп} = c(y(x,t)\bar{j} + z(x,t)\bar{k}) \quad (4)$$

где $c = 3\pi D^4 E / 64 L^3$ – обобщенный коэффициент жесткости; D, L – диаметр и вылет детали; E – модуль упругости материала детали.

Сила резания и ее проекции на оси Y, Z зависят от толщины среза, причем нелинейно. Для их выражения можно использовать зависимости

$$\begin{cases} P_z = C_{Pz} b^{x_{Pz}} [a(t)]^{y_{Pz}}, \\ P_y = C_{Py} b^{x_{Py}} [a(t)]^{y_{Py}}. \end{cases} \quad (5)$$

где $C_{Pz}, C_{Py}, x_{Pz}, x_{Py}, y_{Pz}, y_{Py}$ – постоянные, зависящие от геометрии инструмента и свойств обрабатываемого материала; a, b – толщина и ширина среза.

Дополнительно, однако, следует учесть, что в связи с инерционностью процесса пластической деформации в зоне резания силы резания отстают от изменения толщины среза на некоторое время τ . Определить это время можно, используя формулу

$$\tau = \frac{a \cos(\beta - \gamma)}{V \sin \beta \cos \gamma}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\cos \gamma}{K_a - \sin \gamma} \quad (6)$$

где K_a – коэффициент утолщения стружки; V – скорость резания; γ – передний угол; β – угол сдвига.

В реальных процессах резание всегда осуществляется “по следу” предыдущего прохода, что весьма существенно сказывается на возможности возникновения автоколебаний. Учесть это влияние можно, вводя время запаздывания T , равное времени одного оборота детали (периоду колебаний).

Таким образом, запаздывание сил резания от изменения толщины среза определяется временами τ и T . Следовательно, уравнения для расчета сил резания можно представить в виде

$$\begin{cases} P_z = C_{Pz} b^{x_{Pz}} [a_0 + y(x, t - T - \tau) - y(x, t - \tau)]^{y_{Pz}}; \\ P_y = C_{Py} b^{x_{Py}} [a_0 + y(x, t - T - \tau) - y(x, t - \tau)]^{y_{Py}}, \end{cases} \quad (7)$$

где x – координата зоны резания вдоль оси детали.

В данных уравнениях принято, что мгновенная толщина среза

$$a(t) = a_0 + y(x, t - T) - y(x, t), \quad (8)$$

а с учетом погрешностей закрепления детали

$$a(t) = a_0 + \varepsilon \sin \omega t + y(x, t - T - \tau) - y(x, t - \tau), \quad (9)$$

где ε – эксцентриситет закрепления детали; ω – угловая скорость вращения детали; T – время одного оборота детали; τ – отставание изменения силы резания от изменения толщины среза.

Уравнение движения консольного вала с массой, приведенной к свободному концу, можно записать на основе принципа Даламбера:

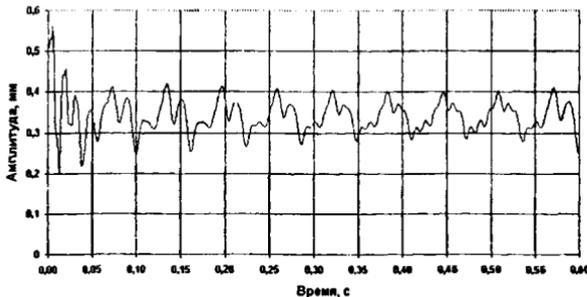
$$\vec{F}_u + \vec{F}_\delta + \vec{F}_{мп} + \vec{P} = 0. \quad (10)$$

Тогда движение оси консольно закрепленной детали в зоне резания в процессе точения, считая ее расположенной на расстоянии $x = l$ от места закрепления, можно описать системой из двух дифференциальных уравнений:

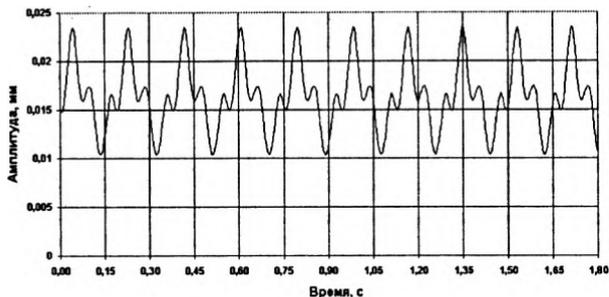
$$\begin{cases} m \frac{\partial^2 y(t)}{\partial t^2} + \eta_{ор} \frac{\partial y(t)}{\partial t} + c_y(t)y(t) = P_y(t) \\ m \frac{\partial^2 z(t)}{\partial t^2} + \eta_{оз} \frac{\partial z(t)}{\partial t} + c_z(t)z(t) = P_z(t) \end{cases} \quad (11)$$

Система (11) не может быть проинтегрирована точно и для ее решения использовался метод Рунге-Кутты.

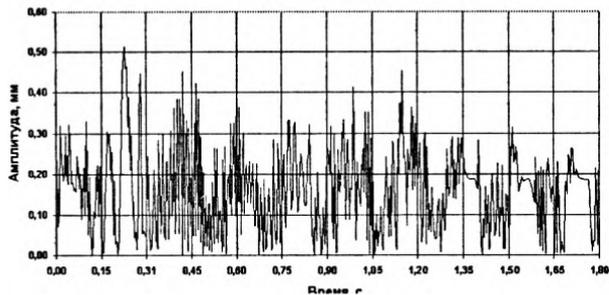
Для определения влияния условий точения деталей из стали 45 на амплитуду и частоту колебаний был спланирован численный эксперимент. В результате расчетов были получены виброграммы, характеризующие колебания консольно закрепленного вала в зависимости от времени резания, типовые формы которых приведены на рис. 1. Анализируя характер полученных виброграмм, можно выделить следующие преобладающие случаи: преобладание низкочастотных вынужденных и параметрических колебаний; возникновение автоколебаний (резкое возрастание частоты и амплитуды) в условиях пониженной жесткости технологической системы; появление подрывания (асимметричный характер виброграммы).



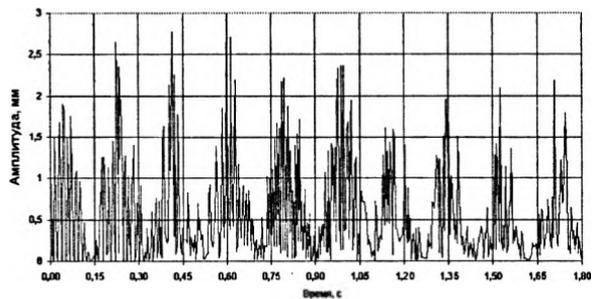
а



б



в



г

Рис. 1. Типовые формы колебаний при тчении консольно закрепленного вала: а, б -- преобладание вунужденных и параметрических колебаний с низкими частотами; в -- возникновение автоколебаний; г -- появление подрывания

После обработки результатов численных экспериментов было получено уравнение регрессии для расчета амплитуд колебаний:

$$A = 1,89 t^{1,153} S^{-0,224} V_{-0,330} \varphi^{-0,257} \epsilon^{0,745} D^{-4,0} L^{2,936}$$

Анализируя коэффициенты регрессии, легко заметить, что амплитуда колебаний возрастает с ростом глубину резания, вылета заготовки из патрона и погрешностей ее

установки и уменьшается с ростом подачи, скорости резания, главного угла в плане и диаметра заготовки.

Предложенная математическая модель колебательных процессов при точении консольно закрепленного вала позволяет снизить затраты на дорогостоящие экспериментальные исследования. В частности, установление влияния условий обработки вала на амплитуду колебаний позволяет оценить уровень изменения сил резания и использовать эти данные для расчетов на прочность узлов станка и режущих инструментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Л.: Машиностроение, 1986. – 184 С. 2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Физматгиз, 1967. – 324 С.

УДК 621.75.002

И.П. Филонов, Л.В. Курч, А.В. Шавель

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОГО СТЕНДА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Компьютеризация инженерной деятельности позволила значительно повысить продуктивность работы и избавить человека от выполнения ряда рутинных функций. А использование компьютеров и специального программного обеспечения в областях, требующих постоянного повышенного внимания и четкого выполнения инструкции, является просто необходимым.

В развитых странах широко используется при автоматизации систем для сбора данных и управления процессами программы фирмы ADVANTECH'S – разработчика данного типа прикладных систем. Программа VisiDAQ – это прикладной инструмент разработки программ для сбора данных и управления процессами. Она имеет необходимый набор функции и утилит для разработки приложений оперативной автоматизации при использовании их в среде Windows.

Типичным примером использования данного типа программного обеспечения является построение на их базе испытательных стендов для различных типов машиностроительных предприятий. Так на рис.1 приведен один из возможных вариантов интерфейса испытательного стенда двигателя внутреннего сгорания, реализованного в среде VisiDAQ. Необходимость ведения постоянного, четкого контроля требу-