ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXV, № 2, 1982 Серия технических наук

МАШИНОСТРОЕНИЕ

П. М. ЕСАЯН

К ВОПРОСУ ОБ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА

Точность обработки на металлорежущих станках различного функционального назначения зависит от устойчивости формообразующих движений и в значительной степени обуславливается величиной и направлением силы резания, характеристикой упругой системы (УС) и процесса резания (ПР).

Целью исследования является теоретическое определение условий возникновения апериодической неустойчивости замкнутой динамической системы станка, выражаемой нарастающим отклонением режущего инструмента в обрабатываемую заготовку, приводящих к нарушению точности, недопустимым деформациям, а подчас и к поломкам режущего инструмента.

Решение этой задачи приобретает особое значение для станков с ЧПУ, когда режущий инструмент и заготовка могут иметь любое взаимное расположение, вследствие чего и результирующая сила резания в пространстве может ориентироваться в любом направлении, приводя к изменению направления смещений суппортной группы.

Допуская линейность упругости, пропорциональность сил сопротивления скорости колебательного движения, пренебрегая смещениями заготовки (обрабатывается весьма жесткая заготовка), уравнения движения УС суппорта при двух степенях свободы в обобщенной системе координат (рис. 1) представим в виде [1]:

$$\begin{cases} m_1\ddot{\zeta} + h_1\dot{\zeta} + C_1\zeta = P\cos\beta; \\ m_2\ddot{\nu} + h_2\dot{\nu} + C_2\nu = P\sin\beta, \end{cases} \tag{1}$$

где m_1 и m_2 — приведенные массы УС суппорта; h_1 и h_2 — коэффициенты сил сопротивления; C_1 и C_2 — главные жесткости системы ($C_1 = C_{max}$, $C_2 = C_{min}$); P — действующая сила; β — угол между направлениями оси максимальной жесткости и действия силы; ζ и ν — обобщенные координаты, значения которых определяются как линейными, так и крутильными смещениями суппорта относительно центра жесткости.

Согласно [1], динамическую характеристику УС суппорта $W_{УС}$, как отношение выходной координаты Y к входной P можно выразить следующей формулой:

$$W_{УС} = \frac{\cos(\alpha + \beta)\sin\beta}{C_2(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)} - \frac{\sin(\alpha + \beta)\cos\beta}{C_1(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)}, \qquad (2)$$

где T_1 и T_1 — соответствующие принятым степеням свободы инерционные постоянные времени, c; T_1 и T_2 — постоянные времени демпфирования в соответствующей степени свободы, c; p — оператор Лапласа.

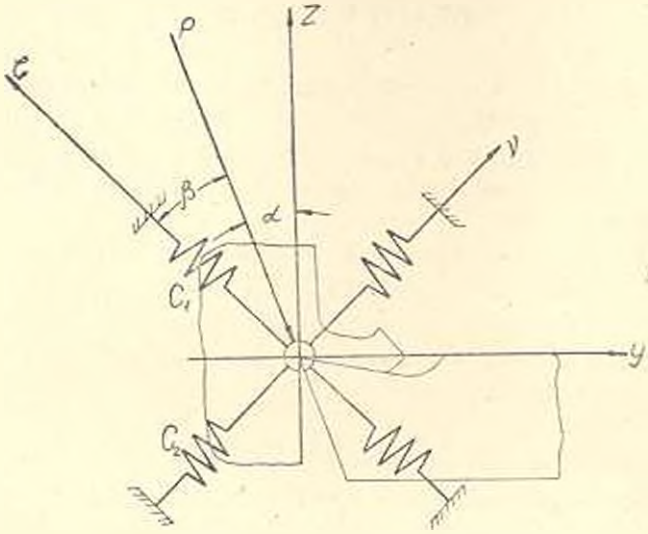

Рис. 1. Расчетная схема УС суппорта.

При $p = 0$ ($\omega = 0$, где ω — круговая частота) получаем статическую характеристику ЭУС суппорта:

$$K_{УС} = \frac{Y}{P} = \frac{\sin\beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}{C_2} - \frac{\cos\beta \cdot \sin(\alpha + \beta)}{C_1}. \qquad (3)$$

Данное выражение служит основанием для определения условия отсутствия апериодически нарастающего отклонения суппорта, выраженного неравенством [1]:

$$1 - \frac{K_{уд} \cdot b}{C_1}\left[\frac{C_1}{C_2}\sin\beta\cos(\alpha + \beta) - \cos\beta\sin(\alpha + \beta)\right] > 0. \qquad (4)$$

Как видно, условие апериодической устойчивости системы зависит от величин главных жесткостей рассматриваемой УС (C_1 и C_2), условной удельной силы резания $K_{уд}$ направления действия результирующей силы резания α и β, ширины срезаемого слоя b.

Условие (4) для рассматриваемой модельной системы суппорта (рис. 1) может быть использовано для установления характера изме-

нения отношения максимальной жесткости к минимальной при различных направлениях силы резания, определяемых углами α и β, и коэффициентом резания $K_p = K_{y_2} \cdot b$.

Из (4) следует, что, если

$$\frac{C_1}{C_2} \frac{K_p}{C_1} \sin\beta \cos(\alpha + \beta) > 0,$$

то

$$\frac{C_1}{C_2} < \frac{C_1}{K_p \sin\beta \cos(\alpha + \beta)} + \frac{\cos\beta \sin(\alpha + \beta)}{\sin\beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}. \qquad (5)$$

Для удобства анализа допустим, что $\frac{K_p}{C_1} = 1$, тогда:

$$\frac{C_1}{C_2} < \frac{1 + \cos\beta \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin\beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}. \qquad (6)$$

Расчеты условия апериодической устойчивости (6) производились на ЭВМ «Наири-2» при значениях угла β в пределах $0 \div 360°$ через каждые 15°. Для каждого значения угла β определялась величина $\frac{C_1}{C_2}$ при различных значениях угла α с его изменением в диапазоне $0 \div 360°$ через каждые 10°.

На рис. 2 показаны графики изменения $\frac{C_1}{C_2}$ для этих значений углов β и α при $\beta = 0 \div 180°$, $\alpha = 0 \div 90°$ и $280 \div 360°$, учитывая идентичность результатов расчетных данных при $\beta > 180°$ и $\beta < 180°$.

Как видно, с изменением углов β и α величина $\frac{C_1}{C_2}$ изменяется в весьма широких пределах, имея как положительные, так и отрицательные значения. В соответствии с условием (6) на диаграммах показаны области апериодической устойчивости и неустойчивости, выделены также области абсолютной апериодической устойчивости, которая зависит от отношения максимальной жесткости суппортной группы к минимальной.

В пределах изменения угла $\beta = 0 \div 90°$ характер изменения $\frac{C_1}{C_2}$ для значений $\alpha = 0 \div 30°$ идентичен и их значения положительны. Наибольшая величина отношения имеет место при $\beta = 0°$ при всех указанных значениях угла α, а наименьшая — при $\beta = 30 \div 45°$. С дальнейшим увеличением угла β область апериодической устойчивости для данных значений α уменьшается с увеличением угла β до 45°, а затем увеличивается. При $\beta = 45 \div 75°$ получаются отрицательные значения $\frac{C_1}{C_2}$. Последующее увеличение угла α приводит к резкому изменению закономерности $\frac{C_1}{C_2}$, что хорошо прослеживается на диаграммах с обозначением областей апериодической устойчивости и неустойчивости.

На рис. 2б приведены закономерности изменения $\frac{C_1}{C_2}$ в области $\beta = 0 \div 180°$ при $\alpha = 280° \div 360°$. В этом случае существенно, что при $\beta = 15 \div 90°$ значения $\frac{C_1}{C_2}$ положительны при всех углах α, а при $\beta > 90°$ — преобладают его отрицательные значения.

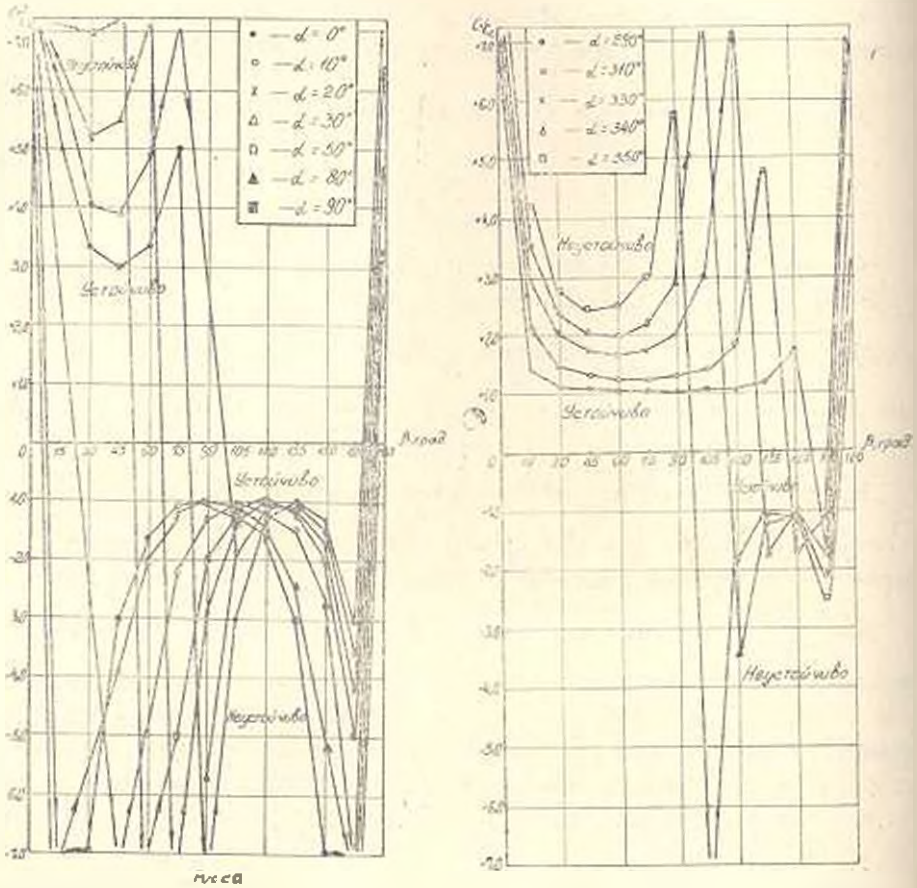

Рис. 2. Закономерности изменения отношения максимальной жесткости УС суппорта к минимальной в зависимости от направления действия силы резания: а) при значениях угла $\alpha = 0 \div 90°$; б) при значениях угла $\alpha = 280 \div 360°$.

Выводы

1. Отношение максимальной жесткости УС суппорта к минимальной при его положительных и отрицательных значениях в зависимости от направления результирующей силы резания, как конструктивно-технологический фактор, может быть принято в качестве показателя апериодической устойчивости узла.

2. На этой основе даны зависимости отношений экстремальных значений жесткостей УС суппорта от направления результирующей силы

резания при его изменении в отношении оси максимальной жесткости и тангенциальной составляющей силы резания, позволяющие установить области апериодической устойчивости и неустойчивости по этим параметрам. Наибольшей апериодической устойчивостью система суппорта обладает в случае совпадения направлений силы резания с направлением оси максимальной жесткости, наименьшей — в зависимости от угла α при значениях $\varphi = 45 \div 165°$ и $235 \div 330°$.

3. Установлены значения отношения максимальной жесткости УС суппорта к минимальной, при которых она апериодически абсолютно устойчива.

Ереванский з-д «Ерал» Поступило 4 XI 1981

Ֆ. Ս. ԽՍԱՅԱՆ

ԽԱՌԱՏԱՅԻՆ ՀԱՍՏՈՑԻ ՈՉ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԱՆԿԱՅԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ամփոփում

Հետազոտվում է թվային ծրագրավորմամբ կառավարվող խառատային հաստոցների սուպորտային խմբի ոչ պարբերական կայունության պայմանները, որոնք արտացոլում են ոչ պարբերական կայունության սահմանի կախվածություններ կտրման ուժի ուղղությունից և առավելագույն ու նվազագույն կայունությունների հարաբերությունից։ Ցույց է տրված, որ կտրման ուժի որոշակի ուղղության դեպքում ոչ պարբերական կայունության սահմանի արժեքավորումը կարելի է կատարել երկու կոշտությունների հարաբերության համապատասխան ընտրությամբ, որը կարող է լինել դրական և բացասական։ Գոյություն ունեն այդ հարաբերության այնպիսի մեծություններ, որի դեպքում սուպորտի ստաձգական համակարգը ոչ պարբերականորեն կայուն է կտրման ուժի ցանկացած ուղղության դեպքում։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Клушин В. А.* Динамика станков. М., «Машиностроение», 1967, с. 359.
2. *Пановко Я. Г., Губанова И. И.* Устойчивость и колебания упругих систем. М., «Наука», 1964, с. 336.
3. *Стрелков С. А.* Введение в теорию колебаний. М.—Л., ГИТТЛ, 1950, с. 339.