

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, Г. С. МИНАСЯН, Г. Б. БАГДАСАРЯН, Г. А. АРУТЮНЯН  
ОБ ОДНОМ ЯВЛЕНИИ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ

При исследовании процесса обработки ряда материалов (железа Армяко, сталей Ст3, У8А, 45 и 45Х) на поперечно-строгальном станке 7М36 нами обнаружено интересное явление, заключающееся в том, что при изменении скорости резания от 3 до 47 м/мин (скорость движения ползуна станка постоянна по всей длине его рабочего хода), особенно при ее малых значениях, сечение стружки по всей своей длине не постоянно: начальная часть стружки на определенной длине тоньше, чем остальная. Причем, уменьшаются как ширина, так и толщина стружки (рис. 1). К тому же с изменением сечения стружки со-



Рис. 1. Общий вид стружки.

ответственно изменяются составляющие силы резания по всей длине обрабатываемой заготовки, что наглядно видно на осциллограмме, приведенной на рис. 2.

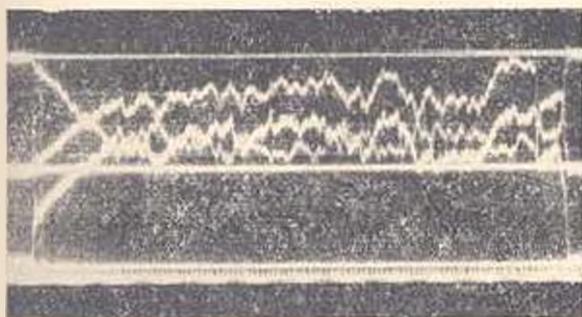


Рис. 2. Характер изменения сил резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  по длине обрабатываемой заготовки.

В статье сделана попытка объяснить обнаруженное явление автоколебаниями системы станка (ползун с резцом-стол), причем, автоколебаниями *рывного* (или *релаксационного*) характера. При этом элементом „обратной связи“, связывающим основную колебательную систему с источником притока энергии, является „ударное воздействие реза-«резаемый слой». Это — совершенно новый подход к интерпретации обнаруженного явления.

Предполагается, что при ударном воздействии реза на обрабатываемый материал (сила удара и явления, сопутствующие процессу удара, нами изучены в [1]) возникают колебания системы в направлениях ширины и толщины среза, вследствие чего уменьшается сечение срезаемого слоя. В результате на определенной длине обрабатываемого металла резец снимает слой с меньшим сечением среза, чем номинальный. Поскольку основная колебательная система в изолированном виде способна совершить затухающие собственные колебания, то следует ожидать, что, начиная с определенного момента, резец начнет снимать стружку, соответствующую номинальному сечению среза. Такая картина и наблюдается в действительности. С другой стороны, при больших скоростях резания процесс затухания колебаний протекает быстрее, чем при малых скоростях. По-видимому, этим и следует объяснить значительное уменьшение начальной длины стружек, получаемое при сравнительно больших скоростях резания. При решении задачи в качестве переменной принята только ширина стружки (глубина резания  $l_p$ ) из-за ее ясно выраженного влияния на возникновение автоколебаний.

Задача решается в следующей последовательности. Согласно предполагаемой модели колебательной системы, данной в [2], резец связан с массой системы  $m$ , подвешенной на пружинах жесткостью  $C_1$  и  $C_2$ , колеблющейся с одинаковой частотой в двух направлениях (рис. 3). Величины  $C_1$  и  $C_2$  равны главным жесткостям систем. Направления пружин  $U$  и  $V$  взаимноперпендикулярны.  $U$  отклонено на угол  $\alpha_1$  от перпендикуляра  $Y$  к обрабатываемой поверхности, а  $V$  — на угол  $\alpha_2 = \alpha_1 + \pi/2$ . Сила резания  $P$  имеет постоянное отклонение от направления  $Y$  на угол  $\beta$ . Средней глубиной резания  $l_0$  соответствует сила резания  $P_{cp}$ . При колебаниях изменяется глубина резания, а следовательно, и величина силы резания. Предполагается, что величина силы резания зависит только от положения реза в направлении  $Y$ . Ее величину можно представить зависимостью

$$P = K l_p \quad (1)$$

Поскольку нами рассматриваются только колебания, близкие к пределу устойчивости, т. е. колебания с небольшими амплитудами, то можно с достаточным приближением (1) заменить линейной зависимостью [2]:

$$P = P_{cp} + \gamma y = P_{cp} + \Delta P, \quad (2)$$

где  $y$  — отклонение от средней глубины резания  $l_p$ , измеряемое в направлении  $y$ ;

$r = r(a, b_1, \alpha, \tau, \varphi, V)$  — глубинный коэффициент силы резания.

Принимается, что величина силы  $P$  обладает одинаковой формой с выражением, связывающим силу пружины с деформацией, и действует на колебательную систему пропорционально отклонению системы  $y$ . Причем,  $P$  составляет угол  $\beta$  с осью  $y$ .

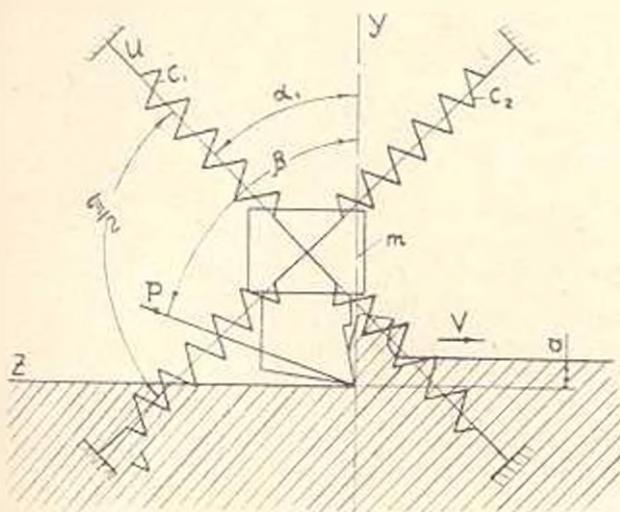


Рис. 3. Колебательная система реза

Уравнения колебаний системы имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{U} + [C_1 + r \cos \alpha_1 \cos (\alpha_1 - \beta)] U + \\ + r \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_1 \right) \cos (\alpha_1 - \beta) V = P_{cp} \cos (\alpha_1 - \beta) \\ m\ddot{V} + \left[ C_2 + r \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_1 \right) \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_1 - \beta \right) \right] V + \\ + r \cos \alpha_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_2 - \beta \right) U = P_{cp} \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_2 - \beta \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Обозначая:

$$C_1 + r \cos \alpha_1 \cos (\alpha_1 - \beta) = a_{11};$$

$$r \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_1 \right) \cos (\alpha_1 - \beta) = a_{12};$$

$$C_2 + r \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_1 \right) \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_1 - \beta \right) = b_{22};$$

$$r \cos \alpha_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \alpha_2 - \beta \right) = b_{21}.$$

получим:

$$\left. \begin{aligned} mU + a_{11}U + a_{21}V &= P_{cp} \cos(\alpha_1 - \beta) \\ mV + b_{11}V + b_{21}U &= P_{cp} \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1 - \beta\right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Частное решение (4) для смещений  $U$  и  $V$  ищем в виде:

$$U = A_1 e^{kt}, \quad V = A_2 e^{kt}.$$

Подставляя значения  $U, V, \dot{U}, \dot{V}$  в (4), получим:

$$\left. \begin{aligned} A_1(mK^2 + a_{11}K) + A_2 a_{21}K &= 0 \\ A_1 b_{21}K + A_2(mK^2 + b_{11}K) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Характеристическое уравнение будет:

$$\begin{vmatrix} mK^2 + a_{11}K & a_{21}K \\ A_1 b_{21}K & mK^2 + b_{11}K \end{vmatrix} = 0. \quad (6)$$

Раскрывая (6), получим:

$$\begin{aligned} m^2 K^4 + mK^2 \left[ C_1 + C_2 + r \cos \alpha_1 \cos(\alpha_1 - \beta) + \right. \\ \left. + r \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1 - \beta\right) + C_1 C_2 + \right. \\ \left. + C_1 \left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1 - \beta\right) + C_2 r \cos \alpha_1 \cos(\alpha_1 - \beta) \right] = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Разделив на  $r$  и обозначая:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 \cos(\alpha_1 - \beta) &= q_1; \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_1 - \beta\right) &= q_2; \\ \frac{K}{V r/m} = s; \quad \frac{C_1}{r} = p_1; \quad \frac{C_2}{r} = p_2, \end{aligned}$$

характеристическое уравнение (7) запишется в виде:

$$s^4 + s^2(p_1 + p_2 + q_1 + q_2) + p_1 p_2 + q_2 p_1 + q_1 p_2 = 0. \quad (8)$$

Откуда

$$s_{1,2} = -\frac{p_1 + p_2 + q_1 + q_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p_1 + p_2 + q_1 + q_2}{2}\right)^2 - (p_1 p_2 + q_2 p_1 + q_1 p_2)}.$$

Обозначая  $p_1 + p_2 + q_1 + q_2 = 2F$  и  $p_1 p_2 + q_2 p_1 + q_1 p_2 = E$ , дискриминант получится в виде:  $D = F^2 - E$ .

Следовательно,

$$(s)_{1,2}^2 = -F \pm \sqrt{D} \quad \text{или} \quad (K)_{1,2} = \frac{r}{m} (-F \pm \sqrt{D}).$$

Предел устойчивости будет выражен условием:

$$D = F^2 - E = 0; \quad F^2 = E. \quad (9)$$

Подставляя значения  $E$  и  $F$  в (9), получим:

$$\left( \frac{p_1 + p_2 + q_1 + q_2}{2} \right)^2 = p_1 p_2 + q_2 p_1 + q_1 p_2. \quad (10)$$

После ряда преобразований уравнение (10) примет вид:

$$r_{\text{пред}} = \frac{C_1 - C_2}{q_1 - q_2 + 2V - q_1 q_2}.$$

Для расчетов приводится таблица (табл. 1).

Таблица 1

Марка металла	$v$ , м/мин	$C_1$ , Т/см	$C_2$ , Т/см	$q_1$	$q_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$r_{\text{пред}}$ , мм/мм
Железо Армо	8	63	30,6	0,790	27°00'	-0,210	54°06'	1,75
Сталь У8А	8	63	30,6	0,770	23°48'	-0,220	55°12'	1,80
Железо Армо	36	63	30,6	0,790	36°20'	-0,125	48°30'	2,09
Сталь У8А	36	63	30,6	0,804	30°30'	-0,183	51°40'	1,89

Имея значения  $r_{\text{пред}}$ , по формуле (2) можно подсчитать переменную составляющую  $\Delta P_y$  в направлении  $y$  [2]:

$$\Delta P_y = r \cos \beta (y_n - y_{n-1}),$$

где  $y_n$  и  $y_{n-1}$  — соответственно отклонения колеблющейся системы при обработке  $n$ -ой и  $(n-1)$ -ой стружек. Имея в виду, что между глубиной резания и силой резания существует примерно прямо пропорциональная зависимость, по подсчитанной величине  $\Delta P_y$  можно определить расчетную величину первоначальной ширины стружки  $b_{\text{расч}}$ . Подсчитанные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Марка металла	$v$ , м/мин	Ширина стружки в мм			$y_n$ , мм	$y_{n-1}$ , мм	$y_n - y_{n-1}$ , мм	$P_y$ , кГ	$\Delta P_y$ , кГ	$P_y'$ , кГ
		$b_1$	$b_{\text{эксп}}$	$b_{\text{расч}}$						
Железо Армо	8	2,49	2,1	1,98	0,067	0,052	0,015	78	18	60
Сталь У8А	8	2,20	1,9	1,80	0,022	0,012	0,010	56	10	46
Железо Армо	36	1,80	1,4	1,45	0,029	0,012	0,017	150	23	127
Сталь У8А	36	1,80	1,6	1,20	0,025	0,010	0,015	100	20	80

Сравнение экспериментальных значений первоначальной ширины стружки  $b_{\text{эксп}}$  с расчетными значениями  $b_{\text{расч}}$  дает удовлетворительное

совпадение. Это говорит о том, что обнаруженный переменный характер изменения сечения стружки в зависимости от скорости резания можно объяснить явлением автоколебаний системы станка в момент соударения реза с обрабатываемый материал.

Поступило 3. IV. 1970

Ի Գ ԽՈՅԱԿՆ, Գ Ո ՄԵԿՈՅԱԿՆ, Զ Ո ՍԵՐԿՈՅԱԿՆ, Է ԶԱՐԻՔՅԱՆՔՅԱԿՆ

## ԻՐ ԵՐԵՎԱՆԻՑԻ ԻՄԱՆԵՆՑԻ ԸՆԴՀԱՆՍ ԿՏՐԻՈՒՆ ԺՈՒՐՆԱԿԻ

### Ո Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Հետազոտված է ուսնդման ժամանակ տաշեղի հատվածի փոփոխման բնույթը՝ կախված կտրման արագությունից: Ենթադրվում է, որ կտրիչը մշակվող նյութին հարվածելիս, կտրվածքի հաստության և լայնության ուղղությամբ առաջ են գալիս սիստեմի ինքնատատանումներ, որոնց հետևանքով փոքրամասն է կտրվածքի մակերեսը: Օդաազդը ծելով սիստեմի տատանումների հավասարումները, ստացված են կտրման ուժի խորացման գործակցի հաշվարկային արժեքները: Ըստ վերջինների հաշվված է տաշեղի սկզբնական մասի լայնությունը: Տաշեղի սկզբնական մասի լայնության հաշվարկային և էքսպերիմենտալ եղանակով ստացված մեծությունների համադրումը տվել է բավարարողամիտություն:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Касьян М. В., Арутюнян Г. А., Багдасарян Г. В. О связи силы удара с характером изменения силы резания при строгании. „Известия АН Арм ССР (серия Т. Н.)“, т. XXIII, № 1, 1970.
2. Тлустый И. и Полочек М. Теория возникновения автоколебаний при обработке и расчет устойчивости металлорежущих станков „Станки и инструмент“, № 3, № 4, 1956