

## Л и т е р а т у р а

1. Т р о ш е н с к и й С.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. - М.: Машиностроение, 1964, 203 с.
2. С м о л и н В.Д. Формулировка задачи оптимизации режима резания для наружной токарной обработки. - В сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. Вып. 3.-Куйбышев: КуАИ, 1976.

УДК 621.951.02

Г.Т.Авдонин, Е.В.Бурмистров,  
И.Г.Жарков, Е.М.Маркушин

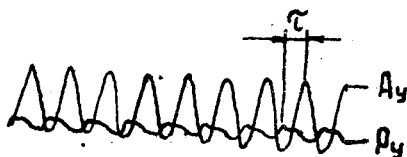
### ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛЫ РЕЗАНИЯ (ОТСТАВАНИЯ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА) НА ИНТЕНСИВНОСТЬ АВТОКОЛЕБАНИЙ

Исследователи установили [1]- [6], что важнейшей причиной возбуждения и развития автоколебаний в технологических системах СПИД является отставание изменения силы резания от изменения толщины среза.

Впервые влияние этого фактора на интенсивность автоколебаний было установлено расчетным путем в работах [4], [6]. Расчеты выполнялись на основе разработанной авторами математической модели автоколебательного процесса с использованием дифференциально-разностных уравнений с запаздывающим аргументом. При этом величина отставания  $\tau$  принималась произвольно как некоторая доля от периода колебаний. Учесть ее реальные значения, фактически имеющие место при резании, не представлялось возможным из-за отсутствия экспериментальных данных.

Для того, чтобы восполнить имеющийся пробел и получить экспериментальные данные о величине  $\tau$  и ее зависимости от элементов режима резания, нами была разработана малоинерционная динамометрическая и виброизмерительная аппаратура [7] на базе использования бесконтактных вихретоковых преобразователей перемещений. Опыты, проведенные при обработке точением различных материалов: жаропрочной стали ЭП4Ю (X15H5BD), стали 45 в незакаленном и закаленном

состоянии, титанового сплава ВТ10 и латуни ЛС59 – показали, что во всех случаях имеет место отставание силы резания от изменения толщины среза (рис. 1). Величина отставания  $\tau$  колеблется в широких пределах: от 2 до 8 миллисекунд – в зависимости от элементов режима резания, геометрии инструментов, пластических свойств материалов и их склонности к наростообразованию (рис. 2-5).

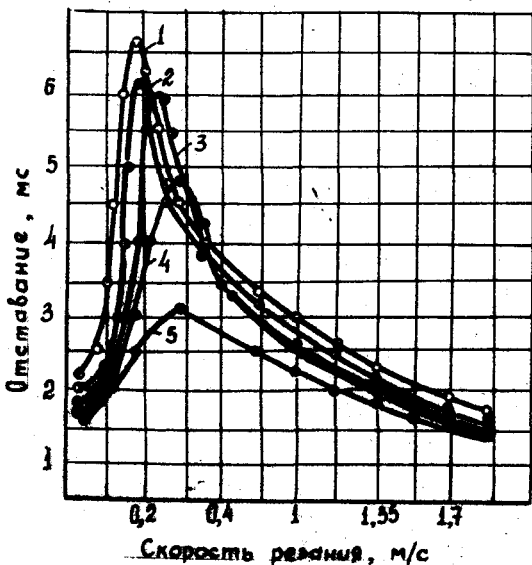


Р и с. 1. Отставание изменения силы резания от изменения толщины среза (экспериментальные осциллограммы)

Аналитическая обработка экспериментальных данных позволила получить формулу для расчета величины  $\tau$  в зависимости от скорости резания и толщины среза:

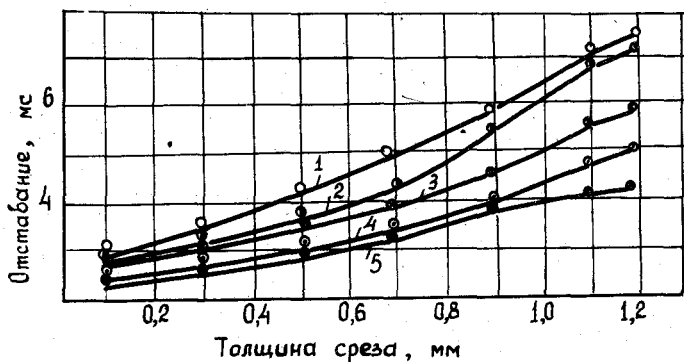
$$\tau = C_{\tau} \frac{a^{0,28}}{v^{0,55}} \quad (I)$$

На основе этой зависимости была уточнена математическая модель автоколебательного процесса при резании с учетом переменности величины  $\tau$ , вызванной изменением фактической скорости резания и толщины среза при возникновении колебаний. Сопоставление

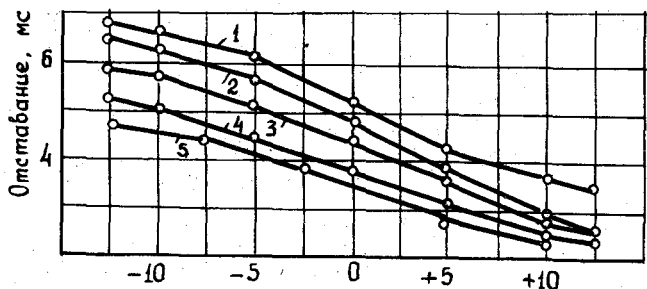


расчетных и экспериментальных виброграмм (рис. 6) показывает, что при переменном отставании  $\tau$  автоколебательный процесс развивается более быстрыми темпами и протекает с большей интенсивностью. Амплитуда коле-

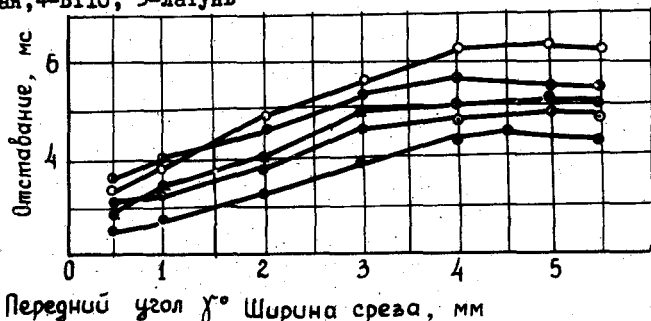
Р и с. 2. Зависимость величины отставания  $\tau$  от скорости резания: 1- $\delta = 4$  мм,  $\alpha = -1$  мм,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ; материал реза - ВКВ; 1-Х15Н5ВД, 2-Ст.45 незакаленная, 3-Ст.45 закаленная, 4-ВТ10, 5-латунь



Р и с.3. Зависимость величины отставания  $\tau$  от толщины среза: 1-Х15Н5ВД, 2-ст.45 незакаленная, 3-ст.45 закаленная, 4-ВТ10, 5-латунь

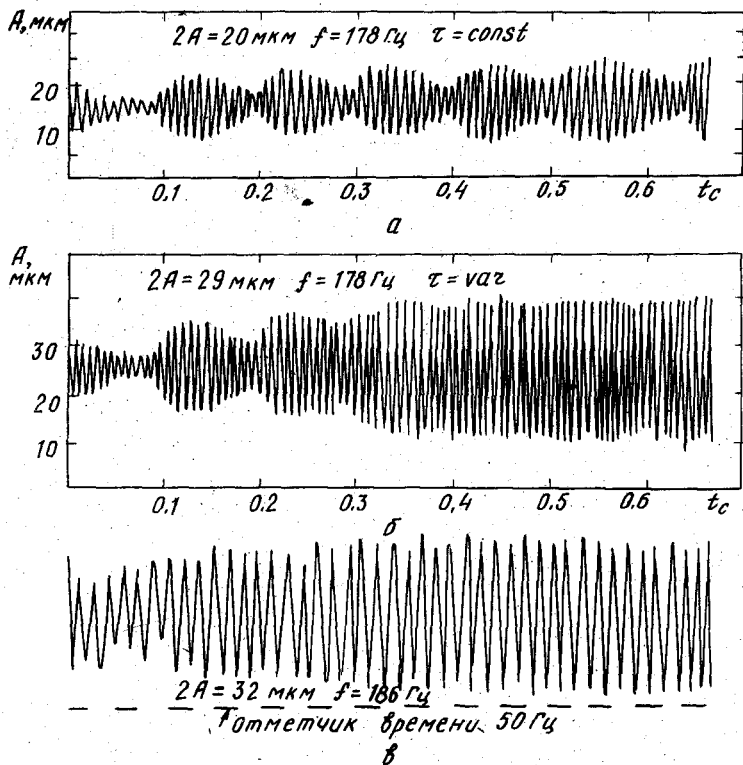


Р и с.4. Зависимость величины отставания  $\tau$  от ширины среза: 1-Х15Н5ВД, 2-ст.45 незакаленная, 3-ст.45 закаленная, 4-ВТ10, 5-латунь



Р и с.5. Зависимость величины отставания от переднего угла реза: 1-Х15Н5ВД, 2-ст.45 незакаленная, 3-ст.45 закаленная, 4-ВТ10, 5-латунь.  $b = 4$  мм,  $w = 1$  мм.  $v = 0,42$  м/с,  $\alpha = 10^\circ$ , резец ВК8

баний стабилизируется уже на 4-5-ом оборотах детали (рис. 6,б), а ее величина в 1,3-1,4 раза больше, чем при  $\tau = \text{const}$  (рис. 6,а) и более близка к экспериментальным данным (рис. 6,в). Это свидетельствует о правомерности принятых уточнений в математической модели автоколебательного процесса и подтверждает необходимость учета изменения фазовой характеристики силы резания.



Р и с. 6. Расчетные и экспериментальные виброграммы  $v = 10 \text{ м/с}$ ,  $m = 4 \text{ Нс/м}$ ,  $a = 0,1 \text{ мм}$ ,  $\delta = 4 \text{ мм}$ ,  $C = 550 \cdot 10^4 \text{ Н/м}$

Анализ графиков, приведенных на рис. 2-5, показывает, что зависимости фазовой характеристики силы резания (отставания)  $\tau$  от различных факторов во многом идентичны зависимостям усадки струж-

ки от этих же факторов. Это подтверждается данными работы [8] и результатами наших экспериментов по определению усадки стружки.

Указанное обстоятельство свидетельствует о существовании однозначной прямо пропорциональной зависимости между величиной  $\tau$  и усадкой стружки. Такие зависимости применительно к обработке нержавеющей стали X18H9T, стали 45 и титанового сплава BT20 представлены на рис. 7. При этом значения усадки  $\xi$  получены при различных комбинациях элементов режима резания.

Как видно из рис. 7, каждому значению усадки  $\xi$ , независимо от того, при

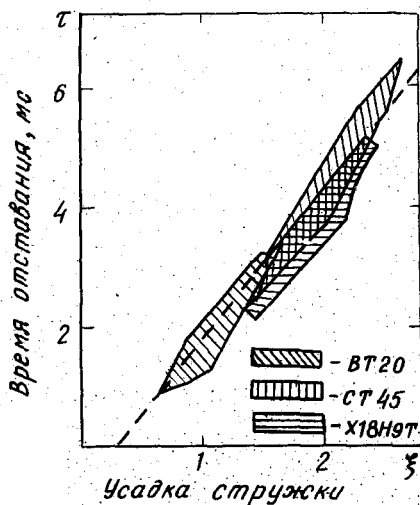
какой комбинации элементов режима резания оно имело место, соответствует, с известным приближением, определенное значение  $\tau$ . Степень влияния усадки на величину  $\tau$  остается примерно одинаковой, несмотря на существенное различие в механических показателях исследованных материалов.

На основании приведенных данных зависимость фазовой характеристики силы резания от усадки стружки можно выразить в виде

$$\tau = 1 + 1,33 \xi. \quad (2)$$

Получение таких зависимостей и их использование открывает пути для оптимизации автоколебаний. Как показано в работе [9], оптимизация может осуществляться в несколько этапов.

На первом этапе назначается максимальное сечение среза, исходя из условия обработки детали за один проход и применения наибольшей технологически допустимой подачи. По известным стойкост-



Р и с. 7. Зависимость фазовой характеристики силы резания (отставания) от усадки стружки

ные зависимости рассчитывается по нормативам скорость резания, соответствующая выбранной стойкости инструмента.

На выбранном режиме производится простой эксперимент по снятию пробной стружки. По снятой стружке определяется коэффициент поперечной усадки  $\epsilon$ , а по следу на поверхности резания — частота и период автоколебаний  $T_K$ .

Далее в соответствии с зависимостью (2) рассчитывается величина отставания  $\tau$  и ее доля от периода колебаний.

Используя расчетные графики зависимости амплитуды колебаний от отношения  $\tau/T_K$  [7] и эмпирические связи между параметрами волнистости и шероховатости поверхности, с одной стороны, и амплитудой колебаний, с другой, устанавливает приемлемость уровня интенсивности вибраций при заданном качестве обработки. Если величина амплитуды находится в зоне оптимальных значений, то процесс оптимизации на этом заканчивается. В противном случае следует переходить ко второму этапу.

На втором этапе делается попытка оптимизировать автоколебания без снижения минутной производительности обработки и без применения специальных устройств для демпфирования колебаний и увеличения жесткости системы СПИД.

Оптимизация достигается путем рационального изменения величины  $\tau$  за счет варьирования величиной усадки, что, в свою очередь, достигается изменением в допустимых пределах скорости резания, толщины и ширины среза, переднего угла инструмента и применением оптимальных смазочно-охлаждающих жидкостей. Это выполняется с помощью специально разработанных номограмм.

Если перечисленными методами не удается оптимизировать автоколебания, приходится переходить к третьему этапу.

На третьем этапе оптимизация автоколебаний достигается за счет изменения суммарной жесткости системы СПИД или за счет демпфирования колебаний путем введения пассивных или активных (в частности, ультразвуковых) демпферов. Эти методы требуют определенного времени на подготовку производства и материальных затрат.

Использование разработанной методики и результатов исследования фазовой характеристики силы резания (отставания)  $\tau$  позволяет оптимизировать автоколебания системы СПИД и достичь существенного повышения стойкости инструмента, производительности и качества обработанных изделий.

## Л и т е р а т у р а

1. К у д н и о в В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967.
2. К у ч м а Л.К. Экспериментальные исследования вибраций при резании на токарных станках. Сборник трудов. ЦНИИТМАШ, кн. 15, Машгиз, 1948.
3. Т а ш л и ц к и й Н.И. Первичный источник энергии возбуждения автоколебаний при резании металлов. Вестник машиностроения, 1962, № 2.
4. Х а р к о в И.Г. Исследование автоколебаний, возникающих при обработке резанием конструкционных материалов. Автореферат докторской диссертации. - Куйбышев: КуАИ, 1974.
5. Э д ь я с б е р г М.Е. Основы теории автоколебаний при резании металлов. Станки и инструмент, 1960, № 2.
6. Б у р м и с т р о в Е.В., М а р к у ш и н Е.М., Т а р а с о в А.В. Исследование динамики процесса сверления отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных и титановых сплавов. - В сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. Вып. 4. - Куйбышев; КуАИ, 1976.
7. А в д о н и н Г.Т., Б у р м и с т р о в Е.В., Х а р к о в И.Г., М а р к у ш и н Е.М. Исследование величины отставания изменения силы резания от изменения толщины среза. - В сб.: Обработка высокопрочных сталей и сплавов инструментами из сверхтвердых синтетических материалов. - Куйбышев: КуАИ, 1980.
8. З о р е в Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956.
9. Х а р к о в И.Г. Методика оптимизации автоколебаний упругих систем СПИД. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по динамике станков. - Куйбышев: КуАИ, 1980.