

М. А. ЕСАЯН, В. О. КИРИЩАН

## ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ШЛИФОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ КРУГОМ С ЗЕРНАМИ ИЗ ЭЛЬБОРА

Автоколебания являются одной из серьезных проблем шлифования, им в последние годы посвящено много исследований [1, 2]. С появлением новых абразивных инструментов из зерен алмаза и эльбора, ввиду высоких требований к качественным показателям обработанных поверхностей этими инструментами, вопросы устойчивости технологической системы становятся более значительными. Однако если по динамике процесса шлифования алмазными кругами и имеются отдельные исследования (например, [2]), то по шлифованию кругами из эльбора в этой области нет никаких работ. Между тем установлено, что характеристика и свойства шлифовального круга и обрабатываемого материала играют определяющую роль в устойчивости системы.

В данной статье, являющейся частью общих исследований динамики процесса шлифования, приводятся результаты экспериментальных исследований устойчивости системы при шлифовании материалов с различными физико-механическими свойствами кругом с зернами из эльбора.

Опыты проводились на круглошлифовальном станке 3Б12, установленном на вибробашмаки. Шлифовались образцы ( $\Phi 50$  мм,  $l = 250$  мм) из сталей 45 (НРС=48—52), У10 (НРС=58—62), чугуна СЧ 21—40 (НРС=35—40) кругом Л06Б1 100% с охлаждением зоны резания раствором эмульсола. Обработка производилась в следующих режимах:  $V_{кр} = 38$  м/сек,  $n = 100—600$  об/мин,  $S = 0,5, 1, 2, 3$  м/мин,  $t = 0,002—0,012$  мм/дв. ход.

Измерительная аппаратура [3] обеспечивает одновременную регистрацию относительных колебаний шлифовального круга и изделия при холостом ходе и резании, изменений составляющих силы резания двумя квадратными тензометрическими центрами, степени засаливания периферии круга, волнообразования и направления динамических изменений сил резания. Балансировка круга, с целью достижения минимума амплитуд составляющих спектра колебаний ( $1 \div 2$  мкм), производилась на месте прибором УБП-1А; правка круга осуществлялась сплавом ВТ-1 в каждой серии экспериментов.

Предварительными измерениями установлен спектр доминирующих частот собственных колебаний элементов системы станка: 1133 гц (изделие на центрах), 500 гц (передняя бабка), 250 гц (шлифовальная бабка), 175 гц (задняя бабка), 200 гц (стол) и 31 гц (станина).

Спектр колебаний холостого хода формируется составляющими на частотах собственных колебаний тех же элементов системы и на частотах возбудителей.

При обработке сталей 45, У10 и чугуна СЧ 21-40 в частотном составе колебаний существенных изменений не наблюдалось. Развитие неустойчивой составляющей спектра происходит на частоте собственных колебаний подсистемы передней бабки, как наименее жесткого звена в УС станка.

Из спектра частот колебаний составляющих силы резания выделяются три гармоники, вызванные вращением детали (2—10 гц), дебалансом круга (42 гц) и автоколебаниями (500 гц, рис. 1).

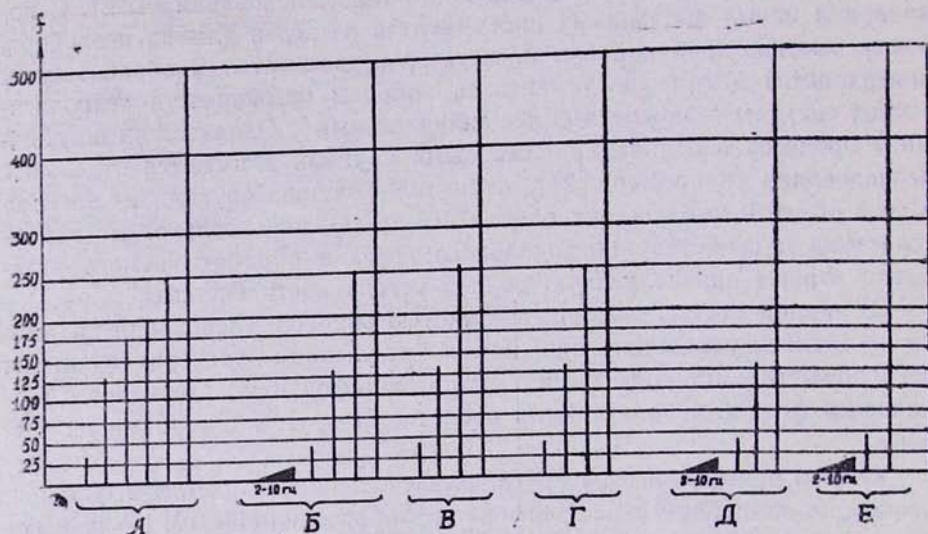


Рис. 1. Спектры колебаний: А—свободных колебаний элементов системы. Б—холостого хода станка. В, Г, Д—при шлифовании сталей 45, У10 и чугуна соответственно.

Проследим за развитием уровня неустойчивой формы колебаний при изменении глубины шлифования. Из рис. 2 видно, что при обработке стали У10 с глубины шлифования  $t = 0,004$  мм/дв. ход имеет место резкое возрастание размаха неустойчивой формы, при  $t = 0,012$  мм/дв. ход он достигает 14 мкм. При шлифовании стали 45 возрастание амплитуды неустойчивой формы наблюдается с  $t = 0,006$  мм/дв. ход, достигая 6 мкм при  $t = 0,012$  мм/дв. ход. В случае шлифования чугуна СЧ 21-40 развитие уровня неустойчивой составляющей колебаний в реализуемых режимах не наблюдалось, заметный рост уровня данной формы обнаруживается с глубины шлифования  $t = 0,012$  мм/дв. ход. Между относительными колебаниями круга и изделия и колебаниями сил по неустойчивой составляющей наблюдается сдвиг по фазе при обработке сталей 45 и У10 (рис. 3). При этом с увеличением интенсивности колебаний неустойчивой составляющей фазовый сдвиг между относительными ко-

лебаниями круга и изделия и составляющими силы резания увеличивается, приближаясь к  $\frac{\pi}{2}$ . При обработке чугуна этот фазовый сдвиг равен нулю. При этом обнаруживается несоответствие изменения интенсивности автоколебательной составляющей в спектре колебаний сил резания и относительных колебаний круга и изделий на той же частотной составляющей. Увеличение амплитуды автоколебаний системы не соответствует увеличению в спектре составляющих сил при обработке сталей 45, У10.

Выполнены построения диаграмм устойчивости (рис. 4). Как видно, граница устойчивости при обработке стали У10 определяется глубиной резания  $t = 0,004$  мм/дв. ход при обработке стали 45 область устойчивого резания расширяется —  $t = 0,006$  мм/дв. ход. При шлифовании чугуна граница устойчивого резания определяется максимальным предельным значением глубины резания —  $t = 0,012$  мм/дв. ход. Во всех трех случаях наблюдается расширение области устойчивого шлифования при увеличении скорости вращения изделия. Рассматривая влияние факторов на устойчивость системы, в частности, волнистости на круге и детали, засаленности на периферии круга (износ мал), установлено,

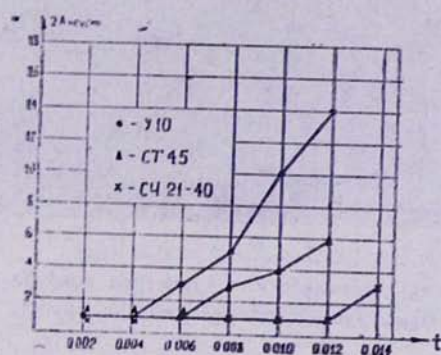


Рис. 2. Зависимость уровня вибраций от глубины резания.

что волнообразование на периферии круга не носило систематического характера при обработке сталей 45, У10 и чугуна. Возникающие на периферии круга три волны за один оборот круга сглаживались последующим оборотом круга.

Волнообразование на поверхности детали ни на частотах вынужденных колебаний (2—10 гц или 42 гц), ни на частотах автоколебаний (500 гц) не обнаруживалось. Следовательно, влияние волнистости на круге и изделии на устойчивость системы при обработке эльбором можно считать малосущественным. Опытами также установлено, что круг с зёрнами эльбора при обработке сталей 45, У10 и чугуна обладает хорошей самозатачиваемостью. К тому же он претерпевает незначительное засаливание (5÷15%). Поэтому вряд ли можно неустойчивость системы объяснять воздействием этих факторов. Можно считать, что определяющими в развитии автоколебаний при обработке эльбором яв-

ляются другие факторы. В частности, при неизменных свойствах упругой системы устойчивость системы будет определяться физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и режимом резания. При заданных же условиях обработки она будет определяться свойствами упругой системы. Ниже по материалам экспериментов рассматриваются именно эти аспекты.

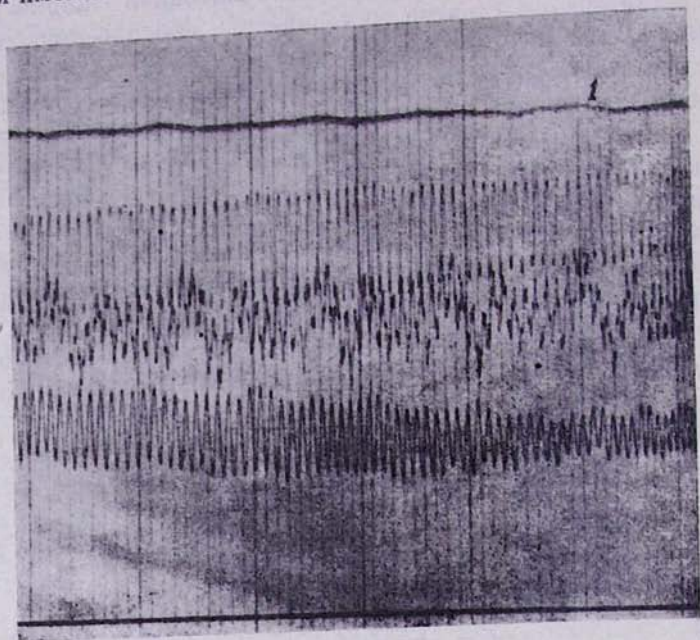


Рис. 3. Осциллограммы динамических параметров контура автоколебаний (1—степень засаливания периферии круга).

Было показано, что развитие автоколебаний при обработке сталей 45 и У10 сопровождается увеличением сдвига по фазе между динамическими изменениями силы резания и вибрационными смещениями системы. При шлифовании чугуна до  $t_{np} = 0,012$  мм/дв. ход ни вибраций, ни запаздывания силы не обнаруживалось. Известно также, что запаздывание силы резания обусловливается упруго-пластическим характером деформации металла в зоне резания [4], если при этом пренебречь влиянием различных предвходящих факторов, например, воздействием на устойчивость динамической системы возмущений в УС. В силу этого, казался бы, запас устойчивости системы при обработке стали У10 должен был быть выше, чем при обработке стали 45. Между тем запас и степень устойчивости при обработке стали У10 ниже. Дополнительно исследовалась устойчивость системы при обработке стали 3. Установлено, что в этом случае степень засаленности круга достигает 40% и выше, а процесс шлифования протекает в глубоко неустойчивой области —  $t_{np} = 0,004$  мм/дв. ход. При  $t = 0,012$  мм/дв. ход уровень автоколебаний достигает 17 мкм.

Увеличение числа оборотов изделия приводило к снижению фазового сдвига между динамической силой резания и относительными вибрационными смещениями круга и изделия, обуславливая повышение устойчивости системы при больших числах оборотов изделия. Как видно, устойчивость системы однозначно не определяется рабочим процессом. Для установления причин неустойчивости необходим учет свойств основных элементов замкнутого контура автоколебаний — характера их взаимодействия в зоне контакта, комплекса свойств обрабатываемого материала, жесткости УС по направлениям осей основной системы координат и др., в сумме определяющих ориентацию динамических изменений силы резания в неустойчивой форме колебаний.

Для получения информации об ориентации динамических изменений силы резания и о ее влиянии на устойчивость системы в экспериментах использовалась установка заготовки на центрах квадратного профиля с различными жесткостями в разных направлениях, но с одинаковой жесткостью во взаимоперпендикулярных направлениях радиальной и

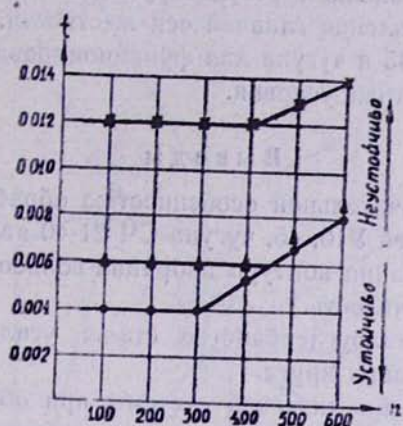


Рис. 4. Диаграмма зон устойчивости.

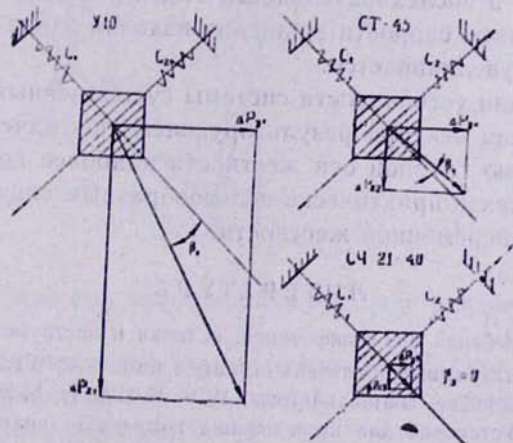


Рис. 5. Иллюстрация направлений колебаний составляющих сил резания и главных осей жесткости УС.

тангенциальной составляющих сил резания. Обеспечивалась одинаковая чувствительность тензометрических датчиков и равное усиление сигналов, идущих от усилителя к осциллографу. На рис. 5 схематически показаны соотношения между векторами радиальных  $\Delta P_r$  и тангенциальных  $\Delta P_z$  динамических сил резания, обозначены направления главных осей жесткости.

Как видно, результирующий вектор сил при обработке стали У10 более всего удален от главной оси жесткости (угол  $\beta_1$ ); при обработке стали 45 этот угол ( $\beta_2$ ) меньше, и в случае обработки чугуна направление результирующего вектора сил совпадает с направлением главной оси жесткости системы (ввиду малости сил резания при шлифовании жесткость системы определяется жесткостью центров с установленной заготовкой).

Сопоставлением с ранее приведенными данными можно заключить, что низкая устойчивость системы при обработке стали У10 обусловливается большим отклонением результирующего вектора динамических сил резания от направления главной оси жесткости. В этом отношении при обработке стали 45 и чугуна для функционирования системы создаются более благоприятные условия.

### Выводы

1. Наиболее отличительной особенностью обработки кругом с зернами из эльбора сталей У10, 45, чугуна СЧ 21-40 является слабое влияние звеньев запаздывания контура вибраций-волнообразования, износа, засаливания на устойчивость.

При обработке малоуглеродистых сталей усиливается влияние на устойчивость засаливания круга.

2. Устойчивость динамической системы при обработке эльбором в значительной степени зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и режима резания. Повышение запаса устойчивости системы идет в последовательности сталь 3—сталь У10—сталь 45—чугун. С повышением скорости вращения изделия запас и степень устойчивости системы увеличивается.

3. В повышении устойчивости системы существенным является сближение направления вектора результирующей динамической силы резания к направлению главной оси жесткости наиболее податливого звена системы. В этой связи практически целесообразным следует считать применение центров переменной жесткости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Ванек. Автоколебания при шлифовании. «Станки и инструмент», 1975, № 6.
2. Р. М. Busch, Werkzeugmaschinen-schwingungen und ihre Wirkungen auf die Diamant-Schleifscheibe, Diamant-Inform, 1970, № M20, 7—14 Э-И, Р-И, 1971, № 15.
3. В. О. Кирищян. Установка для исследования комплекса динамических параметров элементов контура вибраций при шлифовании. «Промышленность Армении», 1976, № 8.
4. В. А. Кудинов. Динамика станков. М., «Машиностроение», 1967.