

**Ключевые слова:**

параметр,  
шероховатость,  
поверхность,  
точение, контроль,  
ВА-сигнал

# КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

**Александр БОРИСОВ, Андрей МАСЛОВ**

Приведены результаты экспериментальной проверки возможности контроля параметров шероховатости обрабатываемой поверхности методами виброакустического диагностирования.

В работе [1] показана возможность диагностирования и контроля процесса резания по предельному параметру шероховатости обработанной поверхности. Для реализации такого метода был проведен цикл экспериментальных работ.

Исследовалась взаимосвязь показателей виброакустических (ВА) сигналов управляемых параметров шероховатости и управляющих факторов процесса точения жаропрочного сплава ХН77ТЮР (ЭИ437Б): скорость резания  $v$ , глубина  $t$  (толщина среза по торцу) и подача  $s$  на один оборот заготовки.

Эксперименты проводили на токарном станке с ЧПУ модели МК7601 Ф3 класса точности В. Обрабатывали торцы заготовок диаметром 55 мм и длиной 95 мм на следующих режимах резания:  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ ,  $v = 10...58 \text{ м/мин}$ ,  $t = 0,5...1,5 \text{ мм}$ ,  $s = 0,4...0,16 \text{ мм/об}$ . Точение торцовых поверхностей с постоянной частотой вращения дает возможность за один проход получать обработанные поверхности с различными параметрами шероховатости для их последующего измерения по радиусу заготовки.

Для обработки использовали проходные резцы с ромбической пластиной CNMG120404 с углом при вершине  $\varepsilon = 93^\circ$  из твердого сплава KC5010 с покрытием TiAlN для точения труднообрабатываемых сплавов.

Измерения параметров ВА-сигналов выполняли при помощи мобильного диагностического комплекса [2, 3]. Запись параметров ВА-сигналов в течение каждого прохода торцевого точения велась

с разбивкой на участки по 7,5 с, во время которых измеряли эффективное (среднеквадратическое – СКЗ) значение амплитуды.

Визуально в спектрах ВА-сигналов выделялись октавные полосы со среднегеометрической частотой 1 и 4 кГц. Для этих октавных полос в исследовании определялись СКЗ амплитуд ВА-сигналов.

На рис. 1 и 2 представлены полученные в ходе исследований зависимости отношения эффективных СКЗ амплитуд в октавах с частотой 1 и 4 кГц от скорости резания и количества проходов торцевого точения. Из этих рисунков следует, что отношение амплитуд  $A = A_4/A_1$  имеет тенденцию к росту, по мере увеличения количества  $N$  проходов (пути резания) и уменьшения скорости резания.

Одновременно с измерением параметров ВА-сигналов измеряли параметры шероховатости обработанной торцевой поверхности. Измерение шероховатости осуществляли сканированием обработанной поверхности на конфокальном микроскопе модели  $\mu$ -Surf фирмы Nanofocus с бесконтактным способом определения шероховатости и разрешающей способностью 2 нм [4, 5].

Результаты сканирования поверхности оцифровывались в системе координат XYZ и визуализировались в виде 3D-объекта с выводом его на экран монитора. Результаты измерений представлены на рис. 3.

В качестве характеристики шероховатости обработанной поверхности принято среднеарифметическое отклонение неровностей от средней линии

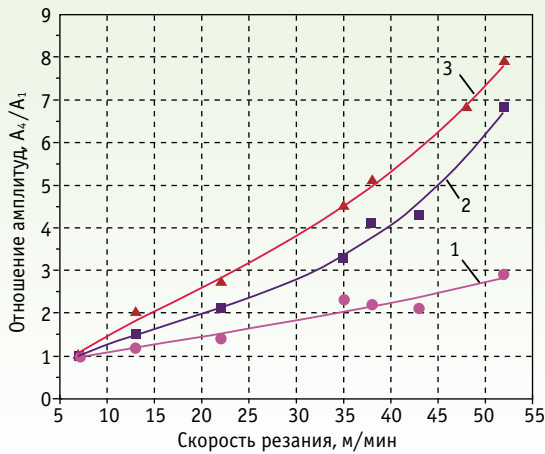


Рис. 1. Зависимость отношения эффективных СКЗ амплитуд в октавах с частотой 1 и 4 кГц от скорости резания  $v$  для количества  $N$  проходов: 1–15; 2–24; 3–30 ( $s = 0,1$  мм/об.,  $t = 1,0$  мм)

профиля  $R_a$  на обработанной торцевой поверхности детали из сплава ХН77ТЮР, которая оценивалась по многофакторным статистическим моделям.

Полученные модели представляют собой регрессионные уравнения связи в виде логарифмического полинома первой степени:

$$\ln R_a = 3,32 - 0,241 \times \ln v + 0,637 \times \ln s + 0,356 \times \ln t - 0,663 \times \ln r, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус округления режущей кромки.

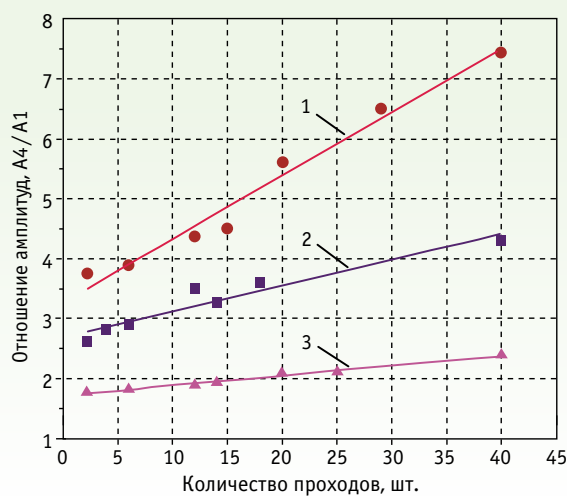


Рис. 2. Зависимость отношения эффективных СКЗ амплитуд в октавах с частотой 1 и 4 кГц от количества  $N$  проходов при скоростях резания  $v$ , м/мин: 1–50,8; 2–35,9; 3–13,2 ( $s = 0,1$  мм/об.,  $t = 1,0$  мм)

Уравнение (1) справедливо для диапазонов входящих аргументов:  $v = 10...100$  м/мин;  $s = 0,02...0,22$  мм/об.;  $t = 0,05...2$  мм;  $r = 0,4...1,2$  мм. Анализ полученной модели позволяет сделать вывод о том, что на формирование микрорельефа обработанной поверхности в процессе точения наибольшее влияние оказывают параметры геометрии резца ( $r$ ) и режима обработки ( $v, s, t$ ). Максимальная ошибка при использовании расчетных моделей не превышает 15%. Область применения уравнения (1) для расчетов  $R_a$  лежит в диапазоне 0,63...6,3 мкм.

Для автоматического управления качеством обработки необходимо прогнозирование недопустимого возрастания шероховатости обработанной поверхности.

Методика прогнозирования основана на зависимости отношения амплитуд ВА-сигнала от количества проходов (пути резания). При обработке с переменной скоростью, характерной для обработки торцовых поверхностей, зависимость отношения амплитуд  $A = A_1/A_4$  наиболее информативна при диапазоне скоростей резания  $v = 48...52$  м/мин.

В качестве косвенной меры шероховатости поверхности обрабатываемой детали принимали предельное значение отношения амплитуд [A] для диапазона оптимизированных по производительности обработки режимов резания.

Использовали полученную [1] математическую модель изменения отношения амплитуд А ВА-сигнала от пути резания ( $L_{рез}$ )  $A = 0,587 + 1,067 \times L_{рез}^{0,198}$

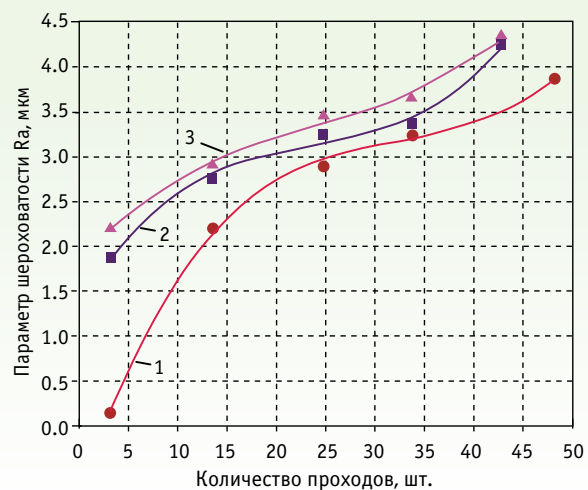


Рис. 3. Зависимость параметра шероховатости от количества  $N$  проходов при подачах  $s$ , мм/об.: 1–0,04; 2–0,10; 3–0,16 ( $v = 50,8$  м/мин,  $t = 1,0$  мм)

для определения количественного критерия отказа по параметру шероховатости информативного диагностического признака.

Для решения задачи предупреждения параметрического отказа при обработке каждой последующей детали в данной партии разработан алгоритм контроля и прогнозирования возможного оставшегося пути резания  $L_{ост}$  [4].

## ВЫВОД

На основании выполненных исследований и производственных испытаний подготовлены рекомендации по аппаратной части и программному обеспечению устройств системы диагностирования для их встраивания в системы ЧПУ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Маслов А.Р.** Диагностирование и контроль процесса резания по предельному параметру шероховатости обработанной поверхности // Контроль. Диагностика. 2011. № 9. С. 49–51.
2. **Завгородний В.И., Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С.** Влияние динамических характеристик инструмента и заготовки на результаты

виброакустического контроля процесса резания // СТИН. 2010. № 6. С. 13–17.

3. **Григорьев С.Н., Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Синопальников В.А.** Проблемы технической диагностики станочного оборудования на современном этапе развития // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2010. № 4 (12). С. 27–36.
4. **Маслов А.Р.** Процессы резания: диагностирование и контроль по состоянию качества обработанной поверхности // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2010. № 4 (12). С. 105–109.
5. **Борисов А.А., Маслов А.Р.** Влияние сборки инструмента на качество обработанных поверхностей // Надежность технологических систем в машиностроении: Сб. трудов / Под общ. ред. С.Н. Григорьева. — М.: Издательский центр МГТУ «СТАНКИН», 2011. С. 224–228.

---

**БОРИСОВ Александр Александрович** –

*аспирант кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» МГТУ «СТАНКИН»*

**МАСЛОВ Андрей Руффович** –

*доктор технических наук, профессор кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» МГТУ «СТАНКИН»*