

Д. В. Крайнев, Ж. С. Тихонова, А. М. Исламов, А. А. Бондарев

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ
НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: krainevdv@mail.ru

В статье рассматриваются результаты исследования влияния неустойчивости процесса резания на параметры шероховатости обработанной поверхности.

Ключевые слова: неустойчивость процесса резания; шероховатость обработанной поверхности; оперативная диагностика.

D. V. Kraynev, Zh. S. Tikhonova, A. M. Islamov, A. A. Bondarev

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE INSTABILITY OF THE CUTTING PROCESS
ON THE ROUGHNESS PARAMETERS OF THE TREATED SURFACE**

Volgograd State Technical University

The article discusses the results of the study of the influence of the instability of the cutting process on the roughness parameters of the treated surface.

Keywords: instability of the cutting process; roughness of the treated surface; operative diagnostics.

Неуклонное техническое развитие и рост уровня сложности машиностроительной продукции ведет к необходимости постоянного повышения эффективности производства, а также совершенствования технологических методов и средств производства.

Традиционно в промышленном масштабе эти вопросы решаются за счет создания инструмента с более высокими режущими свойствами; совершенствования конструкции технологического оборудования, его оснащения различными системами контроля и диагностики,

предотвращающими ущерб при возникновении аварийных ситуаций и нивелирующих неблагоприятное воздействие внешней производственной среды. Однако, все перечисленное не способно в полной мере устранить расхождение фактических результатов обработки с требуемыми параметрами качества, предъявляемыми к производимым деталям и их поверхностям, что связано с многофакторностью и сложностью технологических процессов (в частности процессов резания), взаимосвязью отдельных операций и т. д.

В качестве основы создания автоматических систем управления процессом резания, применимых для станков с ЧПУ, отечественными технологическими школами предлагается использование общепринятых теоретических постулатов, в частности положения об оптимальной температуре резания [1]. Развитие данного направления позволило создать системы автоматического управления процессом резания в Уфимском авиационном институте и Рыбинском авиационно-техническом институте, в которых поддержание оптимальной температуры резания обеспечивалось за счет измерения сигнала термо-ЭДС [2].

Несмотря на то, что подобный подход не нашел широкого применения в серийно выпускаемом оборудовании с ЧПУ, что помимо ряда технических ограничений имеет и экономические причины, его безусловным достоинством является глубокое внимание к физическим закономерностям и сущности технологических операций.

Технический уровень современных станков с ЧПУ позволяет реализовать адаптивное управления процессом резания, однако на сегодняшний день отсутствуют комплексные методики, математические модели и программные средства адаптивного управления. Оснащение технологического оборудования с ЧПУ как правило ограничивается задачами защиты инструмента от поломки, а управляющее воздействие нередко выражается в выдаче предупреждающего сообщения для оператора или аварийной остановке станка [3; 4].

Автор работы [2] отмечает актуальность дальнейшего развития систем автоматического управления и рациональность построения многоуровневых (иерархических) систем на базе датчиков текущей информации об основных параметрах процесса резания.

При разработке адаптивной системы и оценке эффективности обработки помимо свойств

обрабатываемого материала и инструмента необходимо учитывать и физико-механическое состояние поверхностного слоя детали, а в качестве выходных параметров, определяющих эффективность обработки целесообразно принять показатели качества обработанной поверхности.

На формирование параметров обработанной поверхности оказывает влияние как состояние технологического оборудования, свойства заготовки, так и режущий инструмент. Так, например, температурный фактор в ходе обработки оказывает влияние на изменение свойств обрабатываемого материала, состояние режущего инструмента, динамические характеристики процесса и, как следствие, на результат обработки в целом.

Неустойчивость процесса, интенсифицирует износ режущего инструмента, ухудшает качество обработанной поверхности и ограничивает производительность обработки. Потеря динамической устойчивости при резании может определяться жесткостью элементов системы СПИД или же неустойчивостью упругопластических деформаций обрабатываемого материала в зоне резания [5]. При этом если в первом случае проблема может быть решена за счет изменения схемы установки заготовки, то циклическое стружкообразование характерно для нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов и определяется их физико-механическими свойствами.

С целью оценки возможности оперативной диагностики процесса резания и влияния неустойчивости процесса резания на параметры шероховатости обработанной поверхности были проведены экспериментальные исследования чистового точения (глубина резания $t=0,5$ мм; подача $S=0,05..0,25$ мм/об; скорость резания $V=1,5..4,5$ м/с) сталей 12X18H10T и 14X17H2 (группа обрабатываемости М согласно ГОСТ Р ИСО 513-2019). Исследования проводились на токарном станке с ЧПУ Okuma Genos L300-M. В качестве режущего инструмента применялись сменные режущие пластины компании KORLOY (Южная Корея) NC5330 и PC8115.

Измерения составляющих силы резания выполнялись с помощью динамометра DKM 2010 (Technische Lehrmittel Konstruktion, Германия). Измерения вибрационных характеристик в процессе резания выполнялись виброметром ZET 110 (группа компаний ZETLAB, Россия). Измерения шероховатости обработанной поверхности проводились профилометром SurfTest SJ-210 (Mitutoyo, Япония).

В рамках проведенных исследований было установлено, что на уровень составляющих сил резания и амплитуду их колебания

влияние оказывают не только свойства обрабатываемых материалов, но и свойства поверхностного слоя [6].

Таблица 1

Результаты регрессионного анализа взаимосвязи составляющих сил резания, их колебаний с параметром среднеарифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности

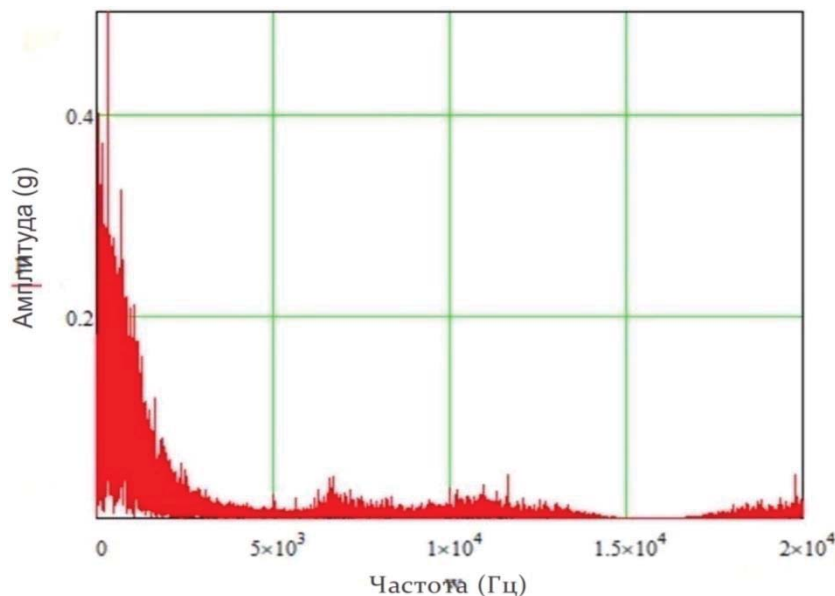
Модель	Вид	Значимость факторов (норм. регрессия)							Досто- верность	Отн погрешн
		a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6		
1 Линейная, все факторы	$R=C_0+\sum(\Phi_i \cdot C_i)$	-0,502	0,826	0,694	0,508	0,705	0,572	0,532	99,90%	81,35%
2 Линейная, значимые факторы		-0,502	0,826	0,694	0,508	0,705	0,572	0,532		
3 Степенная, все факторы	$R=C_0 \cdot \prod(\Phi_i^{C_i})$	0,002	0,667	0,564	-0,357	0,664	-0,093	0,020	81,50%	64,03%
4 Степенная, значимые факторы			0,667	0,564	-0,357	0,664				
5 Показательная, все факторы	$R=C_0 \cdot \prod(C_i^{\Phi_i})$	0,002	0,413	0,112	-0,100	0,083	0,023	0,022	56,70%	41,47%
6 Показательная, значимые факторы			0,413							
7 Показательная, все факторы	$R=C_0 \cdot e^{\sum(\Phi_i \cdot C_i)}$	0,002	0,413	0,112	-0,100	0,083	0,023	0,022	56,70%	41,47%
8 Показательная, значимые факторы			0,413							

*где a0 – значимость случайного фактора; a1 – значимость P_z ; a2 – значимость P_x ; a3 – значимость P_y ; a4 – значимость σP_z ; a5 – значимость σP_x ; a6 – значимость σP_y .

В табл. 1 представлены данные регрессионного анализа [7], где в качестве выходного параметра выступает среднеарифметическое отклонение профиля Ra обработанной поверхности, а в качестве факторов – значения составляющих силы резания и их колебаний (оценивались по величине стандартного отклонения). Из полученных результатов можно сделать вывод о наличии существенной взаимосвя-

зи между составляющими силы резания, их колебаниями с параметром Ra шероховатости обработанной поверхности.

Невысокая достоверность и существенная погрешность полученных регрессионных моделей ограничивают их применение в производственных условиях. Однако, значимость факторов позволяет сделать вывод о необходимости учета величины силы резания и ее колебаний.



Амплитудно-частотная характеристика вибрационного сигнала (виброускорения), полученная обработкой сигнала с виброметра ZET 110 средствами MathCAD

Добавление в регрессионную модель (табл. 2) значения площади амплитудно-частотной характеристики вибрационного сигнала (рисунок) позволяет снизить величину относительной погрешности и повысить доверительную вероятность.

Уменьшение относительной погрешности регрессионных моделей и значимость случайного фактора говорят о необходимости более глубокого анализа закономерностей процесса резания и поиска эффективных частотных полос и источников отдельных гармоник вибрационного сигнала.

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа взаимосвязи равнодействующей силы резания, ее стандартного отклонения, площади АЧХ вибрационного сигнала и параметра среднеарифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности

Модель	Вид	Значимость факторов (норм. регрессия)				Досто- верность	Отн погрешн
		a0	a1	a2	a3		
1 Линейная, все факторы	$R=C0+\text{сумма}(\Phi_i \cdot C_i)$	-0,374	0,875	0,690	0,783	99,90%	73,07%
2 Линейная, значимые факторы		-0,374	0,875	0,690	0,783		73,00%
3 Степенная, все факторы	$R=C0 \cdot \text{произв}(\Phi_i \wedge C_i)$	-0,130	0,426	0,640	0,292	93,80%	37,64%
4 Степенная, значимые факторы		-0,130	0,426	0,640	0,292		37,64%
5 Показательная, все факторы	$R=C0 \cdot \text{произв}(C_i \wedge \Phi_i)$	-0,130	0,562	0,213	0,383	81,30%	32,15%
6 Показательная, значимые факторы		-0,130	0,562	0,213	0,383		32,15%
7 Показательная, все факторы	$R=C0 \cdot e^{\wedge \text{сумма}(\Phi_i \cdot C_i)}$	-0,130	0,562	0,213	0,383	81,30%	32,15%
8 Показательная, значимые факторы		-0,130	0,562	0,213	0,383		32,15%

*где a0 – значимость случайного фактора; a1 – значимость равнодействующей силы резания R; a2 – значимость стандартного отклонения σR ; a3 – значимость площади АЧХ вибрационного сигнала.

Таким образом с целью повышения эффективности оперативного управления формированием микропрофиля обработанной поверхности необходимо вести учет нестабильности процесса резания, а также использовать многоканальный мониторинг процесса резания для повышения надежности диагностической системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров, А. Д. Износ и стойкость режущих инструментов / А. Д. Макаров. – М. : Машиностроение, 1966. – 264 с.
2. Зориктуев, В. Ц. Автоматизация процессов резания на основе положения об оптимальной температуре резания / В. Ц. Зориктуев // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2009. – Т. 12, № 4. – С. 14–19. – EDN KXKHRR.
3. Ингеманссон, А. Р. Разработка математических моделей для технологической подготовки производства и адаптивного управления токарной и фрезерной обработкой в цифровых производственных системах / А. Р. Инге-

манссон // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 27–40. – DOI 10.17212/1994-6309-2020-22.1-27-40. – EDN DJAHMP.

4. Чигиринский, Ю. Л. Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка, производство, прослеживание / Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, Е. М. Фролов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2022. – № 8 (134). – С. 39–48. – DOI 10.30987/2223-4608-2022-8-39-48. – EDN PFVKOK.

5. Зверев, И. А. Моделирование сегментного стружкообразования при высокоскоростном резании сталей и титановых сплавов / И. А. Зверев, У. Чжо // Вестник МГТУ «Станкин». – 2020. – № 2(53). – С. 28–37. – DOI 10.47617/2072-3172_2020_2_28. – EDN ZFCCMC.

6. Перспективы технологической подготовки в условиях современного производства / Д. В. Крайнев, Ж. С. Тихонова, М. В. Капустин, Д. А. Палкин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1(272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 16–19. – DOI 10.35211/1990-5297-2023-1-272-16-19. – EDN MAJJAC.

7. Чигиринская, Н. В. Моделирование неперiodических стохастических процессов : учеб. пособие / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский, А. С. Горобцов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 108 с.