

**Машиностроение и машиноведение**

УДК 621.91

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-1-4-9

В.С. Щетинин, П.А. Саблин

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ  
С ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
НА ПРИМЕРЕ ТОЧЕНИЯ**

Рассмотрены вопросы влияния пространственных колебаний режущего инструмента на шероховатость обработанной поверхности, а также параметры процесса резания, влияющие на интенсивность и частоту колебаний вершины режущего инструмента.

Выявлено, что динамическое состояние технологической системы механической обработки, которое зависит от множества факторов, влияет не только на значение шероховатости поверхности, но и на ее параметр.

**Ключевые слова:** параметр, шероховатость, качество, динамика процесса, резание.

V.S. Shchetinin, P.A. Sablin

**INTERACTION OF SPATIAL OSCILLATION WITH ROUGHNESS  
OF SURFACE WORKED BY EXAMPLE OF TURNING**

The work purpose is to determine the impact of cutter spatial oscillation upon parameters and values of worked surface roughness, in particular, the paper is dedicated to the definition of differences in roughness parameters depending on a projecting plane in which cutter oscillation is considered.

There are considered the matters of the impact of cutter spatial oscillation upon roughness of the surface worked, and also cutting parameters influencing the intensity and frequency of oscillation of cutter point oscillation. The solution of the problems specified is carried out on the basis of the analysis of data pub-

lished in scientific literature and experimental data obtained in the course of investigations.

The novelty of the work: it is revealed that a dynamic state of the technological system for machining which depends upon a multitude of factors has an influence not only upon a value of surface roughness, but also upon its parameter.

Conclusion: surface roughness depends upon relative oscillation processes of the part under machining and a tool cutting edge in the working space caused mainly by a process of chip formation.

**Key words:** parameter, roughness, quality, process dynamics, cutting.

**Введение**

Современное развитие техники и технологий предъявляют повышенные требования к качеству изготовления деталей для различных узлов и агрегатов. Так, например, при изготовлении ряда деталей летательных аппаратов [1; 10], возникает необходимость снятия очень большого объема материала (до 90 %), при этом, очень остро стоит вопрос применения высокопроизводительной обработки с получением заданного конструкторами точности и качества обработки.

Если точность обработки в большей степени зависит от точности системы

СПИЗ (станок - приспособление – инструмент – заготовка) [2], то на качество обработки резанием влияет целый комплекс параметров. Такими параметрами можно считать режимы резания, износ режущей кромки инструмента, неоднородность обрабатываемого материала и многие другие. Все эти параметры влияют на качество обработанной поверхности через изменения сил резания; динамическую устойчивость технологической системы; распределение тепла в зоне резания и так далее [3].

### Параметры шероховатости

Данной проблеме в последнее время уделяется достаточно пристальное внимание со стороны исследователей, о чем свидетельствуют работы таких ученых [4, 5]. В работе [6] рассматриваются вопросы динамических колебаний инструмента и заготовки в определенной плоскости. В работе [7] изучен вопрос о влиянии различных технологических режимов и способов фрезерования на качество обработки по различным параметрам шероховатости ( $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rq$ ,  $Rp$ ,  $Rc$ ,  $Rt$ ,  $Rv$ ,  $Rsm$ ,  $Rku$ ,  $Rsk$ ) для пространственных поверхностей.

Оценка параметров шероховатости в соответствии с ГОСТ Р ИСО 4287-2014 осуществляется в определенной плоскости поверхности  $ZOX$  (рис. 1) [8]. В плоскости

$ZOY$  профиль поверхности имеет совершенно другую характеристику, чем в плоскости  $ZOX$ . В этой связи, для оценки качества поверхности в плоскостях  $ZOX$  и  $ZOY$ , необходимо применять различные параметры шероховатости. Так, например, при продольном точении параметры шероховатости, измеренные в радиальном направлении, в большей степени зависят от динамических характеристик технологической системы; в то время, как параметры шероховатости, измеренные в осевом направлении, больше зависят от скорости подачи, степени заострения вершины режущего инструмента и в меньшей степени зависят от динамических характеристик.

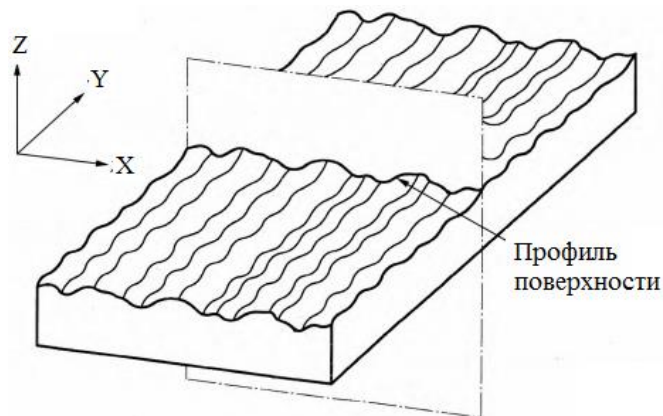


Рис. 1. Профиль поверхности по ГОСТ Р ИСО 4287-2014

### Пространственные колебания инструмента и их влияние на качество обработанной поверхности

В настоящее время авторами рассмотрено только влияние режимов резания на качество поверхности обработки, а также влияния динамических процессов в одной из плоскостей  $ZOX$  или  $ZOY$ .

Однако следует отметить, что режущая кромка относительно обрабатываемой поверхности совершает динамические колебательные перемещения в пространстве.

На примере обработки цилиндрического точения (рис. 2) видно, что колебания в плоскости  $YOX$  приводит к перемещению вершины инструмента относительно заготовки на величину  $CC_1$  и в плоскости  $ZOX$  на величину  $BB_1$  соответственно (здесь, вопреки всем известным устоям и для простоты понимания (рис. 1, 2), мы

интегрировали систему координат из ГОСТ Р ИСО 4287-2014 в схему точения). Тогда, общее отклонение от теоретической точки (линии) резания составит:

$$\Delta = \sqrt{BB_1^2 + CC_1^2},$$

где  $\Delta$  - суммарное (пространственное) отклонение вершины режущего инструмента;

$BB_1$  и  $CC_1$  – отклонение вершины режущего инструмента в плоскостях  $YOX$  и  $ZOX$  соответственно.

Чем больше амплитуда пространственных колебаний, тем больше высота неровностей обрабатываемой поверхности (шероховатости). Также на параметр шероховатости влияет частота колебаний

вершины режущего инструмента. Учитывая тот фактор, что жесткость системы СПИЗ в разных плоскостях различна то и параметры шероховатости будут в этих плоскостях различны.

Для получения требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности наряду с установлением параметров обработки, необходимо выполнить оценку динамики пространственных колебаний инструмента относительно заготовки.

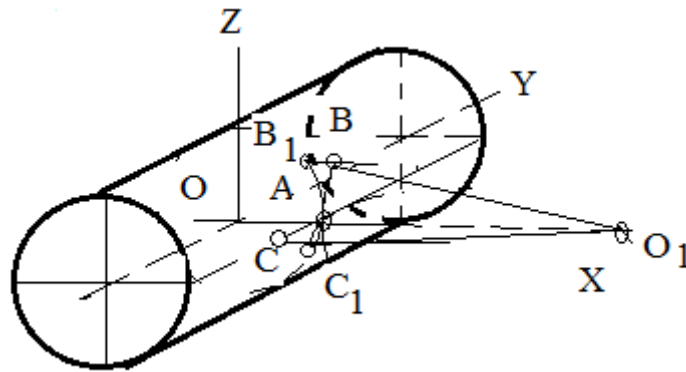


Рис. 2. Отклонение вершины режущего инструмента от теоретической точки контакта с заготовкой в плоскостях  $ZOX$  или  $ZOY$

В работе [9] выполнены исследования перемещения вершины инструмента относительно детали в зависимости от частоты стружкообразования (рис. 3а). На графиках видно, что перемещение вершины инструмента в данном случае уже не представляет собой правильный эллипс перемещений. Предельный цикл рассогласовывается, происходит удвоение его периода. При увеличении частоты стружко-

образования до 88,5 Гц (рис. 3б) разрушение предельного цикла продолжается – происходит утроение периода. Такие колебания приводят к тому, что получаемая шероховатость обработанной поверхности в разных плоскостях получается не одинаковая. Чем больше амплитуда пространственных колебаний, тем выше высота выступов шероховатости.

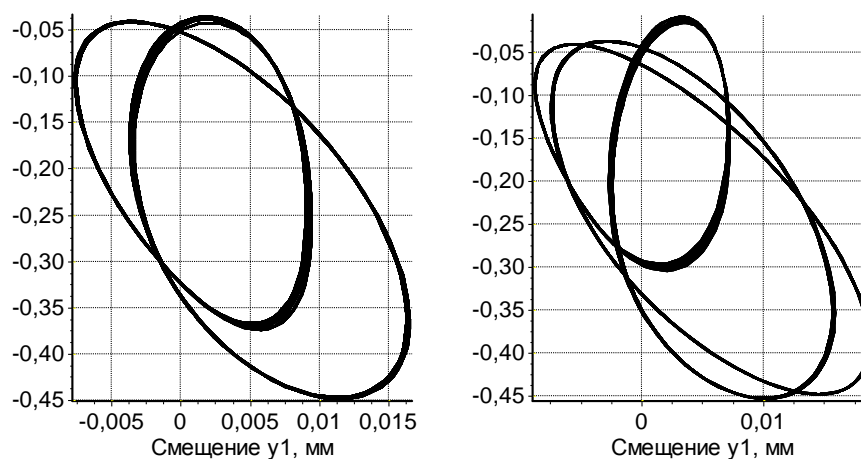


Рис. 3. Перемещение вершины инструмента относительно детали в виде предельного цикла динамической системы резания: а – резание с образованием элементной стружки и частотой отделения элементов 58,5 Гц (удвоение периода предельного цикла); б – 88,5 Гц (утроение периода)

Как отмечено выше, величины параметров шероховатости связана с частотой стружкообразования, которая в свою очередь зависит от колебаний инструмента относительно заготовки. В работе [8] представлены исследования взаимосвязи скорости резания с силой резания и шероховатостью поверхности.

Из графиков видно, что при обработке стали (рис. 4), с увеличением скорости резания, уменьшается амплитуда колебаний вершины в рабочем пространстве за счет уменьшения силы резания и, как следствие, высоты микронеровностей (шероховатость) обработанной поверхности.

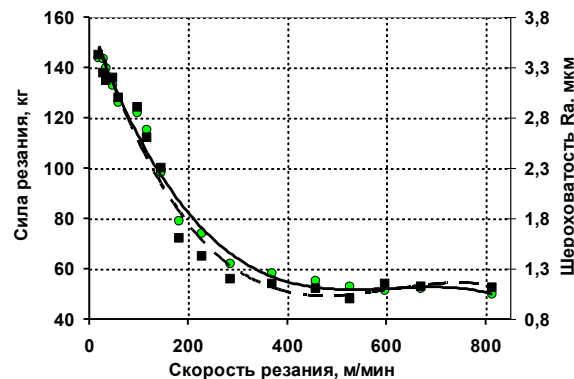


Рис. 4. Зависимость силы резания (сплошная линия) и шероховатости обработанной поверхности (пунктирная линия) от скорости резания при фрезеровании закаленной стали 40X

## Заключение

Из вышесказанного можно сделать заключение, что шероховатость поверхности зависит от относительных колебательных процессов обрабатываемой детали и режущей кромки инструмента в рабочем пространстве во многом вызванными процессом стружкообразования.

В настоящее время в КнАГУ проводятся научные исследования, направленные на изучение влияния колебаний инструмента относительно заготовки на качество обработанной поверхности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Муравьев, В. И.** Особенности образования специфических дефектов при сборке крупногабаритных титановых конструкций летательных аппаратов / В. И. Муравьев, В. В. Григорьев, П. В. Бахматов // Вестник Московского авиационного института. - 2019. - Т. 26. - № 4. - С. 17-27.
2. **Кудинов, В. А.** Динамика станков / В. А. Кудинов. - М.: Машиностроение, 1967. - 368 с.
3. **Биленко, С. В.** Использование цветовой пирометрии при изменении температуры стружки при высокоскоростной обработке / С. В. Биленко, П. А. Саблин, Н. К. Леонтьевская // Контроль. Диагностика. - 2013. - № 8. - С. 37-43
4. **Заковоротный, В. Л.** Влияние флуктуаций на устойчивость формообразующих траекторий при точении / В. Л. Заковоротный, В. Е. Гвинджилия // Известия высших учебных заведений. Северокавказский регион. Серия: Технические науки. - 2017. - № 2 (194). - С. 52-61.
5. **Кабалдин, Ю. Г.** Самоорганизующиеся процессы в технологических системах обработки резанием. Диагностика, управление : монография / Ю. Г. Кабалдин, А. М. Шпилев. - Владивосток: Дальнаука, 1998. - 296 с.
6. **Кабалдин, Ю. Г.** Математическое моделирование динамической устойчивости процесса резания в виде нелинейного осциллятора с разрывными характеристиками / Ю. Г. Кабалдин, С. В. Биленко, П. А. Саблин // Вестник машиностроения. - 2006. - №10. - С. 35-43.
7. **Гимадеев, М. Р.** Повышение качества механообработки сложнопрофильных деталей на пятикоординатных обрабатывающих центрах : специальность 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Гимадеев Михаил Радикович ; Тихоокеанский государственный университет. - Хабаровск, 2018. - 142 с. - Место защиты: Ком-

сомольский-на-Амуре государственный университет. Комсомольск-на-Амуре. – Текст : непосредственный.

8. **ГОСТ Р ИСО 4287-2014.** Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности = Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters : нац. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2014 г. N 2078-ст : переиздание : январь 2019 / подгот. Обществом с ограниченной ответственностью "ЦИТОпроект" (ООО "ЦИТОпроект") на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта ISO 4287 "Geometrical Product Specifications

1. **Muraviyov, V. I.** Peculiarities of specific defect formation at assembling large titanium units of aircrafts / V.I. Muraviyov, V.V. Grigoriev, P.V. Bakmatov // Bulletin of Moscow Aircraft Institute. – 2019. – Vol.26. – No.4. – pp. 17-27.
2. **Kudinov, V. A.** Machine Dynamics / V.A. Kudinov. – M.: Mechanical Engineering, 1967. – pp. 368.
3. **Bilenko, S. V.** Color pyrometry use at chip temperature changes at high-speed machining / S.V. Bilenko, P.A. Sablin, N.K. Leontievskaya // Control. Diagnostics. – 2013. – No.8. – pp. 37-43.
4. **Zakovorotny, V. L.** Fluctuation impact upon shaping trajectory stability at turning / V.L. Zakovorotny, V.E. Gvindzhilia // College Proceedings. North-Caucasus Region. Series: Engineering Sciences. – 2017. – No.2 (194). – pp. 52-61.
5. **Kabaldin, Yu. G.** Self-organizing Processes in Technological Systems of Cutting. Diagnostics, Management: monograph / Yu.G. Kabaldin, A.M. Shpilev. - Vladivostok: Dalnauka, 1998. – pp. 296.
6. **Kabaldin, Yu. G.** Mathematical modeling of cutting dynamic stability as nonlinear oscillator with discontinuous characteristics / Yu.G. Kabaldin, S.V. Bilenko, P.A. Sablin // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2006. – No.10. – pp. 35-43.
7. **Gimadeev, M. R.** Quality increase in complex-profile parts machining in five-axis machining centers: specialty 05.02.07. "Technology and Equipment for machining and Physical-Engineering Processing": thesis in competition for scientific degree of Can. Sc. Tech./ Gimadeev Michail Radikovich; Pacific State University. - Khabarovsk, 2018. – pp.

(GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters", IDT.

9. **Саблин, П. А.** Повышение эффективности высокоскоростной механической обработки : специальность 05.03.01 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Саблин Павел Алексеевич ; Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. - Комсомольск-на-Амуре, 2008. – 141 с.
10. **Башков, О. В.** Исследование деформационно-технологических характеристик стали 12Х18Н10Т / О. В. Башков, В. А. Ким, С. З. Лончаков, Р. А. Физулаков, И. В. Белова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2019. - № I-1(37). - С. 77-83.

142. – Presentation place: Komsomolsk-upon-Amur State University. Komsomolsk-upon-Amur. – Text: direct.

8. **GOST R IPC 4287-2014.** Geometrical Product Specification (GPS). Surface Structure. Profile Method. Terms, Definitions and Parameters of Surface Structure = Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters: National Standard of the Russian federation: officially published: approved and implemented by the Order of the Federal Agency for Technical Control and Metrology of December 12, 2014 No.2078-st: republication: January, 2019 / prepared by "CITOproject" Co.ltd. ("CITOproject") on basis of own translation into Russian of English version of standard ISO 4287 "Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters", IDT.
9. **Sablin, P. A.** High-speed machining effectiveness increase: specialty 05.03.01. "Technology and Equipment for Machining and Physical-Engineering Processing": thesis in competition for scientific degree of Can. Sc. Tech. / Sablin Pavel Alexeevich; Komsomolsk-upon-Amur State Technical University. – Komsomolsk-upon-Amur, 2008. – pp. 141.
10. **Bashkov, O. V.** Investigation of deformation-technological characteristics of 12H18H10T steel / O.V. Bashkov, V.A. Kim, S.Z. Lonchakov, P.A. Fizulakov, I.V. Belova // Proceedings of Komsomolsk-upon-Amur State Technical University. – 2019. – No.I-1(37). – pp. 77-83.

*Ссылка цитирования:*

*Щетинин В.С. Взаимосвязь пространственных колебаний с шероховатостью обработанной поверхности на примере точения / В. С. Щетинин, П. А. Саблин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 1. – С. 4 - 9. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-1-4-9.*

*Статья поступила в редакцию 09.10.20.  
Рецензент: д.т.н., профессор Брянского  
государственного технического университета  
Хандожко А.В.,  
член редсовета журнала «Вестник БГТУ».  
Статья принята к публикации 23.12.20.*

**Сведения об авторах:**

**Щетинин Владимир Сергеевич**, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел.: +7(4217)241171, e-mail: schetynin@mail.ru.

**Shchetinin Vladimir Sergeevich**, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. "Mechanical Engineering", Komsomolsk-upon-Amur, phone: +7(4217) 241171, e-mail: schetynin@mail.ru.

**Саблин Павел Алексеевич**, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел.: +7(4217)241171, e-mail: ikpmt@knastu.ru.

**Sablin Pavel Alexeevich**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Mechanical Engineering", Komsomolsk-upon-Amur, phone: +7(4217) 241171, e-mail: ikpmt@knastu.ru.