

УДК 621.9.06-752

Ю.Н. Внуков, профессор, д-р техн. наук,

М.В. Кучугуров, аспирант

Запорожский национальный технический университет,

ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063

yvnikov@zntu.edu.ua

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ ТОЧЕНИИ С ВИБРАЦИЯМИ

Разработана методика моделирования топографии обработанной поверхности детали при продольном точении, сопровождающимся колебаниями резца или детали. Рассмотрены модели профиля обработанной поверхности при различных условиях обработки.

Ключевые слова: *точение, вибрации, обработанная поверхность, топография, моделирование.*

Введение. Динамический процесс резания металла является чрезвычайно сложным и многогранным. Его изучение требует нестандартных методик проведения исследований, дающие понимание изучаемого процесса механической обработки с вибрациями.

Целью статьи является разработка методики моделирования топографии обработанной поверхности и ее применение для исследования автоколебаний при точении.

Основное содержание работы. При продольном точении, когда наблюдаются сильные колебания резца или детали, на обработанной поверхности формируется винтовой узор. На рисунке 1 приведена фотография данной поверхности, полученная после точения с использованием устройства для исследования автоколебаний, конструкция, и принцип действия которой описан в [1].

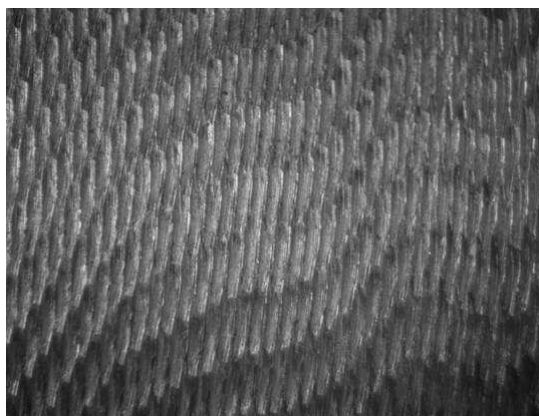


Рисунок 1 – Фотография обработанной поверхности при продольном точении со следующими параметрами: $t = 2$ мм; $S = 0,15$ мм/об; $n = 400$ об/мин; $D = 105,2$ мм; материал детали – сталь 45 (НВ163...170), материал инструмента – ВК8; геометрия инструмента: $\gamma = 0$; $\alpha = 10^\circ$; $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,2$ мм

Его появление обусловлено совокупностью вращения шпинделя с заготовкой, продольного движения подачи и колебательного движения резца или детали. Контактируя с последней, главная режущая кромка формирует волнистую поверхность резания, что является причиной вторичного возбуждения колебаний. Одновременно с этим радиус при вершине и вспомогательная режущая кромка оставляют след на обработанной поверхности, формируя сложный профиль. Волны на обработанной поверхности определяются величиной волн на поверхности резания во время прохождения инструментом данного участка детали. Таким образом, топография обработанной поверхности отражает вибрационные процессы при токарной обработке, и может быть использована для определения параметров регенеративных колебаний.

Ранее в работе [2] винтовой узор на обработанной поверхности детали использовался для определения сдвига фаз ψ волн на поверхности резания по следующей схеме, рисунок 2. Применяя оптические и микрометрические приборы, определяли наклон винтовых линий Θ и длину волн l , по которым рассчитывали параметр ψ :

$$\psi = \frac{\Delta l}{l} \cdot 360^\circ = \frac{a \cdot \text{tg} \Theta}{l} \cdot 360^\circ \quad (1)$$

где a – номинальное значение продольной подачи, мм/об.

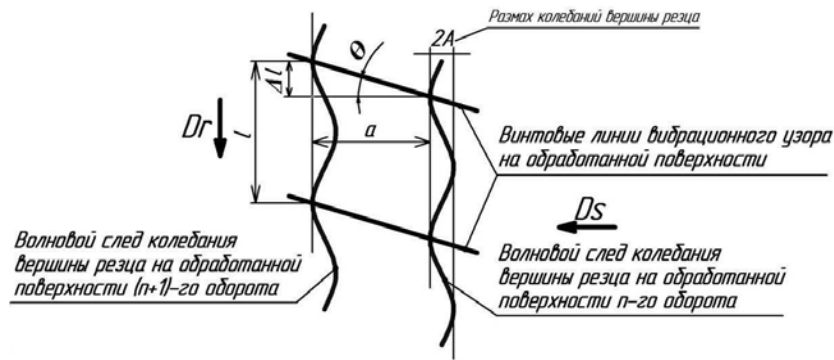


Рисунок 2 – Схема определения сдвига фаз ψ регенеративных колебаний, используя винтовой узор обработанной поверхности детали

Однако, в работе [3] показано, что данный метод определения параметра ψ имеет ряд недостатков, делающих его применение нецелесообразным, при этом авторами предлагается использовать метод совмещенных осциллограмм, дающий точное значение искомой величины.

Следует отметить, что профиль обработанной поверхности, как правило, используется только для визуальной оценки наличия или отсутствия сильных вибраций при точении заготовки и измерения параметров точности и качества механической обработки. Для более глубокого изучения колебательных процессов, возникающих в зоне резания, необходимо ясно понимать принцип формирования топографии обработанной поверхности детали. С этой целью авторами данной статьи предлагается использовать среду математического программирования MatLAB, позволяющую смоделировать процесс формирования данного профиля.

Принцип моделирования топографии обработанной поверхности заключается в том, чтобы выполнить прорисовку траектории взаимного перемещения вершины режущей кромки по обработанной поверхности. Для этого в математической форме задаются колебательное движение с частотой f и амплитудой A , а также главное движение со скоростью V . Т.к. деталь имеет круглую форму, в программе создается развертка обработанной поверхности. Поэтому вся траектория делится на участки, соответствующие одному обороту детали – развертка обработанной поверхности представляется набором траекторий движения резца по заготовке, каждая из которых соответствует отдельному обороту шпинделя, рисунок 3. При этом траектория каждого следующего оборота сдвинута от предыдущего на величину номинальной подачи a .



Рисунок 3 – Схема моделирования топографии обработанной поверхности

Ключевыми моментами моделирования топографии обработанной поверхности являются:

- учет сдвига фаз ψ траекторий взаимного перемещения двух соседних оборотов, характеризующий вторичное возбуждение, который определяет величину Δl , рисунок 3;
- необходимо задавать толщину линий траекторий движения, соответствующая суммарной ширине переходной и вспомогательной режущих кромок инструмента, непосредственно контактирующих с обработанной поверхностью;
- траектории колебательного движения, соответствующие отдельным оборотам заготовки, необходимо отображать разными цветами, т.к. это позволяет провести анализ сложной структуры топографии обработанной поверхности.

Исходя из схемы моделирования профиля обработанной поверхности, рисунок 3, видно, что на его топографию влияют следующие величины:

- $2A/a$ – отношение двойной амплитуды (размаха) колебаний к значению номинальной подачи;
- l/A – отношение длины волны на поверхности резания к амплитуде колебаний, значения выбираются близкими к экспериментальным;
- сдвиг фаз ψ волн на поверхности резания.

Задавая различные соотношения указанных параметров колебаний, смоделирована топография обработанной поверхности для различных условий резания (таблица 1).

Таблица 1 – Моделирование топографии обработанной поверхности

Сдвиг фаз ψ	$2A/a < 1 = 0,5$ (постоянный контакт резца с деталью)		$2A/a > 1 = 1,5$ (прерывистое резание)	
	$l/A = 20$	$l/A = 40$	$l/A = 20$	$l/A = 40$
0°				
90°				
180°				
270°				

Предварительные результаты экспериментальных исследований, проведенных авторами, показали, что при токарной обработке в условиях возбуждения сильных вибраций, сдвиг фаз ψ волн на поверхности резания стремится к 180° . Рассматривая модель топографии обработанной поверхности при данных условиях, когда происходит прерывистое резание, видим, что профиль имеет структуру, состоящую из элементов сложной формы, рисунок 4. Применение разноцветной окраски траекторий позволило увидеть, что каждый элемент топографии формируется пятью последовательными оборотами заготовки. Следовательно, методика определения сдвига фаз ψ волн на поверхности резания по углу наклона винтовых линий принципиально неверна. Справедливая оценка данного параметра по топографии обработанной поверхности возможна только при подробном рассмотрении ее структуры.

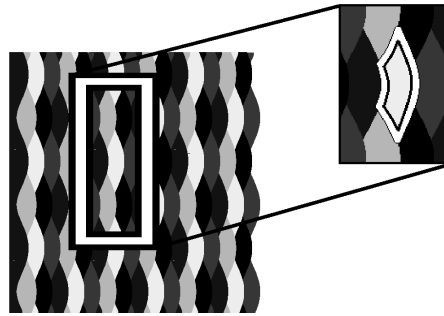


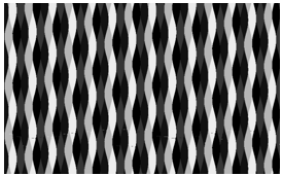
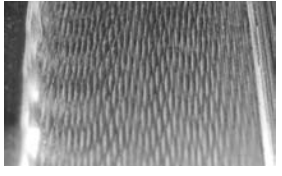
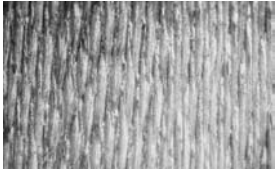
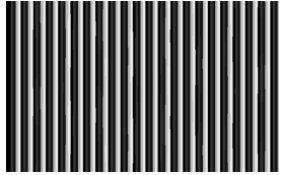
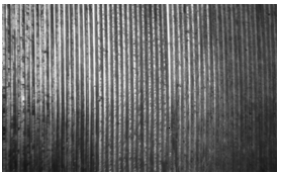
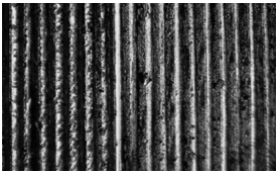
Рисунок 4 – Элемент структуры топографии обработанной поверхности при следующих параметрах:
 $2A/a = 1,5; l/A = 20; \psi = 180^\circ$

Используя устройство и методику проведения экспериментов, описанные в [1], авторами проведены исследования влияния скорости резания на особенности возбуждения регенеративных колебаний при точении. Полученные экспериментальные данные использованы для проверки правильности разработанной методики моделирования топографии обработанной поверхности, и сравнения полученных моделей с соответствующими фотографиями. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние скорости резания на топографию обработанной поверхности

№	Скорость резания V , м/мин	Экспериментальные параметры колебаний	Моделирование вибрационного узора на обработанной поверхности	Действительные вибрационные узоры на обработанной поверхности (x10)	Действительные вибрационные узоры на обработанной поверхности (x20)
1	2	3	4	5	6
1	52,9	$A = 0,006$ мм; l – волнообразование отсутствует $\psi = 0^\circ$			
2	82,6	$A = 0,040$ мм; $l = 1,43$ мм; $\psi = 157^\circ$; $2A/a = 0,26$			
3	104,1	$A = 0,051$ мм; $l = 1,81$ мм; $\psi = 174^\circ$; $2A/a = 0,68$			
4	132,2	$A = 0,068$ мм; $l = 1,81$ мм; $\psi = 152^\circ$; $2A/a = 0,91$			

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
5	165,3	$A = 0,079$ мм; $l = 2,87$ мм; $\psi = 175^\circ$; $2A/a = 1,05$			
6	413,1	$A = 0,004$ мм; l – волнообразо- вание отсутствует $\psi = 0^\circ$			

Выводы. Разработана методика моделирования топографии обработанной поверхности после точения с вибрациями, позволяющая изучить принцип ее формирования. Использование оригинального способа прорисовки показало, что метод определения сдвига фаз ψ волн на поверхности резания по углу наклона винтовых линий неверен, т.к. в условиях сильных вибраций единичный элемент изучаемого профиля формируется пятью последовательными оборотами. Сходство с экспериментальными фотографиями позволяет сделать вывод о правильности утверждения, что значение параметра ψ в условиях сильных вибраций стремится к 180° .

Перспективы дальнейших исследований в данной области. Данная методика является надежным инструментом проведения исследований в области колебаний при механической обработке, т.к. позволяет сопоставить результаты измерений с теоретическим представлением предмета изучения.

Библиографический список использованной литературы

1. Внуков Ю.Н. Способ и устройство для исследования регенеративных автоколебаний при точении / Ю.Н. Внуков, М.В. Кучугуров, С.И. Дядя, Р.Н. Зинченко, Е.А. Гончар // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. — Вып. 83. - С. 42 - 54.
2. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании / А.И. Каширин. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1944. – 262 с.
3. Кучугуров М.В. Способ определения сдвига фаз волн на поверхности резания ψ при точении / М.В. Кучугуров, Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя // Вісник ЖДТУ: Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – 2013. — Вип. 14. – С. 93 – 100.

Поступила в редакцию 28.01.2014 г.

Внуков Ю.М., Кучугуров М.В. Особливості формування топографії обробленої поверхні деталі при точінні з вібраціями

Розроблена методика моделювання топографії обробленої поверхні деталі при повздовжньому точінні, що супроводжується коливаннями різця або деталі. Розглянуті моделі профілю обробленої поверхні при різних умовах обробки.

Ключові слова: точіння, вібрації, оброблена поверхня, топографія, моделювання.

Vnukov U.N., Kuchugurov M.V. Features of forming the topography of machined surface when turning with vibration

The technique of modeling the topography of machined workpiece surface in longitudinal turning, accompanied by vibration of tool or workpiece are designed. The models of the profile of the treated surface at various processing conditions are considered.

Keywords: turning, vibrations, machined surface, topography, modeling.