

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

С.В. Швеиц¹, М.Б. Яненко²,

ВВЕДЕНИЕ

Качество обработанной поверхности определяет эксплуатационные свойства деталей машин, так как их разрушение обычно начинается с поверхностного слоя. Микрогеометрия поверхности зависит как от геометрической формы инструмента и подачи, так и от других факторов, значительно изменяющих теоретический профиль. К последним относятся: упругие и пластические деформации, трение на задней поверхности инструмента, нарост, вибрации и изменение контура лезвий в процессе их износа [1].

Используются в основном два метода оценки чистоты обработанной поверхности. Один из них основан на чисто субъективном суждении о поверхности — визуальном обзоре поверхности или слепка ее в натуральном или увеличенном масштабе. Испытуемые поверхности сравниваются с образцами, принятыми за эталон, и, следовательно, результаты наблюдения не дают абсолютной меры качества обработки. Другой метод — более объективный — заключается в измерении неровностей на обработанной поверхности специальными приборами. При этом создается конкретная характеристика поверхности, выраженная количественно.

Теоретический метод прогнозирования параметров шероховатости развит слабо. Наиболее простые формулы для определения высоты неровностей [1] получены при допущении, что вершина резца или не округлена

$$H = S \frac{tg\varphi \cdot tg\varphi^1}{tg\varphi + tg\varphi^1}, \text{ мм}, \quad (1)$$

или округлена радиусом r , но $S < r$

$$H = \frac{S^2}{2r}, \text{ мм}. \quad (2)$$

Существуют и другие выражения [2]. Но наряду с их громоздкостью, достаточно сложно установить условия, при которых применяется та или иная зависимость.

Традиционно предполагается рассматривать влияние геометрических параметров на шероховатость обработанной поверхности в связи с характером обрабатываемого материала, геометрией резца, режимом резания, критерием затупления, жесткостью системы СПИД и т. д.

В настоящей работе осуществляется несколько иной подход. Все влияющие факторы разделены на три группы: определяющие геометрическое формирование остаточного гребешка, порождаемые процессом резания, зависящие от оборудования и качества инструмента. Последние факторы можно исключить из рассмотрения, выбрав правильно оборудование и используя качественный инструмент. Что касается кинематики и физики процесса резания, то они и создают

¹ Канд. техн. наук, доцент, Сумский государственный университет.

² Магистрант, Сумский государственный университет.

показатели качества. В этой статье исследуется их влияние с целью управления и прогнозирования при разработке технологических процессов.

1 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ

Геометрически шероховатость формируется при сочетании геометрии лезвия и подачи. Однако это не окончательная форма микрорельефа, так как происходит искажение за счет пластических деформаций и нароста.

Для расчета параметра Ra в условиях минимальных пластических деформаций использован подход, при котором совместно решаются уравнения линий и окружностей, которые обозначают главные и вспомогательные режущие кромки и дуги при вершине двух соседних положений резца [3]. Параметр Ra определяется по формуле

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad (3)$$

где l – базовая длина;

y – расстояние от точек профиля до средней линии.

В связи с тем, что теоретический профиль микронеровностей остается неизменным в пределах любого значения $l \geq S$, формула (3) может быть представлена как

$$Ra = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n C_i, \quad (4)$$

где C_i – площадь элементарной фигуры;

n – количество элементарных фигур в пределах S .

Форма элементарной фигуры C_i и значение n зависят от соотношений теоретической высоты микронеровностей Y и координат точек a и b (Ya , Yb) (табл. 1).

Формулы для расчета площадей элементарных фигур в таблице 1 следующие:

$$C1 = \int_0^{\sqrt{rY - Y^2/4}} \sqrt{r^2 - x^2} dx - (r - Y/2)(\sqrt{rY - Y^2/4}), \quad (5)$$

$$C2^* = 0,5(Ya - Y/2)(\sqrt{r^2 - Ya^2} - \sqrt{rY - Y^2/4}), \quad (6)$$

$$C3 = 0,5(Y - Ya)\left(\frac{Y - Ya}{\operatorname{tg}\varphi^1}\right), \quad (7)$$

$$C4 = (Ya - Y/2)\left(\frac{Y - Ya}{\operatorname{tg}\varphi^1}\right), \quad (8)$$

$$C5^* = 0,25Y(\sqrt{2rY - Y^2} - \sqrt{rY - Y^2/4}), \quad (9)$$

$$C6^* = 0,5(Yb - Y/2)(\sqrt{r^2 - Yb^2} - \sqrt{rY - Y^2/4}), \quad (10)$$

$$C7 = 0,5(Y - Yb)\left(\frac{Y - Yb}{\operatorname{tg}\varphi}\right), \quad (11)$$

$$C8 = (Yb - Y/2) \left(\frac{Y - Yb}{\operatorname{tg}\varphi^1} \right), \quad (12)$$

$$C9 = \int_0^{r \cdot \sin \varphi^1} \sqrt{r^2 - x^2} dx - (r - Y/2)(r \cdot \sin \varphi^1), \quad (13)$$

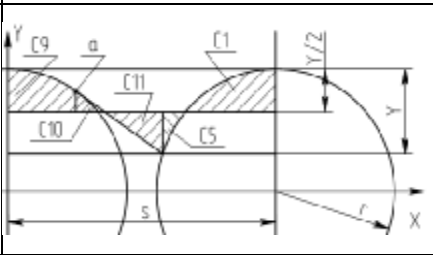
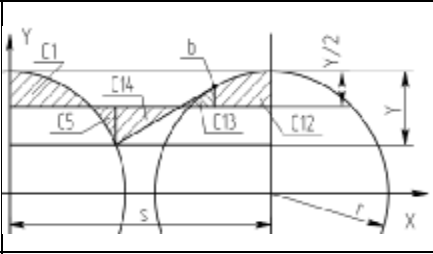
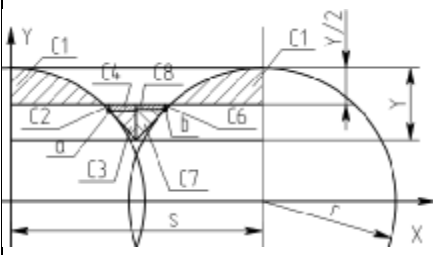
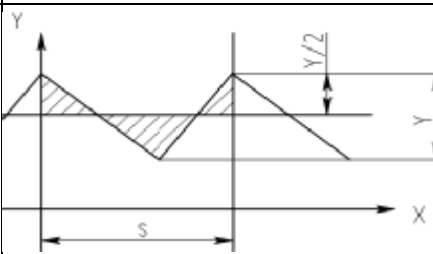
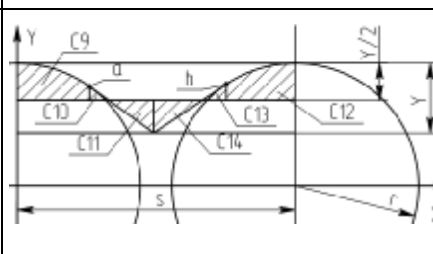
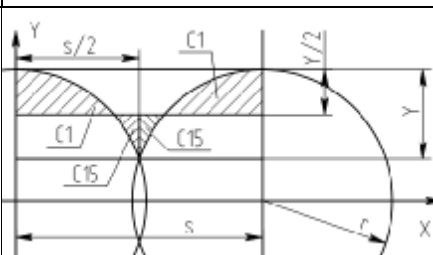
$$C10 = 0,5(Y/2 - Ya) \left(\frac{Y/2 - Ya}{\operatorname{tg}\varphi^1} \right), \quad (14)$$

$$C11 = 0,25Y \left(\frac{Y/2}{\operatorname{tg}\varphi^1} \right), \quad (15)$$

Таблица 1 – Схемы для расчета параметра Ra

Порядковый номер	Схема для расчета
1	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>2</p> <p>Условие: $Y > Ya > Y/2$; $Yb > Y$;</p> $\sum_{i=1}^6 = C1 + C1 + C2 + C3 + C4 + C5$ </div> </div>
2	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Условие: $Ya > Y$; $Y > Yb > Y/2$;</p> $\sum_{i=1}^6 = C1 + C1 + C5 + C6 + C7 + C8$ </div> </div>
3	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Условие: $Ya < Y/2$;</p> <p>$Y > Yb > Y/2$;</p> $\sum_{i=1}^7 = C1 + C6 + C7 + C8 + C9 +$ $+ C10 + C11$ </div> </div>
4	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Условие: $Y > Ya > Y/2$;</p> <p>$Yb < Y/2$;</p> $\sum_{i=1}^7 = C1 + C2 + C3 + C4 + C12 +$ $+ C13 + C14$ </div> </div>

Продолжение таблицы 1.

1	2
<p>5</p> 	<p>Условие: $Ya < Y/2$; $Yb > Y$;</p> $\sum_{i=1}^5 = C1 + C5 + C9 + C10 + C11$
<p>6</p> 	<p>Условие: $Ya > Y$; $Yb < Y/2$;</p> $\sum_{i=1}^5 = C1 + C5 + C12 + C13 + C14$
<p>7</p> 	<p>Условие: $Y > Ya > Y/2$; $Y > Yb > Y/2$;</p> $\sum_{i=1}^8 = C1 + C1 + C2 + C3 + C4 +$ $+ C6 + C7 + C8$
<p>8</p> 	<p>Условие: $r=0$; $Ra = Rz / 4$</p>
<p>9</p> 	<p>Условие: $Ya < Y/2$; $Yb < Y/2$;</p> $\sum_{i=1}^6 = C9 + C10 + C11 + C12 +$ $+ C13 + C14$
<p>10</p> 	<p>Условие: $Ya > Y$; $Yb > Y$;</p> $\sum_{i=1}^4 = C1 + C1 + C15 + C15$

* Упрощения в расчетах (вычисление интегральной площади заменено площадью треугольника)

$$C12 = \int_0^{r \cdot \sin \varphi} \sqrt{r^2 - x^2} dx - (r - Y/2)(r \cdot \sin \varphi), \quad (16)$$

$$C13 = 0,5(Y/2 - Yb) \left(\frac{Y/2 - Yb}{\operatorname{tg} \varphi} \right), \quad (17)$$

$$C14 = 0,25Y \left(\frac{Y/2}{\operatorname{tg} \varphi} \right), \quad (18)$$

$$C15^* = 0,25Y(S/2 - \sqrt{rY - Y^2/4}). \quad (19)$$

Для расчета параметров шероховатости поверхности при точении разработана программа SherToch v. 1.0.0.1, написанная на «языке» программирования Delphi 7.0 (рис. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид программы

Данную программу можно использовать в любых промышленных отраслях, связанных с металлообработкой, где необходимо эффективное прогнозирование параметров шероховатости на этапе проектирования технологического процесса.

Программа SherToch удобна в пользовании и имеет ряд особенностей:

- параметр шероховатости Rz рассчитывается по тригонометрическим формулам, учитывающий влияние на образование шероховатости поверхности подачи и геометрии лезвия;
- расчет параметра Ra выполняется по алгоритму, представленному в табл. 1;
- в ячейки программы для исходных данных разрешен ввод только цифровых данных соответствующего формата, при вводе буквенных данных клавиатура не отвечает на действия пользователя;
- выполняется проверка правильности введенных исходных данных исходя из ограничений (радиус при вершине $0 < r \leq 10$ мм; подача $0 < s \leq 5$ мм/об; главный угол в плане $0 < \varphi \leq 100$ град.; вспомогательный угол в плане $0 < \varphi^1 \leq 0$ град.; угол заострения $\varepsilon \geq 30$ град.). Вследствие неправильного ввода исходных данных, программа выдает текстовое сообщение о просьбе уточнить тот или иной параметр.

Без учета влияния пластических деформаций, вибраций, точности оборудования и качества инструмента можно рассчитать параметры Rz и Ra при любых сочетаниях геометрии лезвия и подачи (рис. 2).

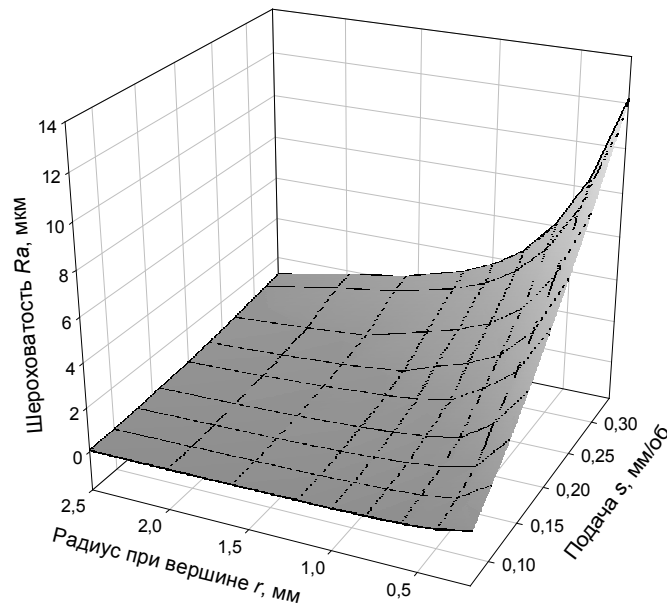


Рисунок 2 – Зависимость $Ra=f(S, r)$ при $\varphi=45^\circ$, $\varphi^1=15^\circ$

Это дает полную и наглядную информацию об интенсивности влияния параметров режима резания и геометрии инструмента на остаточную высоту гребешка при точении.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ

Чтобы исключить влияние посторонних факторов (вибрации) на образование шероховатости поверхности детали для проведения экспериментов, был выбран станок с жесткой системой СПИД 16К20Т1 с СЧПУ НС31, кроме того, эксперименты проводились со щадящими режимами резания, которые соответствуют тонкому точению. Для измерения сил резания использовался динамометр УДМ-600, а для измерения параметров шероховатости профилометр с унифицированной электронной системой тип А группа II по ГОСТу 19300-73 модель 283 и профилометр комплексный модель 201 №Х-114. Для наблюдения и фиксирования вида обработанной поверхности применялись большой инструментальный микроскоп БИМ-1 и цифровой фотоаппарат Olympus Camedia C-310 Zoom. Для обработки экспериментальных результатов применен персональный компьютер под управлением операционной системы Windows XP SP2 с программным обеспечением: Microsoft Office 2003, SigmaPlot 8.0, Delphi 7.0, T-FLEX CAD 8.0.

Это позволило получить реальную картину формирования шероховатости поверхности при точении и сопоставить ее с расчетными значениями, полученными при помощи программы SherTch (рис. 3, 4).

3 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из графиков (см. рис. 3, 4), на малых скоростях резания отличие между результатами эксперимента и расчета значительное. Объясняется это тем, что при малых скоростях резания происходят большие пластические деформации, и теоретический профиль микронеровностей сильно искажается. На вершине остаточного гребешка удерживаются остатки нароста (рис. 5а), который в основном и формирует показатели шероховатости.

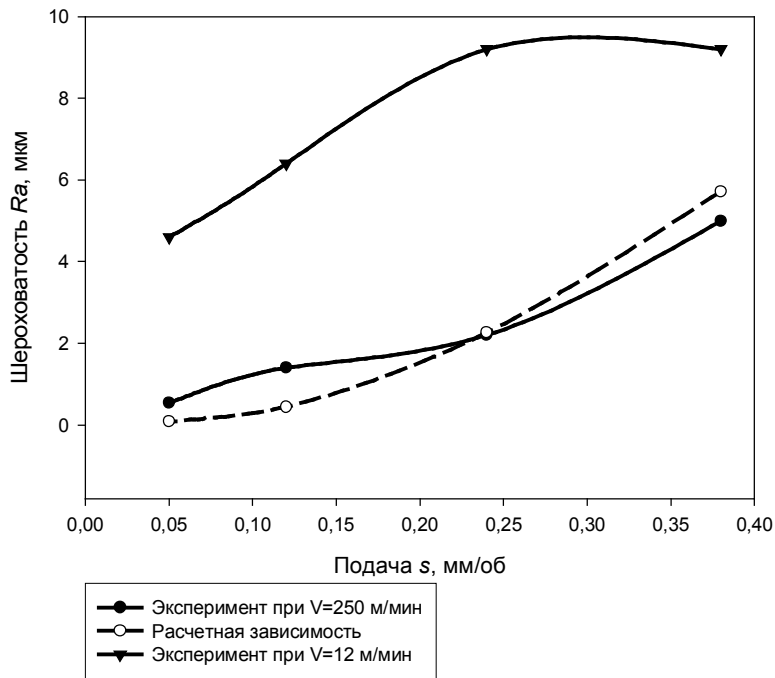


Рисунок 3 – Зависимость шероховатости от подачи при точении стали 45 резцом из Т15К6, $t=0,3$ мм, $r=0,8$ мм, $\varphi=93^\circ$, $\varphi^l=27^\circ$

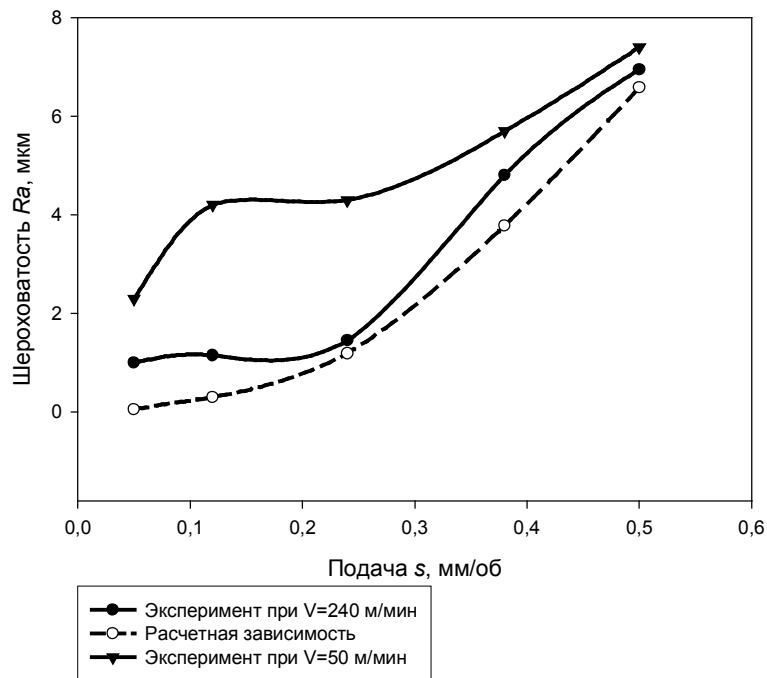
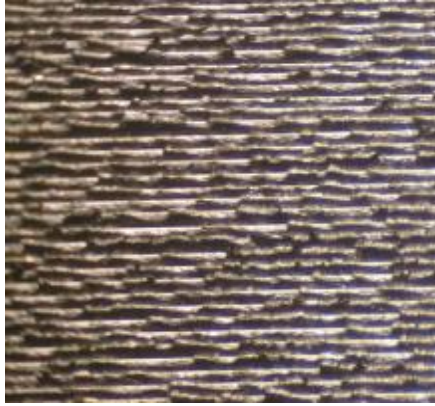


Рисунок 4 – Зависимость шероховатости от подачи при точении стали 45 резцом из В0К 60, $t=0,3$ мм, $r=1,2$ мм, $\varphi=93^\circ$, $\varphi^l=27^\circ$



а)



б)

Рисунок 5 – Вид обработанной поверхности при $t=0,3$ мм, $\varphi=93^\circ$, $\varphi^1=27^\circ$:

а) $V=12$ м/мин, $S=0,38$ мм/об, $r=0$ мм;

б) $V=175$ м/мин, $S=0,50$ мм/об, $r=1,2$ мм

При более высоких скоростях нарост отсутствует (рис. 5б), поэтому и наблюдается достаточно хорошее совпадение теоретической и экспериментальных кривых.

Вследствие разрушения обрабатываемого материала при образовании стружки на образовавшейся поверхности детали возможны неровности, трещины и задиры. При точении их высота доходит до 0,63 мкм. В связи с этим считается, что процесс точения может стабильно формировать шероховатость поверхности не ниже $Ra=0,63$ мкм [4]. Этот факт объясняет расхождение расчетных и экспериментальных графиков при $S<0,2$ мм/об. При малых значениях подач геометрически (считаем теоретически) можно сформировать поверхность с достаточно низкой шероховатостью. Однако, в связи с особенностями разрушения металла, при точении необходимо ограничиться $Ra=0,63$ мкм. Таким образом, экспериментально подтверждается полное соответствие расчетных результатов условиям процесса точения. Эти значения ориентируют практиков на реально достижимые параметры шероховатости. Если наблюдается несоответствие в расчетных и практических результатах, то причину следует искать в качестве оборудования и инструмента, в режимах резания.

ВЫВОДЫ

1 Основным фактором образования микронеровностей при жестком оборудовании и качественном инструменте является сочетание подачи и геометрии лезвия.

2 Разработана математическая зависимость, позволяющая получить значения параметров шероховатости, хорошо согласующиеся с практическими результатами.

3 Разработан алгоритм и создана программа для формализации процесса расчета шероховатости.

4 Из-за образования задиры и неровностей при разрушении в зоне резания, процесс точения не позволяет получить поверхность с шероховатостью меньше 0,63 Ra , поэтому расчетные значения, меньше этой величины не соответствуют действительности и их необходимо привести в соответствие указанному значению.

SUMMARY

Mathematical dependence, allowing to get the values of parameters of roughness is developed, it is well concordant with practical results. An algorithm is developed and the program for formalization of process of computation of roughness is created.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вульф А.М. Резание металлов. 2-е изд. Л.: Машиностроение. 1973 - 496 с.
2. Куфарев Г.Л., Окенов К.Б., Говорухин В.А. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. – Фрунзе: Мектеп, 1970. – 168 с.
3. Розенбрг О.А., Швец С.В. Геометрическое формирование высоты остаточного гребешка при точении // Вісник СумДУ. - 2000. - №15. - С.97-99.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2. т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. - Т. 2. - 496 с.

Поступила в редакцию 20 мая 2005 г.