

Определение шероховатости поверхности при точении резцами с закругленной вершиной режущей части

Введение

В настоящее время машиностроительное производство претерпевает значительные изменения в связи с техническим перевооружением: на смену устаревшему оборудованию приходят новые современные металло-режущие станки, характеризующиеся высокой точностью и позволяющие реализовать высокоскоростное резание. Это открывает новые технологические возможности высококачественной и высокопроизводительной обработки деталей машин, обеспечивающих высокие показатели точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей [1-3], что имеет большое практическое значение. Вместе с тем, новые технологии механообработки требуют новых знаний о закономерностях съема металла и формообразовании поверхностей в условиях высокоскоростной обработки и широкого применения прогрессивных конструкций режущих инструментов, оснащенных твердосплавными пластинами с износостойкими покрытиями самой разнообразной геометрии. Особый интерес представляет теоретический анализ закономерностей формирования шероховатости поверхности и условий ее уменьшения с учетом изменения геометрии режущих твердосплавных пластин при точении. Поэтому настоящая работа посвящена определению шероховатости поверхности при точении резцами с закругленной вершиной режущей части.

Основная часть

Тенденции развития современного машиностроения требуют постоянного повышения качества обрабатываемых поверхностей деталей, связанного в первую очередь с улучшением шероховатости поверхности. Это предполагает создание и применение новых технологий, нового оборудования и инструментов.

Одним из эффективных решений уменьшения шероховатости поверхности при точении является применение лезвийного металлорежущего инструмента с закругленной вершиной режущей части. Поэтому в настоящее время практически весь металлорежущий инструмент выпускается со стандартными углами закругления режущей части. Благодаря этому решению удалось на операциях точения существенно улучшить шероховатость поверхности.

Вместе с тем, в научно-технической литературе, используемой для обучения молодых специалистов-технологов, в основном рассматривается устаревший лезвийный металлорежущий инструмент, оснащенный пластинами с вершиной режущей части без закругления. Для расчета параметра шероховатости поверхности $R_{z\ p}$ при точении этим инструментом в работе [1, стр. 135] предложена следующая аналитическая зависимость:

$$R_{z\ p} = \frac{s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}, \quad (1)$$

где s - подача, мм/об.; φ – главный угол резца в плане; φ_1 – вспомогательный угол резца в плане.

Естественно, использовать эту зависимость в современном металлообрабатывающем производстве, когда токарная обработка производится резцами оснащенными пластинами с закругленной вершиной режущей части, не представляется возможным.

Мировые производители лезвийного инструмента в своих каталогах предлагают краткую информацию по технологии металлообработки. В ней приведена универсальная формула для расчета параметра шероховатости поверхности $R_{z\ p}$ при точении новыми инструментами, оснащенными режущими пластинами с закругленной вершиной [4]:

$$R_{z\ p} = \frac{s^2}{8 \cdot R}, \quad (2)$$

где R - радиус закругления вершины режущей пластины, мм.

В основу этой формулы, по сути, положено аналитическое решение для расчета шероховатости поверхности при фрезеровании цилиндрической фрезой, приведенное в работе [1, стр. 136]:

$$R_{z\ p} = \frac{s_z^2}{4 \cdot D}, \quad (3)$$

где s_z – подача на зуб, мм/зуб; D – диаметр закругления вершины режущей пластины, мм.

Для оценки достоверности рассмотренной формулы (2) было проведено ее математическое моделирование с помощью программного пакета Компас 3D. Как следует из рис. 1, впадины, образующие на обрабатываемой поверхности при точении, имеют форму окружности. Вместе с тем, если исходить из графического представления реальных условий образования шероховатости поверхности при точении резцами с закругленной вершиной, то геометрическая схема впадины, показанная на рис. 1, образуется только в некоторых случаях. В остальных случаях геометрическая схема впадины представляет собой не форму окружности, а более

сложную форму (рис. 2), например полученную при точении резцом (рис. 3,а) с использованием режущей пластины с углом режущей части 80° , радиусом закругления 1,2 мм и вспомогательным углом резца в плане $\varphi_1 = 5^\circ$ (рис. 3,б). В этом случае шероховатость поверхности образуется как от работы радиусной части вершины пластины, так и от работы вспомогательного лезвия резца, расположенного под углом $\varphi_1 = 5^\circ$ к обрабатываемой поверхности.

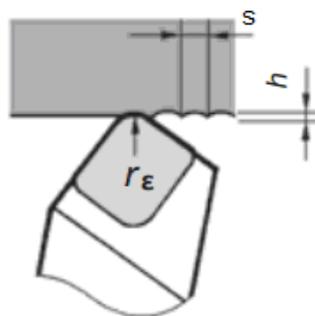


Рис. 1 – Схема образования шероховатости поверхности при точении [4]



Рис. 2 – Схема образования шероховатости поверхности при точении, полученная на основе моделирования

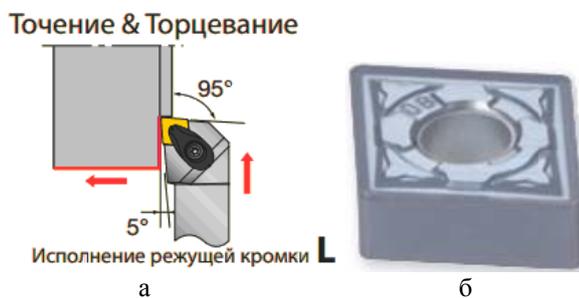


Рис. 3 – Применяемый инструмент для моделирования [4]

На основе графического моделирования образования шероховатости поверхности при точении было установлено, что с увеличением подачи центр впадины смещается влево, образуя сложную фигуру, отличающуюся от окружности. В связи с наличием этого фактора (пренебрегая влиянием других факторов) реально полученная шероховатость поверхности будет отличаться от шероховатости поверхности, рассчитанной по формуле (2). Следовательно, использование формулы (2) будет приводить к существенным погрешностям при расчете шероховатости поверхности и поэтому ее применять нецелесообразно.

В связи с этим представляет интерес аналитическое определение параметра шероховатости поверхности $R_{z,p}$ для данного случая точения [5]. Исходя из расчетной схемы, приведенной на рис. 4, положение вспомогательного лезвия резца в системе координат xoy может быть описано зависимостью: $y = -b + tg\varphi_1 \cdot x$. Величина b определяется из условия касания в точке A прямой, описываемой зависимостью $y = -b + tg\varphi_1 \cdot x$, и

окружности радиусом R с центром в точке O_1 : $\frac{R}{(R+b)} = \cos\varphi_1$. Откуда $b = R \cdot \left(1 - \frac{1}{\cos\varphi_1}\right)$.

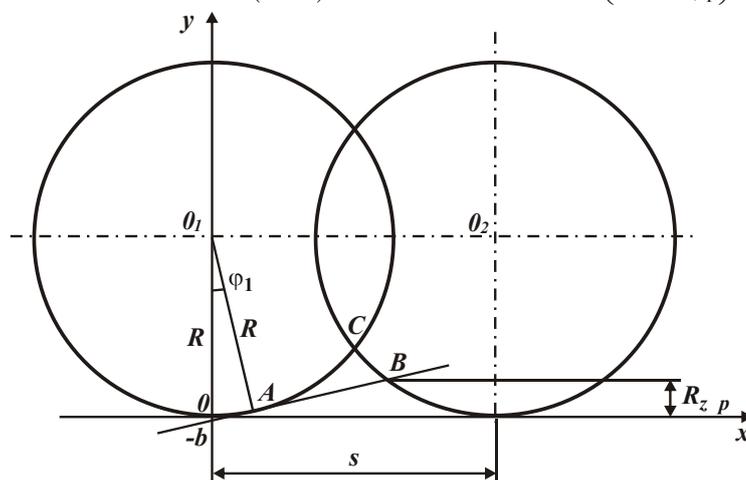


Рис. 4 – Расчетная схема определения параметра шероховатости поверхности $R_{z,p}$

Параметр шероховатости поверхности R_{z_p} определяется из условия пересечения в точке B прямой, описываемой зависимостью $y = -b + tg \varphi_1 \cdot x$, и окружности радиусом R с центром в точке O_2 . Окружности с центрами в точках O_1 и O_2 расположены на удалении, равном величине подачи s . Исходя из этого, составлена система уравнений, включающая уравнение окружности радиусом R с центром в точке O_2 и уравнение прямой линии, проходящей через точку A :

$$\begin{cases} (x-s)^2 + (y-R)^2 = R^2, \\ y = -b + tg \varphi_1 \cdot x. \end{cases} \quad (4)$$

Подставляя второе уравнение в первое уравнение системы, после преобразований получено квадратное уравнение относительно неизвестной величины x :

$$x^2 + p \cdot x + q = 0, \quad (5)$$

где $p = -\left(s + R \cdot \frac{tg \varphi_1}{\cos \varphi_1}\right) \cdot \cos^2 \varphi_1$; $q = (s^2 + R^2 \cdot tg^2 \varphi_1) \cdot \cos^2 \varphi_1$.

Решение квадратного уравнения:

$$x = -\frac{p}{2} - \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} = \left(s + R \cdot \frac{tg \varphi_1}{\cos \varphi_1}\right) \cdot \cos^2 \varphi_1 - \sqrt{\left(s + R \cdot \frac{tg \varphi_1}{\cos \varphi_1}\right)^2 \cdot \cos^4 \varphi_1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{2} \cdot (s^2 + R^2 \cdot tg^2 \varphi_1)}. \quad (6)$$

Величина $y = R_{z_p}$, исходя из системы уравнений (4), определяется зависимостью:

$$y = R_{z_p} = R \cdot \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi_1}\right) + tg \varphi_1 \cdot x. \quad (7)$$

Очевидно, при условии пересечения в точке A двух окружностей радиусами R с центрами в точках O_1 и O_2 параметр шероховатости поверхности R_{z_p} будет определяться зависимостью (2), поскольку формирование шероховатости поверхности будет происходить лишь от работы радиусной части вершины пластины. В этом случае справедливо соотношение $\frac{x}{R} = \sin \varphi_1$, откуда $x = R \cdot \sin \varphi_1$; $s = 2 \cdot x = 2 \cdot R \cdot \sin \varphi_1$.

Расчетами установлено, что для исходных данных $R=1,2$ мм и $\varphi_1=5^0$ подача $s=0,21$ мм/об, а для $R=0,8$ мм и $\varphi_1=5^0$ соответственно подача $s=0,14$ мм/об.

С увеличением подачи s , начиная с полученных значений, параметр шероховатости поверхности R_{z_p} необходимо определять на основе зависимостей (6) и (7), учитывающих работу как радиусной части вершины пластины, так и работу вспомогательного лезвия резца, расположенного под углом $\varphi_1=5^0$ к обрабатываемой поверхности. В результате форма микронеровностей, образуемых на обрабатываемой поверхности, будет принимать вид, показанный на рис. 2, рассматривая движение резца в противоположном направлении. Очевидно, параметр R_{z_p} , определяемый из условия пересечения прямой и окружности в точке B , будет всегда меньше параметра R_{z_p} , определяемого пересечением двух окружностей в точке C . Следовательно, участие в работе вспомогательного лезвия резца приводит к уменьшению шероховатости поверхности.

В табл. 1 и на рис. 5 приведены рассчитанные по зависимостям (2) и (7) значения параметра шероховатости поверхности R_{z_p} для $R=0,8$ мм и $\varphi_1=5^0$.

Таблица 1 – Расчетные значения параметра шероховатости поверхности R_{z_p} (в мм)

s , мм/об	0,14	0,2	0,4	0,6	0,8
R_{z_p} по зависимости (2)	0,003	0,0063	0,025	0,056	0,1
R_{z_p} по зависимости (7)	0,003	0,0068	0,0087	0,0126	0,0172

Как видно, с увеличением подачи s параметр R_{z_p} , рассчитанный по зависимости (7), увеличивается, однако не столь существенно по сравнению с увеличением параметра R_{z_p} , рассчитанного по упрощенной зависимости (2). При этом параметр R_{z_p} , рассчитанный по (2), увеличивается по квадратичной зависимости, а параметр R_{z_p} , рассчитанный по (7), - фактически по линейной зависимости. Следовательно, величина погрешности шероховатости поверхности с увеличением подачи изменяется нелинейно, что ограничивает возможности применения зависимости (2).

При подаче $s=0,8$ мм/об отношение значений параметра шероховатости поверхности R_{z_p} , рассчитанных по зависимостям (2) и (7), составляет 5,81, что указывает на существенное влияние положения вспомогательного лезвия резца на формирование шероховатости поверхности и условия ее уменьшения.

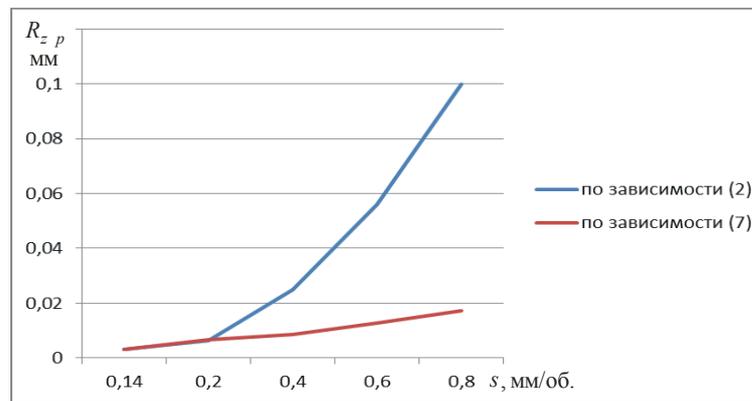


Рис. 5 – Графики изменения параметра шероховатости поверхности $R_{z,p}$ от подачи s

Таким образом, в работе получена аналитическая зависимость для определения параметра шероховатости поверхности $R_{z,p}$ с учетом совместной работы радиусной части вершины пластины и вспомогательного лезвия резца, что позволило уточнить известное решение, учитывающее лишь работу радиусной части вершины пластины. Полученная зависимость позволяет научно обоснованно определить параметры режима резания и условия их повышения. Это фактически исключает необходимость в процессе обработки деталей корректировать режимы резания для заданной шероховатости поверхности.

Предложенный в работе подход применим на операциях черновой и получистовой обработки, т.к. на большинстве операций чистовой обработки применяются пластины с технологией Wiper [6]. Эта технология предусматривает на сменных металлорежущих пластинах создание вершины режущей части из нескольких закруглений (рис. 6).

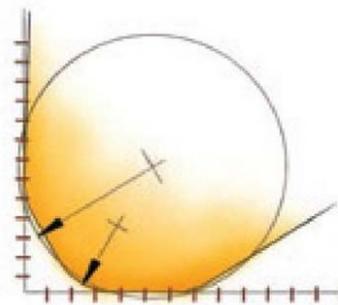


Рис. 6. Схема вершины режущей части по технологии Wiper [6]

Как следует из рис. 6, по новой технологии вершина режущей части ближе подходит к углу, образованному снимаемым материалом и обработанной деталью. В связи с этим, провести моделирование работы такого инструмента для данной схемы закругления вершины режущей части, а в особенности моделирование условий формирования шероховатости поверхности, намного сложнее.

Выводы

На основе полученных аналитических зависимостей и графического моделирования с помощью программного пакета Компас 3D проведен теоретический анализ закономерностей формирования шероховатости поверхности при точении резцами, оснащенными твердосплавными пластинками с закругленной вершиной режущей части. Установлено, что формирование шероховатости поверхности может происходить как от работы лишь радиусной части пластины, так и от совместной работы радиусной части пластины и вспомогательного лезвия резца, расположенного под некоторым углом к обрабатываемой поверхности. Показано, что в случае совместной работы радиусной части пластины и вспомогательного лезвия резца шероховатость поверхности меньше. Причем, чем меньше вспомогательный угол в плане резца, тем значительно уменьшается шероховатость поверхности. Приведены характеристики современных режущих пластин, позволяющие существенно уменьшить шероховатость поверхности при точении.

Перечень источников литературы: 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с. 2. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с. 3. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: навч. посібник / За редакцією А.І. Грабченко – Харків: ХДПУ, 1999. – 436 с. 4. Общий каталог TaeguTec. Cat.No: 6114802. Russian Version: СТ 03/2013. TaeguTec LTD. 5. Теоретические основы технологии машиностроения: учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов и др. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с. 6. <http://www.mip.zavod-vtuz.ru/> - каталог инструмента Sandvik.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ
РЕЗЦАМИ С ЗАКРУГЛЕННОЙ ВЕРШИНОЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ
НОВИКОВ Д.Ф.**

На основе полученных аналитических зависимостей и графического моделирования с помощью программного пакета Компас 3D проведен теоретический анализ закономерностей формирования шероховатости поверхности при точении резцами, оснащенными твердосплавными пластинками с закругленной вершиной режущей части. Установлено, что формирование шероховатости поверхности может происходить как от работы лишь радиусной части пластины, так и от совместной работы радиусной части пластины и вспомогательного лезвия резца, расположенного под некоторым углом к обрабатываемой поверхности. Показано, что в случае совместной работы радиусной части пластины и вспомогательного лезвия резца шероховатость поверхности меньше. Причем, чем меньше вспомогательный угол в плане резца, тем значительно уменьшается шероховатости поверхности. Приведены характеристики современных режущих пластин, позволяющие существенно уменьшить шероховатость поверхности при точении.

**ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ТОЧІННІ РІЗЦЯМИ ІЗ ЗАКРУГЛЕНОЮ
ВЕРШИНОЮ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ
НОВІКОВ Д.Ф.**

На основі отриманих аналітичних залежностей і графічного моделювання за допомогою програмного пакета Компас 3D проведений теоретичний аналіз закономірностей формування шорсткості поверхні при то-чінні різцями, оснащеними твердосплавними пластинками із закругленою вершиною різальної частини. Уста-новлено, що формування шорсткості поверхні може відбуватися як від роботи лише радіусної частини пласти-ни, так і від спільної роботи радіусної частини пластини й допоміжного леза різця, розташованого під деяким кутом до оброблюваної поверхні. Показано, що у випадку спільної роботи радіусної частини пластини й допо-міжного леза різця шорсткість поверхні менше. Причому, чим менше допоміжний кут у плані різця, тим знач-ніше зменшення шорсткості поверхні. Наведено характеристики сучасних різальних пластин, що дозволяють істотно зменшити шорсткість поверхні при то-чінні.

**DETERMINATION SURFACE ROUGHNESS IN TURNING TOOLS WITH A ROUNDED
TIP OF THE CUTTING PART
NOVIKOV D.F.**

On the basis of analytical relationships and graphic simulation software package Compass 3D theoretical analysis of regularities of formation of surface roughness in turning cutters equipped with hard alloy plates with rounded top of the cutting part. The formation of surface roughness can occur only from the work radius of the plate, and the radius of the joint work of the plate and the auxiliary blade cutter disposed at an angle to the workpiece. It is shown that in the case of joint operation radius of the plate and the auxiliary cutter blade surface roughness less. Moreover, the smaller the angle of the auxiliary cutting edge in plan, the greater the reduction in surface roughness. The characteristics of modern inserts to significantly reduce the surface roughness when turning.

Ключевые слова: точение, вершина резца, режущая пластина, вспомогательное лезвие, шероховатость поверхности, графическое моделирование, высокоскоростное резание, подача.

Ключові слова: то-чіння, вершина різця, різальна пластина, допоміжне лезо, шорсткість поверхні, графі-чне моделювання, високошвидкісне різання, подача.

Keywords: urning, the top cutter, the cutting insert, the auxiliary blade surface roughness, graphic modeling, high-speed cutting, filing.

Дата подання статті до редакції: 12 жовтня 2015 р.