

ВЛИЯНИЕ УГЛА ПОВОРОТА РАБОЧЕЙ ЧАСТИ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ РЕЗЦОВ НА ВЫСОТУ НЕРОВНОСТЕЙ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Гринёв Ю.А., Матюха П.Г.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Как известно, высота неровностей обработанной поверхности используется при определении действительной площади среза и параметров шероховатости обработанной поверхности, которая оказывает влияние на безотказность и долговечность деталей машин. На образование шероховатости поверхности влияет ряд факторов: геометрия рабочей части инструмента и кинематика его рабочего движения; колебательные перемещения инструмента; упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки; шероховатость рабочей части инструмента; вырывы частиц обрабатываемого материала [1]. В связи с вышеизложенным, прогнозирование параметров шероховатости является актуальной задачей.

Расчету высоты неровностей обработанной поверхности, обусловленной геометрией инструмента и режимами обработки, исследователями уделялось большое внимание. В литературе приводятся формулы, позволяющие определить высоту неровностей обработанной поверхности для точения с разнообразными сочетаниями геометрических, конструктивных параметров и подачи [1–3], а также для отдельных случаев обработки [5–11]. Однако, рекомендуемые условия применения являются необходимыми, но недостаточными, а в работе [4] имеются неточности в рекомендациях по применению предложенных формул.

В результате этого, использовать известные зависимости с целью исследования влияния угла поворота режущей части относительно державки универсально-сборного резца (УСР) на высоту неровностей обработанной поверхности не представляется возможным.

Целью исследований является изучение влияния угла поворота рабочей части УСР на высоту неровностей обработанной поверхности в широком диапазоне изменения углов в плане.

При различных подачах высота неровностей обработанной поверхности может формироваться за счет пересечения проекций на основную плоскость (рис. 1):

- а) главной и вспомогательной режущих кромок;
- б) радиуса вершины лезвия;
- в) главной режущей кромки и радиуса вершины лезвия;
- г) вспомогательной режущей кромки и радиуса вершины лезвия;
- д) режущей вершины инструмента с поверхностью заготовки.

Для расчета высоты неровностей обработанной поверхности при различных вариантах их формирования с помощью методов аналитической геометрии [4] выведем формулы для условий, когда главный передний угол γ и угол наклона главной режущей кромки λ равны нулю (рис. 2). Режущую часть инструмента представим как совокупность прямых, проведенных касательно к радиусу вершины лезвия r . Центр системы координат $ХОУ$ свяжем с центром радиуса вершины лезвия, ось $ОХ$ проходит через два последовательных положения центров O и O_0 окружностей, которые отстоят друг от друга на расстоянии, равном величине подачи s .

Уравнение главной режущей кромки:

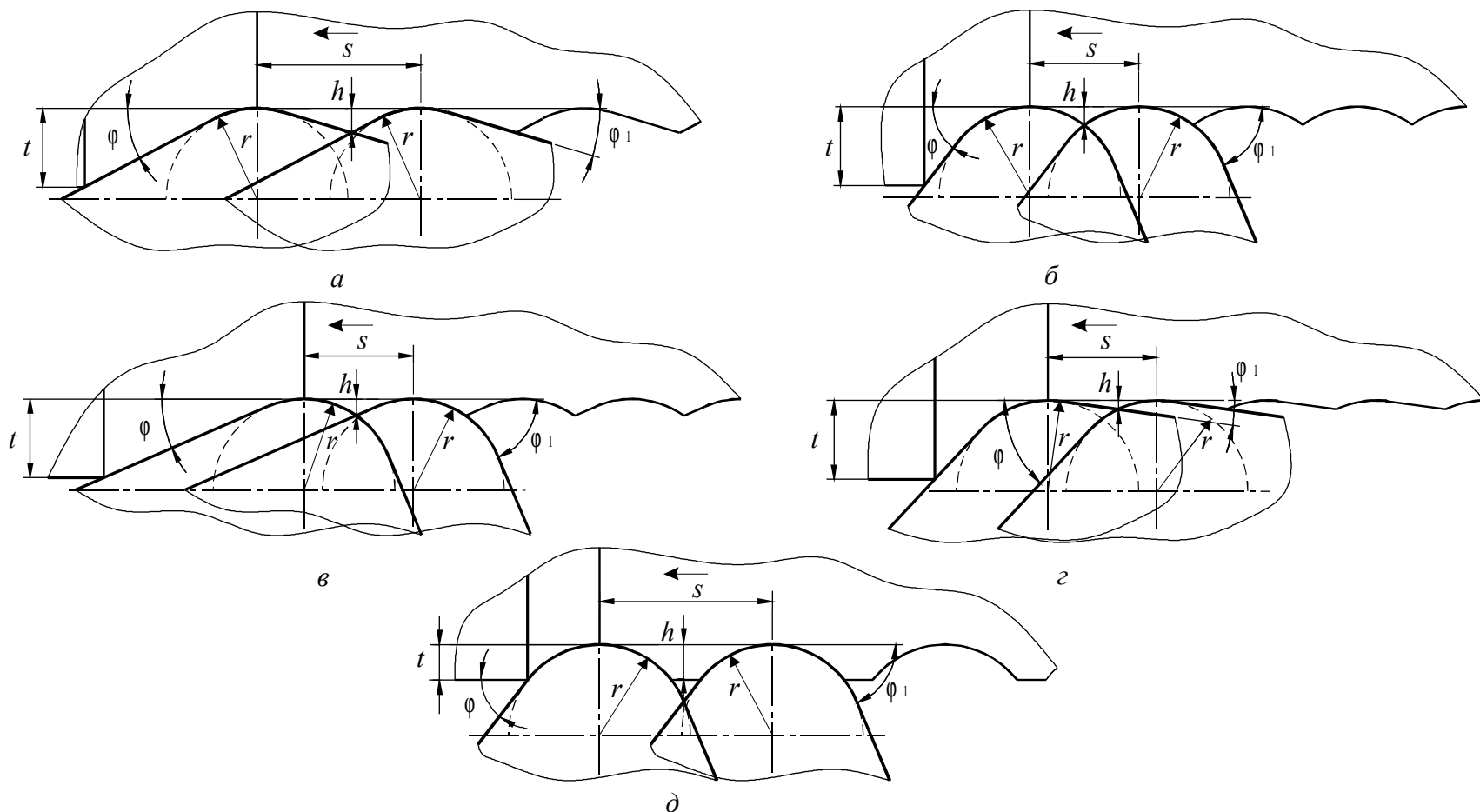


Рис. 1. Возможные варианты формирования высоты неровностей обработанной поверхности за счет пересечения проекций на основную плоскость:

- а – главной и вспомогательной режущих кромок;
- б – радиуса вершины лезвия;
- в – главной режущей кромки и радиуса вершины лезвия;
- г – вспомогательной режущей кромки и радиуса вершины лезвия;
- д – режущей вершины инструмента с поверхностью заготовки.

$$y = a + x \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где $a = r \cos \varphi - (s - r \sin \varphi) \operatorname{tg} \varphi$.

Уравнение вспомогательной режущей кромки:

$$y = b - x \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (2)$$

где $b = r \cos \varphi_1 + r \operatorname{tg} \varphi_1 \sin \varphi_1$.

Уравнения окружностей, описывающих форму вершины резца:
с центром в точке O

$$y^2 = r^2 - x^2; \quad (3)$$

с центром в точке O_0

$$y^2 = r^2 - (x - s)^2. \quad (4)$$

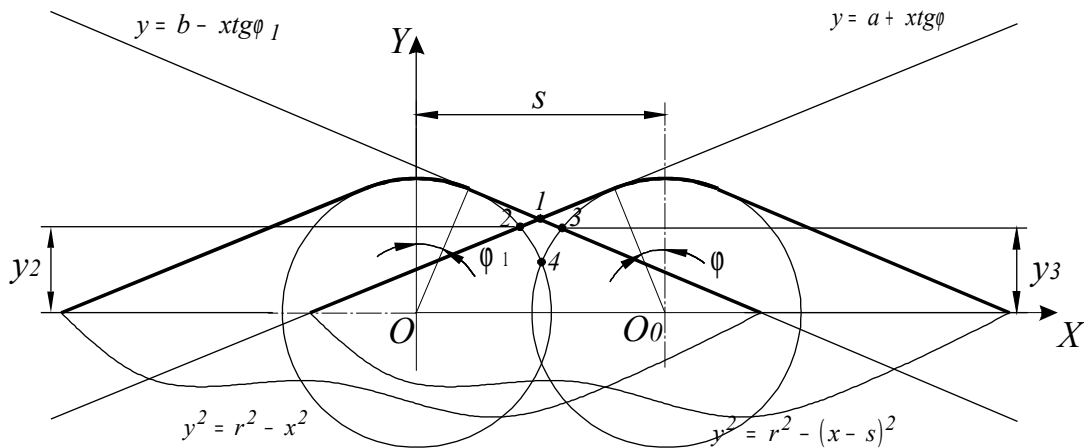


Рис. 2. Расчетная схема для определения высоты неровностей обработанной поверхности

Высоту неровностей для каждого случая обработки найдем с помощью формулы:

$$h = r - y,$$

где y – ордината точки пересечения, которую находим совместным решением уравнений (см. рис. 2):

для точки 1 – двух кромок ((1) и (2));

для точек 2, 3 – главной и вспомогательной режущих кромок (1), (2) с соответствующими окружностями (3), (4);

для точки 4 – окружностей (3) и (4).

Соответственно, ординату пересечения двух кромок в точке 1 определим по формуле:

$$y_1 = a + \frac{b - a}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1} \operatorname{tg} \varphi; \quad (5)$$

ординату пересечения главной режущей кромки (1) и окружности (3) в точке 2:

$$y_2 = a + \frac{-2atg\varphi \pm \sqrt{(2atg\varphi)^2 - 4(1+tg^2\varphi)(a^2 - r^2)}}{2(1+tg^2\varphi)}tg\varphi; \quad (6)$$

ординату пересечения вспомогательной режущей кромки (2) и окружности (4) в точке 3:

$$y_3 = b - \frac{2(s+btg\varphi_1) \mp \sqrt{[2(s+btg\varphi_1)]^2 - 4(1+tg^2\varphi_1)(b^2 - r^2 + s^2)}}{2(1+tg^2\varphi_1)}tg\varphi_1; \quad (7)$$

ординату пересечения окружностей (3) и (4) в точке 4:

$$y_4 = \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}}. \quad (8)$$

Зависимость (5) не может быть использована при $\varphi = 90^\circ$ или $\varphi_1 = 90^\circ$, так как тангенс девяноста градусов равен бесконечности. В этих случаях необходимо применять формулы, полученные из геометрических построений (рис. 3):

при $\varphi = 90^\circ$ $y_1 = r - [s - r(1 + \sin\varphi_1 - (1 - \cos\varphi_1)ctg\varphi_1)]tg\varphi_1$;

аналогично, при $\varphi_1 = 90^\circ$ $y_1 = r - [s - r(1 + \sin\varphi - (1 - \cos\varphi)ctg\varphi)]tg\varphi$.

Верхние знаки в формулах (6) и (7) применяются при соответственно $\varphi < 90^\circ$ и $\varphi_1 < 90^\circ$, нижние – при $\varphi > 90^\circ$ и $\varphi_1 > 90^\circ$.

При этом, когда $\varphi = 90^\circ$, не существует точки пересечения главной режущей кромки с дугой, сопрягающей режущие кромки, а, когда $\varphi_1 = 90^\circ$, не существует точки пересечения вспомогательной режущей кромки с дугой, сопрягающей режущие кромки.

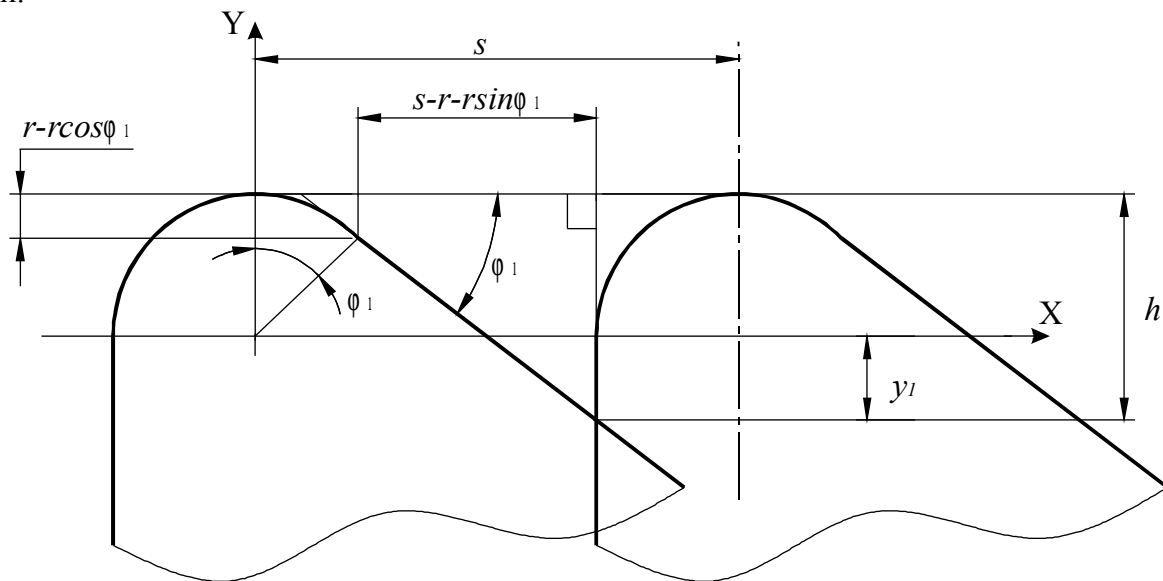


Рис. 3. Расчетная схема для определения высоты неровностей обработанной поверхности при величине главного угла в плане $\varphi = 90^\circ$

Рассмотрим условия применения предложенных формул (5 - 8) (табл. 1) в зависимости от варианта формирования высоты неровностей (см. рис. 1).

С использованием предложенных зависимостей (9 - 12) и указанных условий применения (см. табл. 1), создана программа для расчета высоты неровностей обработанной поверхности на ПЭВМ в зависимости от условий обработки и угла поворота рабочей части УСР.

Проанализируем рекомендуемые условия применения формул (табл. 2), приведенные в литературе [1–3], при различных вариантах формирования высоты неровностей обработанной поверхности. С этой целью при помощи разработанной программы проведем серию расчетов для случаев, соответствующих различным условиям формирования высоты неровностей (табл. 3), используя рекомендации из таблиц 1 и 2.

Как видно из таблицы 3, предлагаемые условия применения известных и полученных нами формул для расчета высоты неровностей обработанной поверхности обеспечивают как совпадение полученных результатов, так и их расхождение более чем на 10%. Следовательно, для выполнения исследований, связанных с оптимизацией диапазонов регулирования углов рабочей части универсально-сборных резцов необходимо пользоваться рекомендуемыми нами формулами и указанными условиями применения (см. табл. 1).

С помощью разработанной программы было также проведено исследование влияния величины угла поворота рабочей части относительно державки и радиуса при вершине многогранной неперетачиваемой пластины (МНП) на высоту неровностей при обработке УСР, оснащенным МНП с углом при вершине $\varepsilon = 60^\circ$. Расчет производился при следующих исходных данных: базовое положение рабочей части при главном угле в плане $\varphi = 30^\circ$, конечное положение рабочей части при главном угле в плане $\varphi = 100^\circ$, шаг изменения угла в плане 1° , поворот осуществлялся против часовой стрелки, величина радиуса при вершине изменялась от 0 до 2 мм с шагом 0,1 мм, величина подачи изменялась от 0,1 до 1 мм/об.

Как показали исследования, влияние угла поворота рабочей части УСР относительно державки на характер изменения высоты неровностей обработанной поверхности при различных величинах подач качественно не изменяется, поэтому приведем лишь результаты расчетов при граничных величинах подач (рис. 4).

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы, которые относятся ко всем УСР, оснащенным стандартными МНП различной формы:

- поворот рабочей части УСР относительно державки влияет на величину микро-неровностей обработанной поверхности;

- с увеличением радиуса при вершине МНП диапазон, в котором высота неровностей обработанной поверхности стабильна, увеличивается;

- параметры шероховатости обработанной поверхности не ограничивают диапазон изменения углов поворота рабочей части УСР, если режимы обработки назначать по максимальному значению параметра высоты неровностей в диапазоне регулирования углов в плане;

- при необходимости сохранения высоты неровностей стабильной допустимый диапазон регулирования углов в плане должен назначаться с учетом влияния угла поворота рабочей части УСР, величины подачи и геометрических параметров МНП на высоту неровностей обработанной поверхности.

Предложенные зависимости и условия их применения будут использованы при разработке системы автоматизированного проектирования универсально-сборных инструментов с поворотной рабочей частью.

Таблица 1. Предлагаемые зависимости для определения высоты неровностей обработанной поверхности и условия по их применению

Вариант формирования высоты неровностей обработанной поверхности	Соответствующие условия	Формула для расчета высоты неровностей обработанной поверхности
рисунок 1,а	$2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_1, \varphi = \varphi_1;$ $2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_1, \varphi > \varphi_1, \varphi < \arccos(y_3/r);$ $2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_1, \varphi < \varphi_1, \varphi_1 < \arccos(y_2/r);$ $s > 2r, \varphi = \varphi_1;$ $s > 2r, \varphi > \varphi_1, s > 2r(\cos \varphi_1 \operatorname{ctg} \varphi_1 + \sin \varphi_1);$ $s > 2r, \varphi > \varphi_1, 2r(\cos \varphi_1 \operatorname{ctg} \varphi_1 + \sin \varphi_1) \geq s, \varphi < \arccos(y_3/r);$ $s > 2r, \varphi < \varphi_1, s > 2r(\cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi + \sin \varphi);$ $s > 2r, \varphi < \varphi_1, 2r(\cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi + \sin \varphi) \geq s, \varphi_1 < \arccos(y_2/r);$	$h = r - y_1 \quad (9)$
рисунок 1,б	$2r \geq s, \varphi \geq \arcsin(s / 2r) \leq \varphi_1;$	$h = r - y_4 \quad (10)$
рисунок 1,в	$2r \geq s, \varphi < \arcsin(s / 2r) \leq \varphi_1;$ $2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_1, \varphi < \varphi_1, \varphi_1 \geq \arccos(y_2/r);$ $s > 2r, \varphi < \varphi_1, 2r(\cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi + \sin \varphi) \geq s, \varphi_1 \geq \arccos(y_2/r);$	$h = r - y_2 \quad (11)$
рисунок 1,г	$2r \geq s, \varphi \geq \arcsin(s / 2r) > \varphi_1;$ $2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_1, \varphi > \varphi_1, \varphi \geq \arccos(y_3/r);$ $s > 2r, \varphi > \varphi_1, 2r(\cos \varphi_1 \operatorname{ctg} \varphi_1 + \sin \varphi_1) \geq s, \varphi \geq \arccos(y_3/r);$	$h = r - y_3 \quad (12)$
рисунок 1,д	$t < r - y_i$	$h = t \quad (13)$

Таблица 2. Существующие зависимости для определения высоты неровностей обработанной поверхности и условия их применения

Вариант формирования высоты неровностей	Рекомендуемые условия применения	Источник	Формула для расчета высоты неровностей h
рисунок 1,а	$\varphi < \arcsin \frac{s}{2r} > \varphi_1$	[1]	$r(1 - \cos \varphi) + \frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1 [s - r(\sin \varphi + \sin \varphi_1)] - r \operatorname{tg} \varphi (\cos \varphi_1 - \cos \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1};$ (14)
		[2, 3]	$\frac{\sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \left[s - r \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) \right];$ (15)
рисунок 1,б	$\varphi \geq \arcsin \frac{s}{2r} \leq \varphi_1$	[1]	$\frac{s^2}{8r};$ (16)
		[2, 3]	$r - \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2};$ (17)
рисунок 1,в	$\varphi < \arcsin \frac{s}{2r} \leq \varphi_1$	[2]	$r[1 - \sin(\varphi + \beta)]; \sin \beta = 1 - \frac{s \sin \varphi}{r};$ (18)
		[1, 3]	$r(1 - \cos \varphi) + s \sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi \sqrt{s \sin \varphi (2r - s \sin \varphi)};$ (19)
рисунок 1,г	$\varphi \geq \arcsin \frac{s}{2r} > \varphi_1$	[2]	$r[1 - \sin(\varphi_1 + \beta)]; \sin \beta = 1 - \frac{s \sin \varphi_1}{r};$ (20)
		[1, 3*]	$r(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 (s \cos \varphi_1 - \sqrt{s \sin \varphi_1 (2r - s \sin \varphi_1)});$ (21)

Примечание. * - в источнике формула приведена с опечаткой.

Таблица 3. Результаты сравнительных расчетов высоты неровностей обработанной поверхности

Условия применения формул (табл. 2) согласно источникам [1–3]	Вариант формирования высоты неровностей согласно [1-3]	Рекомендуемые условия применения предложенных формул (табл. 1)	Рекомендуемый вариант формирования высоты неровностей	Исходные данные для расчета	Высота неровностей обработанной поверхности, рассчитанная с учетом условий применения			
					По существующим формулам (табл.2)		По предложенным формулам (табл.1)	
					№ формулы	высота, мкм	№ формулы	высота, мкм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varphi < \arcsin \frac{s}{2r} > \varphi_I$	рисунок 1,а	$2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_I,$ $\varphi = \varphi_I$	рисунок 1,а	$\varphi = 45^\circ; \varphi_I = 45^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,3 \text{ мм/об};$	(14)	67	(9)	67
		$2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_I,$ $\varphi > \varphi_I, \varphi \geq \arccos(y_3/r)$	рисунок 1,г	$\varphi = 60^\circ; \varphi_I = 5^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,35 \text{ мм/об};$	(14)	19	(12)	22
		$2r \geq s, \varphi < \arcsin(s/2r) > \varphi_I,$ $\varphi < \varphi_I, \varphi_I \geq \arccos(y_2/r)$	рисунок 1,в	$\varphi = 15^\circ; \varphi_I = 75^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,39 \text{ мм/об};$	(14)	53	(11)	59
$\varphi \geq \arcsin \frac{s}{2r} \leq \varphi_I$	рисунок 1,б	$2r \geq s,$ $\varphi \geq \arcsin(s / 2r) \leq \varphi_I$	рисунок 1,б	$\varphi = 45^\circ; \varphi_I = 45^\circ;$ $r = 1 \text{ мм};$ $s = 0,5 \text{ мм/об}$	(16)	31	(10)	32
$\varphi < \arcsin \frac{s}{2r} \leq \varphi_I$	рисунок 1,в	$2r \geq s,$ $\varphi < \arcsin(s / 2r) \leq \varphi_I$	рисунок 1,в	$\varphi = 45^\circ; \varphi_I = 75^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,3 \text{ мм/об}$	(18)	67	(11)	67
				$\varphi = 45^\circ; \varphi_I = 75^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,3 \text{ мм/об}$	(19)	67		
$\varphi \geq \arcsin \frac{s}{2r} > \varphi_I$	рисунок 1,г	$2r \geq s,$ $\varphi \geq \arcsin(s / 2r) > \varphi_I$	рисунок 1,г	$\varphi = 75^\circ; \varphi_I = 15^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,2 \text{ мм/об}$	(20)	22	(12)	22
				$\varphi = 75^\circ; \varphi_I = 15^\circ;$ $r = 0,2 \text{ мм};$ $s = 0,2 \text{ мм/об}$	(21)	22		

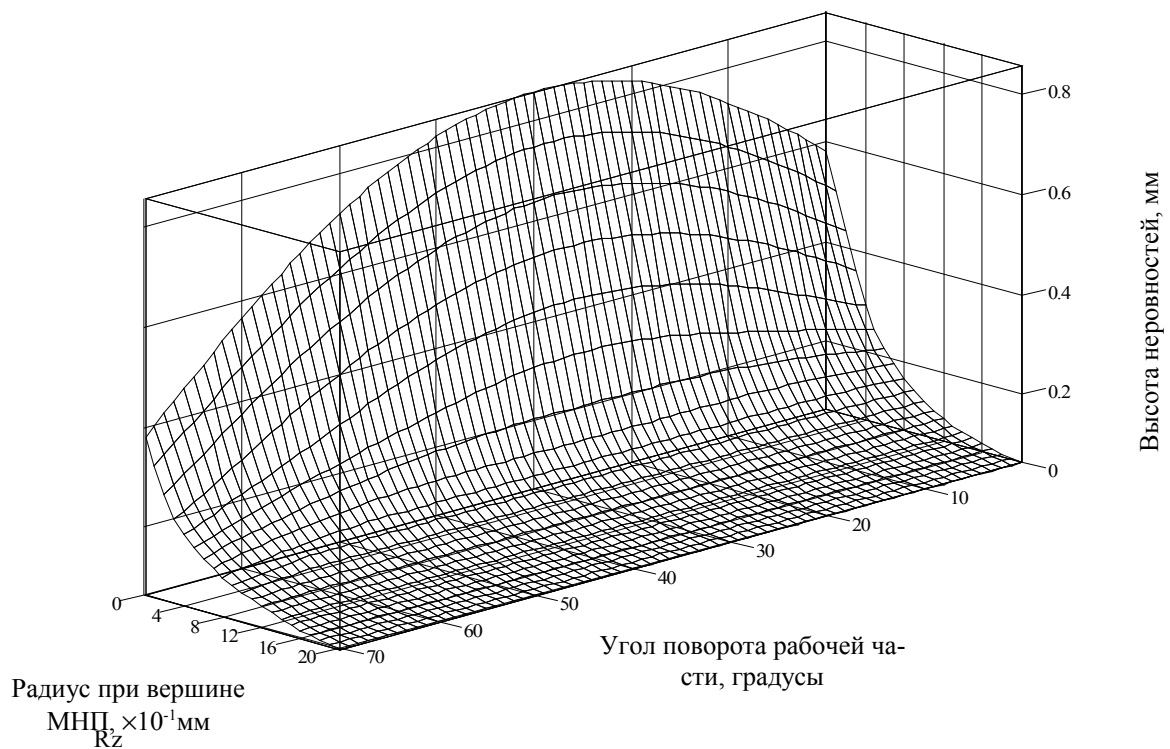
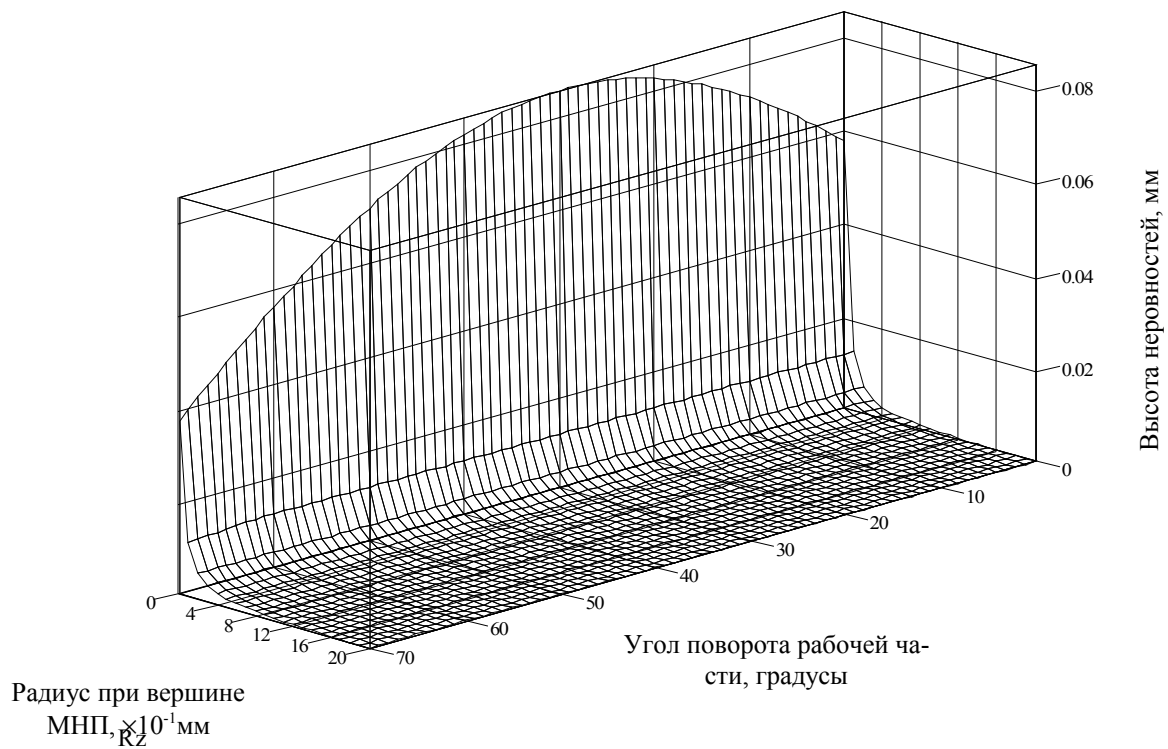


Рис. 4. Влияние величины угла поворота рабочей части относительно державки и радиуса при вершине МНП на высоту неровностей обработанной поверхности:
 а – $s = 0,1$ мм/об; б – $s = 1,0$ мм/об

Список литературы: 1. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. 2. Исаев А.И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. – М.: Машгиз, 1950. – 360 с. 3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М., Машиностроение, 1975. – 344 с. 4. Розенберг О.А., Швец С.В. Геометрическое формирование высоты остаточного гребешка при точении /Вісник СумДУ, 2000. – № 15. – С. 97 – 99. 5. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение, 1981. – 392 с. 6. Филоненко С.Н. Резание металлов. – К.: Вища школа, 1969. – 260 с. 7. Армарево И.Дж.А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ. В.А. Пастунова. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с. 8. Вульф А.М. Резание металлов. Изд. 2-е. – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с. 9. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 464 с. 10. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – М.: Машиностроение, 1967. – 500 с. 11. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки В.А. Кривоухов, П.Г. Петруха и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 654 с.

ВЛИЯНИЕ УГЛА ПОВОРОТА РАБОЧЕЙ ЧАСТИ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ РЕЗЦОВ НА ВЫСОТУ НЕРОВНОСТЕЙ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Гринёв Ю.А., Матюха П.Г.

В статье предложена методика расчета высоты неровностей обработанной поверхности. при изменения углов в плане в широком диапазоне. Исследовано влияние угла поворота рабочей части универсально-сборных резцов на высоту неровностей обработанной поверхности. Полученные результаты позволяют оптимизировать конструкцию резца, а также назначить величину подачи по заданным параметрам шероховатости обработанной поверхности.

ВПЛИВ КУТА ПОВОРОТУ РОБОЧОЇ ЧАСТИНИ УНІВЕРСАЛЬНО-ЗБІРНИХ РІЗЦІВ НА ВИСОТУ НЕРІВНОСТЕЙ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ

Гриньов Ю.О., Матюха П.Г.

У статті пропонується методика розрахунку висоти нерівностей обробленої поверхні при зміні кутів у плані в широкому діапазоні. Досліджений вплив кута повороту робочої частини універсально-збірних різців на висоту нерівностей обробленої поверхні. Отримані результати дозволяють оптимізувати конструкцію різця, а також призначити величину подачі, яка забезпечує задані параметри шорсткості обробленої поверхні.

INFLUENCE OF ROTATION ANGLE OF THE WORKING PART OF UNIVERSAL MODULAR CUTTERS ON HEIGHT OF IRREGULARITIES OF MACHINED SURFACE

Grinyov Y.A., Matjuha P.G.

In the paper the technique of calculation of height of irregularities of machined surface is offered at change of cutting edge angle in a wide range. The influence of rotation angle of the working part of universal modular cutters on height of irregularities of machined surface is investigated. The obtained results allow optimizing a design of the cutter, and also to specify the value of feed on the given parameters of roughness of machined surface.