

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

№ 2 2019

Учредитель журнала:

ЗАО «Солигорский Институт проблем
ресурсосбережения с Опытным
производством»

Научно-технический журнал

Издается с декабря 1998 г.

Выходит четыре раза в год

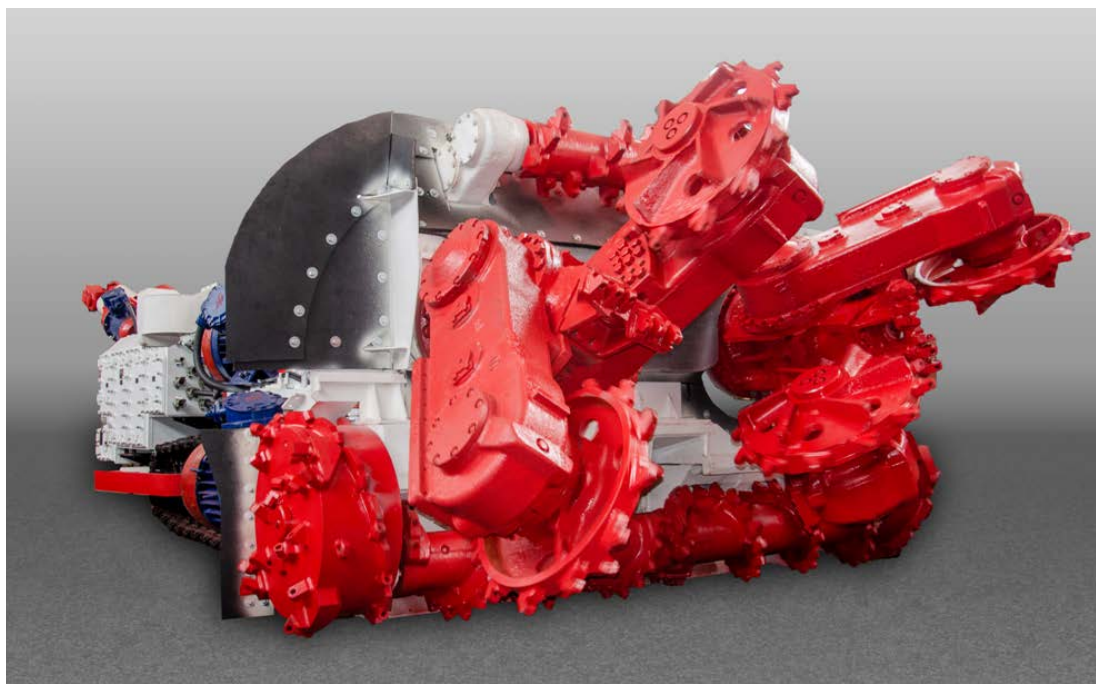
Редакция:

Главный редактор
Прушак Виктор Яковлевич

Заместитель главного редактора
Петровский Борис Иванович

Редакционная коллегия:

С.С. Андрейко (Россия), П.Н. Богданович (Беларусь), Ц. Вутов (Болгария),
В.А. Губанов (Беларусь), М.А. Журавков (Беларусь),
Н.П. Крутько (Беларусь), Е.И. Марукович (Беларусь), Ф.И. Пантелеенко (Беларусь),
В.К. Шелег (Беларусь), А.О. Шимановский (Беларусь)



Адрес редакции:

ул. Козлова, 69, 223710, г. Солигорск, Минская обл., Республика Беларусь

Тел.: (+375 174) 28 21 07, факс: (+375 174) 26 28 37

E-mail: onti@sipr.by

Журнал включен в перечень научных изданий РБ для опубликования результатов диссертационных исследований по научным направлениям: технические науки (геотехнология, материаловедение, машиностроение)
Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

© ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», 2019

УДК 621.91.04

Данилов В.А.¹, Селицкий А.Н.²¹ Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь² УО «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Беларусь

ОСОБЕННОСТИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДКИ СТРУЖКИ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭКСЦЕНТРИЧНО УСТАНОВЛЕННЫМ КРУГЛЫМ РЕЗЦОМ

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния режимов резания на усадку стружки при ротационном точении цилиндрических поверхностей с синусоидальным профилем эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом. Рассмотрена схема обработки поверхностей с тремя и четырьмя гранями при нулевом значении угла наклона режущей кромки, частоте вращения резца 56, 71, 90 мин⁻¹, подаче в диапазоне 0,2-0,6 мм/об и глубине резания 1,0-4,0 мм. Представлены графики, отражающие влияние параметров схемы обработки на значения коэффициентов утолщения, уширения и укорочения стружки.

Ключевые слова: синусоидальная цилиндрическая поверхность, ротационное точение, параметры срезаемого слоя, форма стружки, пластическая деформация стружки.

Danilov V.A.¹, Selitsky A.N.²¹ Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus² Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus

CHARACTERISTICS OF CHIPFORMING AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CHIPPING SHRINKAGE AT THE ROTATIONAL TURNING OF THE SINUSOIDAL SURFACES BY A ROUND CUTTER ECCENTRICALLY INSTALLED

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the effect of cutting conditions on chip shrinkage during rotational turning of cylindrical surfaces with a sinusoidal profile set eccentrically by a forced rotating circular cutter. A plan of treating the surface with three and four edges at zero inclination angle of the cutting edge, rotation speed of the cutter 56, 71, 90 min⁻¹, feed in the range of 0,2-0,6 mm/rev and depth of cut 1,0-4,0 mm is considered. The graphs reflecting the effect of the parameters of the processing plan on the values of the coefficients of thickening, broadening and shortening of the chips are stated.

Keywords: sinusoidal cylindrical surface, rotational turning, parameters of the cutting layer, chip shape, chip plastic deformation.

Введение. Обработка резанием сопровождается пластическим деформированием срезаемого слоя, которое характеризуется изменением размеров стружки по сравнению с его параметрами. Форма и размеры стружки зависят от элементов режима резания и геометрии режущего лезвия, влияющих на ее усадку. Известные исследования по стружкообразованию при ротационном точении относятся к обработке круглых цилиндрических поверхностей самовращающимися и принудительно вращающимися инструментами с непрерывной [1-5] и прерывистой [5] режущей кромкой. В этих исследованиях кинематический коэффициент, равный отношению окружных скоростей рез-

ца и заготовки в зоне резания, при обработке самовращающимся инструментом достигал значения 0,75, а с его принудительным вращением – 1,6.

При ротационном точении синусоидальной поверхности заготовке сообщают главное движение D_r (рисунок 1), а круглому резцу радиусом R_p прямолинейное движение подачи D_s и касательное движение D_{rk} – вращение вокруг оси O , параллельной его геометрической оси O_1 . Расстояние между этими осями равно эксцентриситету e установки резца. Значение e настраивается в 2 раза меньше высоты выступов, т.е. $e = 0,5(R-r)$, где R (r) – радиус описанной (вписанной) в синусоидальный профиль окружности. Вследствие эксцентричной установки резца непрерывно изменяется расстояние ρ_M между осью заготовки и точкой M контакта режущей кромки резца с формируемой синусоидальной поверхностью.

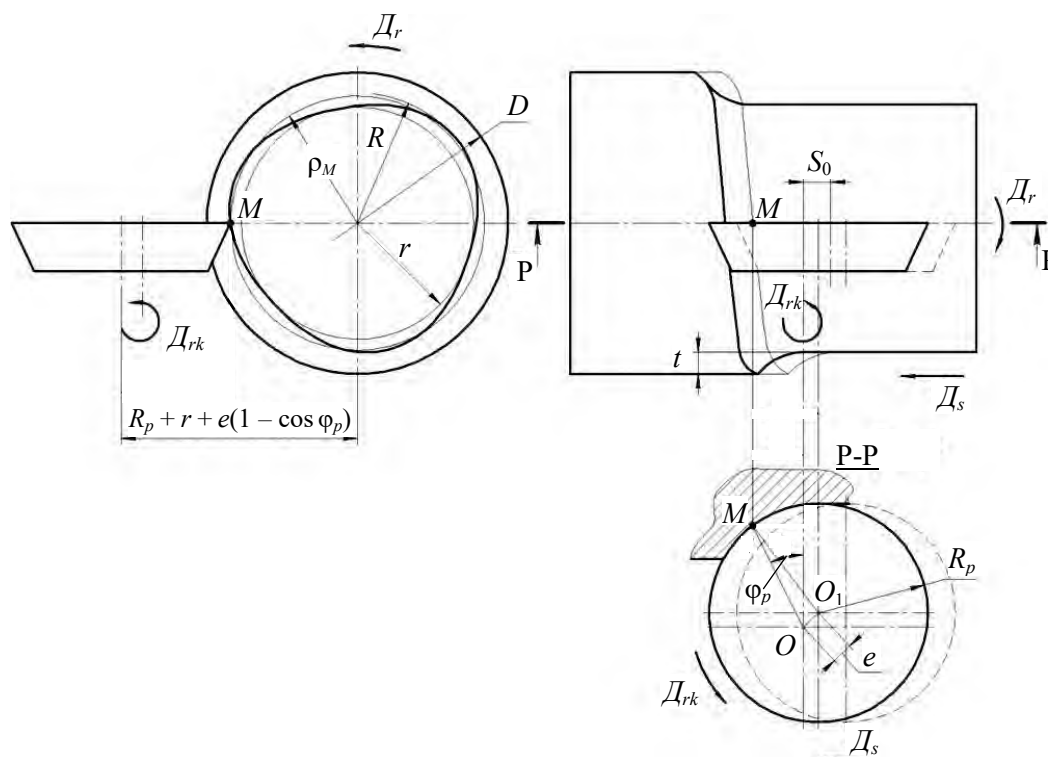


Рисунок 1. – Схема ротационного точения некруглой цилиндрической поверхности с синусоидальным профилем эксцентрично установленным круглым резцом

Отличительной особенностью ротационного точения некруглых поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом [6] является то, что частота вращения резца больше частоты вращения заготовки в отношении, равном числу выступов некруглого профиля, вследствие чего, окружная скорость резца в зоне контакта с заготовкой может в несколько раз превышать ее окружную скорость. Поэтому кинематический коэффициент при обработке по рассматриваемой схеме в большинстве случаев существенно больше, чем при ротационном точении круглых поверхностей. Кроме того, при ротационном точении поверхности с синусоидальным профилем, в отличие от ротационного точения некруглой цилиндрической поверхности с равномерно расположенными по окружности выступами [7], оси вращения резца и заготовки расположены под прямым углом, поэтому плоскость круговой режущей кромки параллельна оси вращения заготовки (рисунок 1).

При точении некруглой поверхности из круглых цилиндрических заготовок непрерывно изменяется глубина резания в зависимости от угла поворота эксцентрично установленного ротационного резца, что не имеет места при ротационном точении круглых поверхностей. Учитывая эти особенности ротационного точения эксцентрично установленным круглым резцом, исследование стружкообразования, в частности, усадки стружки при обработке синусоидальных поверхностей этим методом, имеет теоретическое и практическое значение.

Методика исследования. Схема обработки цилиндрической поверхности с синусоидальным профилем эксцентрично установленным круглым резцом изображена на рисунке 1. Экспериментальные исследования проводились на шлифцифрезерном станке модели HECKERT GFLV-250. В качестве режущего инструмента применялись круглые ротационные резцы из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 50..60 мм, изготовленные из угловых фрез. Геометрические параметры резцов имели следующие значения углов: передний угол 10° ; задний 20° . Производилась обработка заготовок из стали 40Х, предварительно проточенных до диаметра $D = 55$ мм, со следующими параметрами схемы обработки: число граней $m = 3$ и 4; эксцентриситет установки резца относительно оси его вращения $e = 1,5$ мм; радиус резца $R_p = 30$ мм; максимальный угол контакта (рисунок 1) $\varphi_{p\max} = 26,5^\circ$; частота вращения резца n_t мин $^{-1}$; максимальная глубина резания $t = 3,3$ мм; подача $S_0 = 0,134-0,67$ мм/об.

Экспериментально установлено, что стружка срезается в виде вытянутых спиралей (рисунок 2). Ее форма и размеры зависят от подачи S_0 . Стружка отделяется в виде отдельных элементов за время обработки каждой стороны некруглого профиля, при этом ширина стружки значительно увеличивается к половине ее длины, что связано с достижением максимальных значений угла контакта $\varphi_{p\max}$ и глубины резания t .

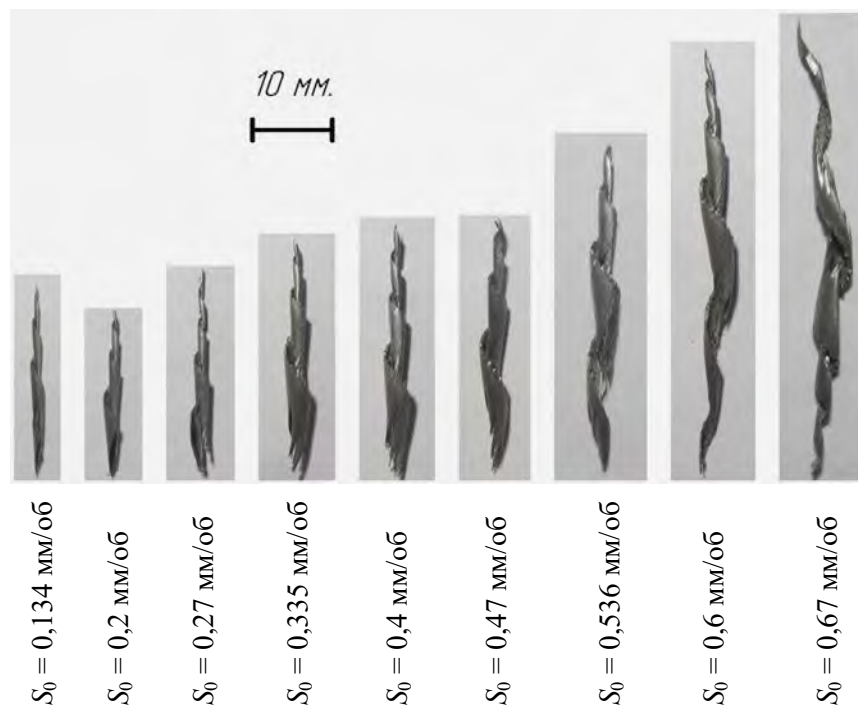


Рисунок 2. – Форма стружки при ротационном точении синусоидальной цилиндрической поверхности эксцентрично установленным круглым резцом

Благодаря такой форме стружки не повреждается обработанная поверхность, повышается безопасность работы на станке, сокращается трудоемкость уборки и переработки стружки.

Количественные показатели степени пластической деформации срезаемого слоя оценивались коэффициентами усадки стружки по толщине, ширине и длине, которые определялись методом непосредственных измерений. Для этого в каждом эксперименте измерялись толщина a_1 , ширина b_1 и длина l_1 пяти наибольших по сечению отобранных стружек. Измеренная ширина b_1 соответствовала точке, лежащей в середине рабочего участка режущей кромки. Экспериментальные данные представлены в таблице.

Таблица. – Результаты измерения толщины a_1 , ширины b_1 и длины l_1 стружки

№ опыта	Измеряемый параметр, мм	№ измерения					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
$S_0 = 0,2$ мм/об							
1	a_1	0,25	0,21	0,23	0,2	0,22	0,22
	b_1	9,0	9,2	8,3	8,5	8,4	8,68
	l_1	43,1	43,4	43,9	42,8	43,3	43,3
$S_0 = 0,335$ мм/об							
2	a_1	0,35	0,35	0,37	0,35	0,32	0,35
	b_1	9,1	8,7	9,0	8,7	8,7	8,84
	l_1	47,2	46,5	45,7	46,3	45,9	46,32
$S_0 = 0,4$ мм/об							
3	a_1	0,38	0,42	0,41	0,43	0,41	0,41
	b_1	9,4	9,7	10,0	9,6	9,8	9,7
	l_1	50,2	48,7	50,5	49,1	48,3	49,36
$S_0 = 0,536$ мм/об							
4	a_1	0,5	0,53	0,51	0,48	0,52	0,508
	b_1	10,0	10,3	9,8	10,4	10,2	10,14
	l_1	57,2	58,5	59,3	58,9	59,1	58,6
$S_0 = 0,6$ мм/об							
5	a_1	0,53	0,54	0,56	0,55	0,52	0,54
	b_1	10,1	10,4	10,0	10,8	10,3	10,32
	l_1	66,5	62,2	63,4	58,4	59,7	62,04

Расчетное значение толщины a срезаемого слоя определялось по формуле [8]:

$$a_m = S_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \varphi' \cdot \cos \eta' \cdot \cos \eta, \quad (1)$$

где φ – угол в плане в основной плоскости;

φ' – угол в плане в основной плоскости без учета вращения резца;

η' – угол между векторами скорости резания v'_{em} и скорости резания без учета вращения резца v_{em} ;

η – угол между векторами скорости резания без учета вращения резца v_{em} и скоростью движения v_m .

Поскольку поверхность резания имеет криволинейную образующую, то ширина срезаемого слоя b , равная рабочей длине режущей кромки, рассчитывалась по зависимости:

$$b = \frac{\pi \cdot \varphi_{p\max} \cdot [R_p + e(1 - \cos \varphi_p)]}{180^\circ}. \quad (2)$$

Длина l стружки определялась, исходя из уравнения профиля обработанной некруглой поверхности $\rho = r_c - e \cos(m\varphi)$, с учетом количества граней m .

Коэффициент утолщения K_a , коэффициент уширения K_b и коэффициент укорочения K_l рассчитывались, соответственно, по формулам:

$$K_a = \frac{a_1}{a}, \quad (3)$$

где a – расчетная толщина срезаемого слоя, мм;

a_1 – измеренная толщина стружки, мм;

$$K_b = \frac{b_1}{b}, \quad (4)$$

где b – расчетная ширина срезаемого слоя, мм;

b_1 – измеренная ширина стружки, мм;

$$K_l = \frac{l}{l_1}, \quad (5)$$

где l – расчетная длина срезаемого слоя, мм;

l_1 – измеренная длина стружки, мм.

Основные результаты. Рассмотрим усадку стружки при обработке некруглых цилиндрических поверхностей эксцентрично установленным ротационным резцом при изменении параметров режима резания, выраженную через коэффициенты утолщения K_a , уширения K_b , укорочения K_l .

Влияние параметров схемы обработки на коэффициент утолщения стружки K_a представлено на рисунке 3, из которого следует, что при изменении кинематического коэффициента k в диапазоне 2-6 и скорости вращения резца v_τ – 10,55-16,96 м/мин коэффициент K_a незначительно уменьшается (рисунок 3а, 3б).

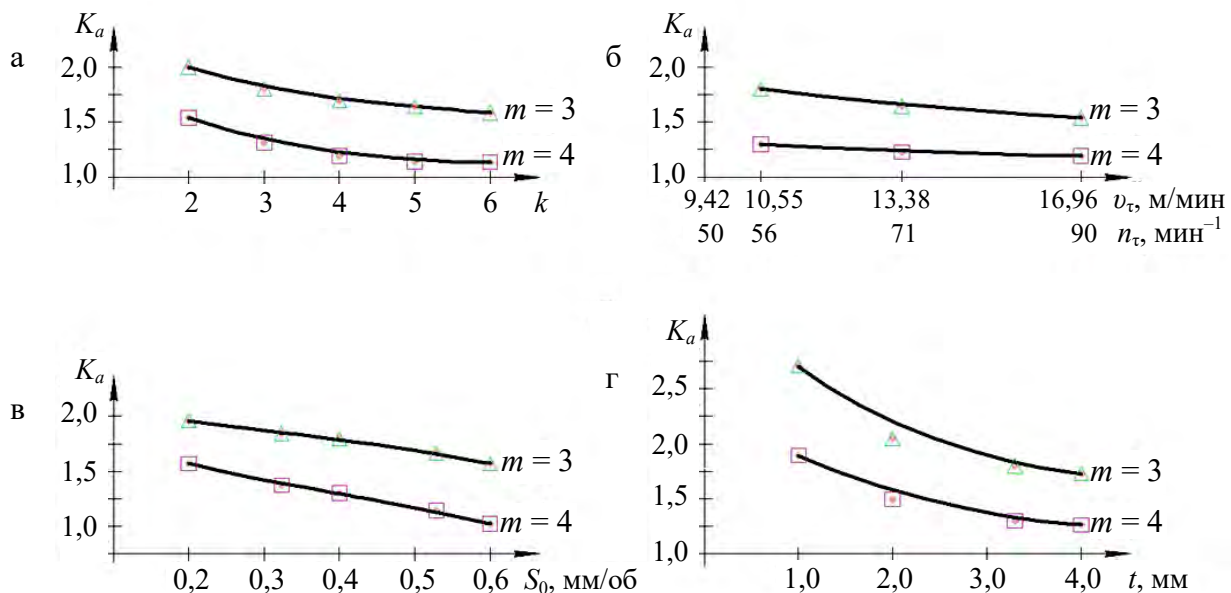


Рисунок 3. – Зависимость коэффициента усадки стружки K_a от кинематического коэффициента (а), скорости вращения резца (б), подачи (в) и глубины резания (г)

Как следует из рисунка 3в, с увеличением подачи S_0 значение K_a уменьшается, как при $m = 3$, так и при $m = 4$. Характер зависимости коэффициента K_a от глубины резания t аналогичен (рисунок 3г): с увеличением глубины резания значение K_a уменьшается, причем интенсивность изменения наибольшая при $t < 2$ мм.

Влияние кинематического коэффициента k на коэффициент уширения K_b (рисунок 4а) носит убывающий характер, что связано с изменением условий деформирования срезаемого слоя. Аналогично, с увеличением скорости вращения резца v_t (рисунок 4б) коэффициент K_b уменьшается.

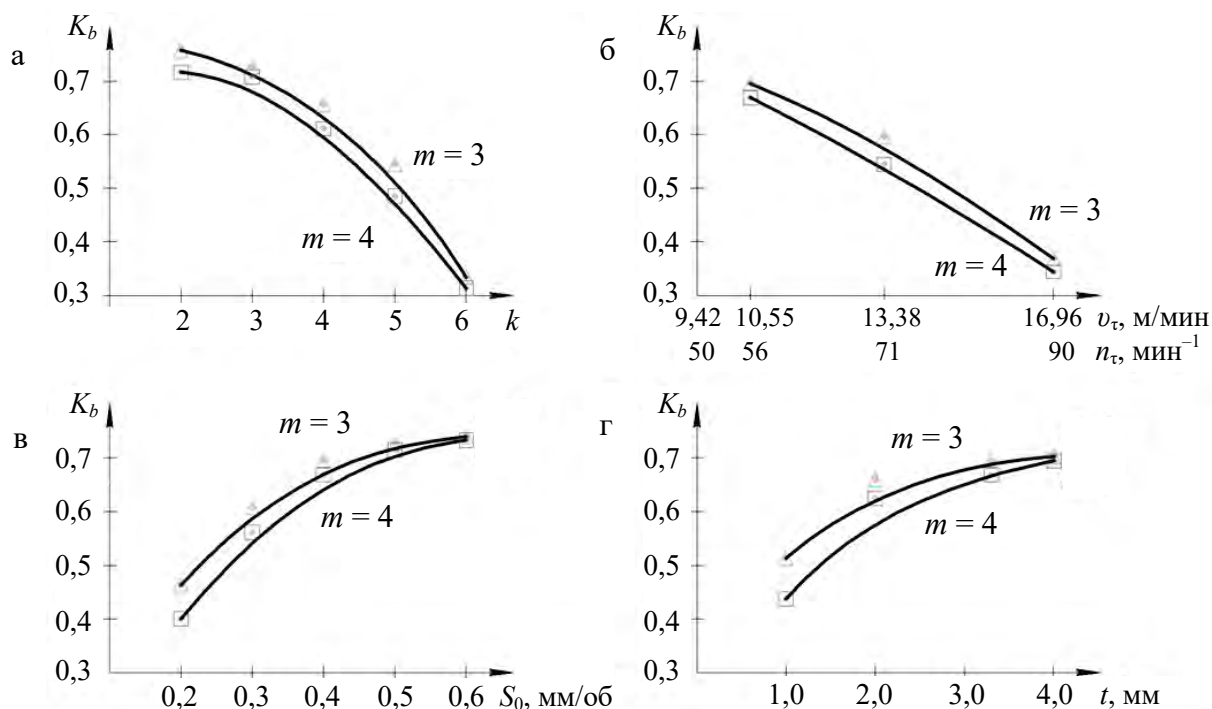


Рисунок 4. – Зависимость коэффициента усадки стружки K_b от кинематического коэффициента (а), скорости вращения резца (б), подачи (в) и глубины резания (г) (условия обработки по рисунку 3)

Анализ графиков (рисунки 4в, 4г) показывает, что коэффициент K_b при указанных условиях резания увеличивается, причем в меньшей степени при подаче $S_0 \geq 0,4$ мм/об и глубине резания $t \geq 3$ мм, что соответствует углу контакта $\varphi_p \geq 25^\circ$.

Влияние кинематического коэффициента k на K_l отражает рисунок 5а. Величина K_l в широком диапазоне изменения k меньше единицы, т.е. длина стружки по сравнению с длиной срезаемого слоя увеличивается, что объясняется значительным сдвигом слоев стружки вдоль режущей кромки вследствие касательного движения.

С увеличением скорости вращения резца v_t (рисунок 5б) и подачи S_0 (рисунок 5в) коэффициент K_l уменьшается. При $m = 4$ он всегда меньше единицы, что связано с увеличением рабочего угла наклона режущей кромки. Влияние глубины резания t на коэффициент K_l (рисунок 5г) незначительно и носит убывающий характер. Установленные закономерности согласуются с результатами исследований [4].

Как следует из графиков (рисунки 3-5), коэффициенты усадки стружки во всех случаях зависят от числа граней поверхности, что обусловлено влиянием на процесс стружкообразования кинематического коэффициента k .

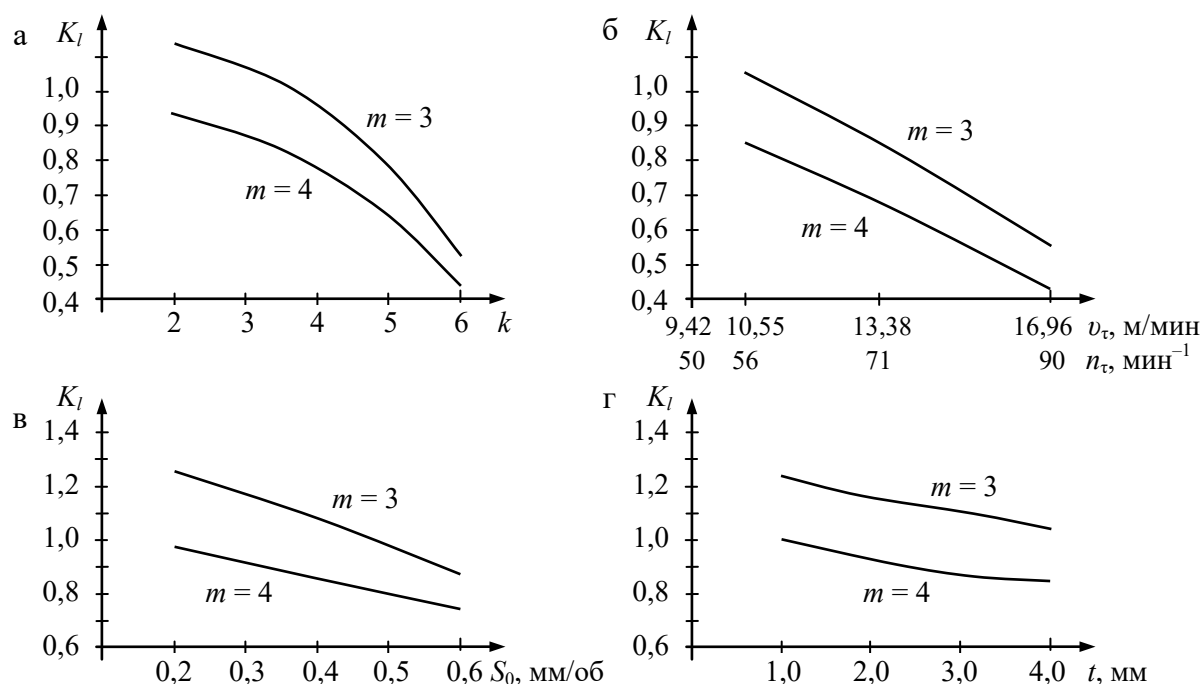


Рисунок 5. – Зависимость коэффициента усадки стружки K_l от кинематического коэффициента (а), скорости вращения резца (б), подачи (в) и глубины резания (г) (условия обработки по рисунку 3)

Выводы.

1. Экспериментально подтверждена возможность точения синусоидальных поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом с различным числом граней. Установлено, что стружка срезается в виде отдельных вытянутых спиралей, форма и размеры которых зависят от геометрии обработанной поверхности и режима резания.

2. Особенности стружкообразования при ротационном точении синусоидальных поверхностей по сравнению с обработкой круглых поверхностей обусловлены существенно большим значением кинематического коэффициента, а также непрерывным изменением глубины резания при круглой форме заготовки.

3. Различие в значениях коэффициентов усадки стружки при обработке синусоидальных поверхностей с тремя и четырьмя гранями связано с зависимостью рабочего угла наклона режущей кромки от кинематического коэффициента.

Список использованных источников

1. Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь. – Минск: Наука и техника, 1972. – 272 с.
2. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1987. – 229 с.
3. Гик, Л.А. Ротационное резание металлов / Л.А. Гик. – Калининград: Книжное издательство, 1990. – 254 с.
4. Бобров, В.Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / В.Ф. Бобров, Д.Е. Иерусалимский. – М.: Машиностроение, 1972. – 112 с.

5. Попок, Н.Н. Исследование процесса ротационного резания принудительно вращающимися инструментами: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Н.Н. Попок. – Минск, 1983. – 286 л.

6. Данилов, В.А. Анализ и реализация схем обработки профильных цилиндрических поверхностей ротационным инструментом / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 4. – С. 71-82.

7. Данилов, В.А. Анализ схемы ротационного точения некруглых цилиндрических поверхностей с синусоидальным профилем эксцентрично установленным круглым резцом [Электронный ресурс] / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Инновационные технологии в машиностроении: электрон. сборник материалов междунар. науч.-тех. конф., Новополоцк, 19-20 апр. 2018 г. / Полоц. гос. ун-т; под. ред. чл.-корр., д-ра техн. наук, проф. В.К. Шелега; д-ра техн. наук, проф. Н.Н. Попок. – Новополоцк, 2018. – С. 69-71.

8. Данилов, В.А. Анализ схемы ротационного точения некруглых поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 26-33.

Информация об авторах

Данилов Виктор Алексеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологическое оборудование», Белорусский национальный технический университет (пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь), e-mail: bntu@bntu.by.

Селицкий Андрей Николаевич – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, УО «Полоцкий государственный университет» (ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк, Витебская обл., Беларусь), e-mail: post@psu.by.

Information about the authors

Danilov Viktor Alekseevich – D. Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Chair “Metal-cutting equipment and tools”, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty Ave., 220013, Minsk, Belarus), e-mail: bntu@bntu.by

Selitsky Andrei Nikolaevich – Senior Lecturer of the Chair of Automobile Transport, Polotsk State University (29, Blokhina Str., 211440, Novopolotsk, Vitebsk region, Belarus), e-mail: post@psu.by

Поступили в редакцию 19.05.2019 г.