

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

Л.А. Резников

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОСНАСТКА. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам
по дисциплине «Металлорежущий инструмент и инструментальная оснастка»
для студентов дистанционной формы обучения по направлению
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств»

Тольятти 2022

УДК 621.923.6

Резников, Л.А. Металлорежущий инструмент и инструментальная оснастка. Лабораторный практикум : учебно-метод. пособие.— Тольятти: ТГУ, 2022. – 47 с.

Приведены лабораторные работы по курсу «Металлорежущий инструмент и инструментальная оснастка». Приведен теоретический материал, варианты заданий и порядок выполнения работ.

Предназначено для бакалавров направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» дистанционной формы обучения.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	4
Лабораторная работа № 2	11
Лабораторная работа № 3	17
Лабораторная работа № 4	23
Лабораторная работа № 5	28
Лабораторная работа № 6	33
Лабораторная работа № 7	37
Лабораторная работа № 8	43

Лабораторная работа № 1

Исследование параметров исходного профиля фасонного резца

Цель работы – научить студентов определять координаты характерных точек исходного профиля и углы профиля в этих точках.

Элементы теории

Характерные точки профиля

Существует два вида характерных точек фасонного профиля: основные и вспомогательные. *Основными* являются точки перехода образующих одного вида поверхностей в образующие другого вида поверхностей, например, плоскости в цилиндрическую поверхность, конической поверхности в поверхность тора и т.д. Для профиля, показанного на рис. 1, основными являются точки 1, 2, 4 и 5.

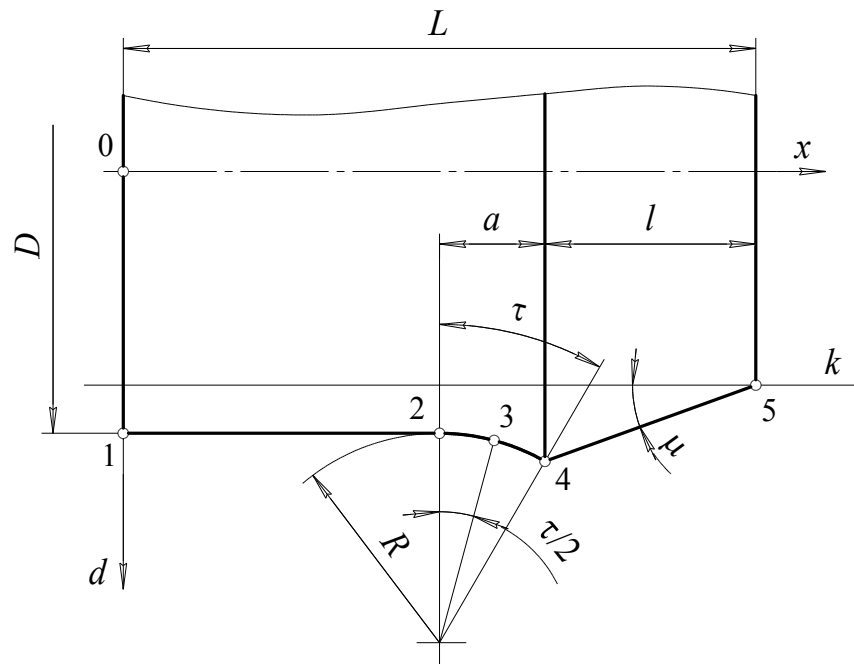


Рис. 1. Пример исходного профиля

Вспомогательные точки используют для конкретизации расположения радиусных участков профиля. Как правило, их располагают на биссектрисах углов, стягивающих отдельные дуги (точка 3 на рис. 1). Если дуга на профиле находится в двух смежных квадрантах тригонометрического круга, ее делят основной точкой на две самостоятельные дуги, располагая эту точку на границе квадрантов, и на каждой отдельной дуге выделяют вспомогательную точку.

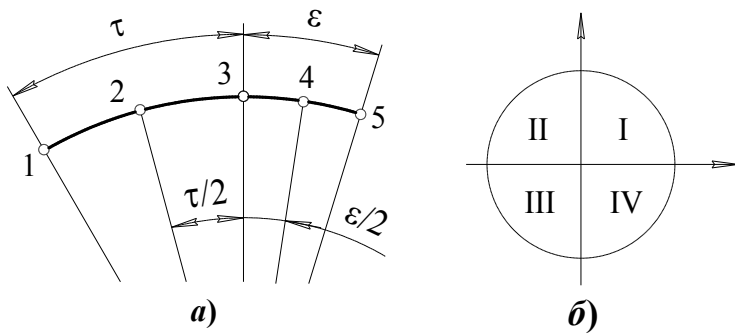


Рис. 2. Длинная дуга на профиле (а) и схема тригонометрического круга (б)

Для примера на рис. 2, а показана дуга 1-5, находящаяся в I и II квадрантах тригонометрического круга. Дуга разделена на две части 1-3 и 3-5 точкой 3, лежащей на вертикальной границе этих квадрантов. На каждой из

дуг отмечены вспомогательные точки 2 и 4 на биссектрисах углов τ и ε .

Координаты характерных точек

Для определения координат характерных точек выбирают двумерную систему координат x_0d , начало которой – точка 0 – находится на левом торце изготавливаемого профиля, а ось x направлена по оси вращения детали (см. рис. 1).

Координаты x_i и d_i характерных точек профиля (i – порядковый номер точки) рассчитывают из геометрических соображений.

Для профиля, показанного на рис. 1,

$$x_1 = 0;$$

$$x_2 = L - l - a;$$

$$x_4 = L - l;$$

$$x_5 = L.$$

Для расчета координаты x вспомогательной точки 3 необходимо найти угол, стягивающий дугу 2-4:

$$\tau = \arcsin \frac{a}{R}.$$

Из треугольника СЗМ (рис. 3):

$$x_{23} = \overline{CЗ} \cdot \sin \frac{\tau}{2} = R \sin \frac{\tau}{2}.$$

Тогда

$$x_3 = x_2 + x_{23} = x_2 + R \sin \frac{\tau}{2}.$$

Под величиной d_i будем понимать диаметр исходного профиля в соответствующих его точках.

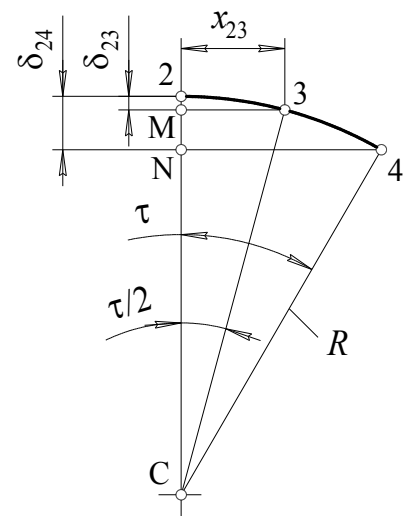


Рис. 3. К расчету координат вспомогательной точки

Из рис. 1 видно, что

$$d_1 = d_2 = D.$$

Из рис. 3

$$\delta_{23} = \overline{C2} - \overline{CM} = R - R \cos \frac{\tau}{2} = R \left(1 - \cos \frac{\tau}{2} \right).$$

Тогда

$$d_3 = d_2 + 2\delta_{23} = D + 2R \left(1 - \cos \frac{\tau}{2} \right).$$

Аналогично

$$\delta_{24} = \overline{C2} - \overline{CN} = R - R \cos \tau = R(1 - \cos \tau);$$

$$d_4 = d_2 + 2\delta_{24} = D + 2R(1 - \cos \tau).$$

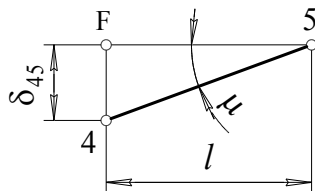


Рис. 4. К расчету наклонного участка профиля

Для наклонного участка 4-5 (рис. 4):

$$\delta_{45} = \overline{F5} \cdot \operatorname{tg} \mu = l \cdot \operatorname{tg} \mu.$$

Тогда, как следует из рис. 1,

$$d_5 = d_4 - 2l \cdot \operatorname{tg} \mu.$$

Расчет значений x_i и d_i необходимо выполнять

с точностью до 0,001 мм.

Углы профиля в характерных точках

Для определения углов необходимо провести *базовую линию* профиля, от которой эти углы и отсчитываются. Базовую линию k проводят параллельно оси вращения детали через характерную точку (точки) с наименьшим диаметром d_i . У профиля, показанного на рис. 1, базовая линия пройдет через точку 5.

Угол профиля в отдельной его точке – это наименьший угол между касательной к профилю в данной точке и базовой линией. В тех точках, где происходит «перелом» профиля (нарушается его «гладкость»), существуют сразу два значения угла: 1) между касательной к участку профиля, *приходящему* в данную точку, и базовой линией (такой угол обозначается верхним индексом «-», например, φ_4^-) и 2) между касательной к участку профиля, *выходящему* из данной точки, и базовой линией (такой угол обозначается верхним индексом «+», например, φ_4^+).

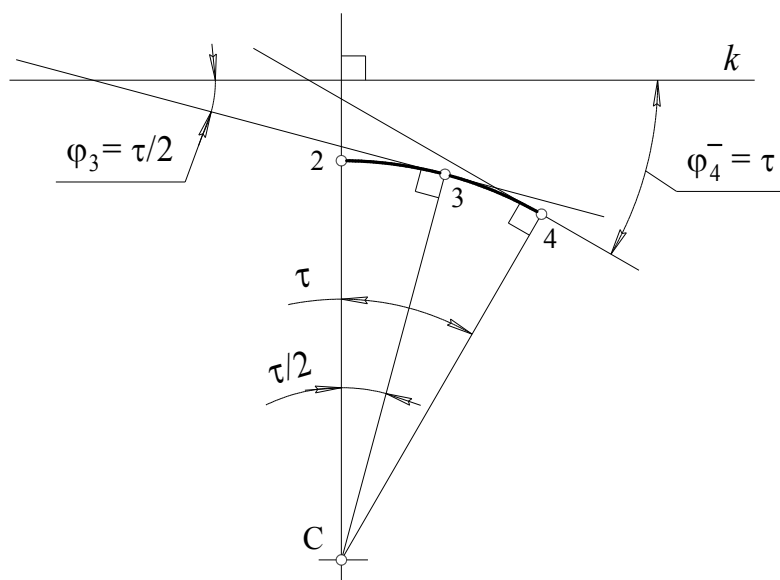


Рис. 5. К определению углов профиля на участке 2-4

У профиля, показанного на рис. 1,

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0.$$

Из рис. 5 видно, что

$$\varphi_3 = \frac{\tau}{2}$$

(угол между касательной к профилю в точке 3 и базовой линией k равен углу $2C3$, как углы с взаимно перпендикулярными сторонами);

$$\varphi_4^- = \tau.$$

На наклонном участке профиля

$$\varphi_4^+ = \varphi_5 = \mu.$$

Значения углов φ_i рассчитывают с точностью до $0,01^\circ$.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания.
2. Сделать эскиз исходного профиля с размерами в буквенном виде.
3. Отметить характерные точки профиля.
4. Рассчитать координаты x_i и d_i характерных точек профиля.
5. Провести базовую линию профиля.
6. Определить углы φ_i в характерных точках профиля.
7. Заполнить таблицу в отчете по лабораторной работе (см. прил. 1).

Задания

к лабораторной работе № 1

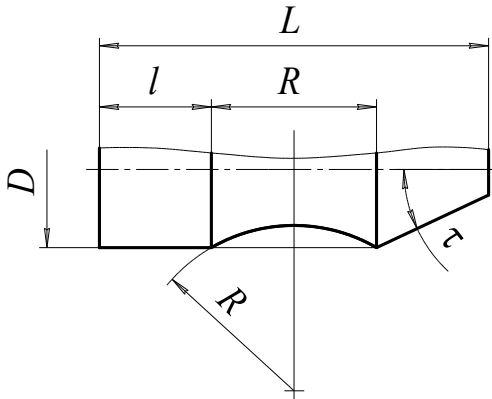
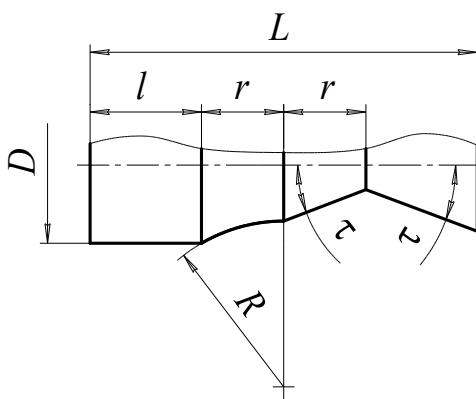
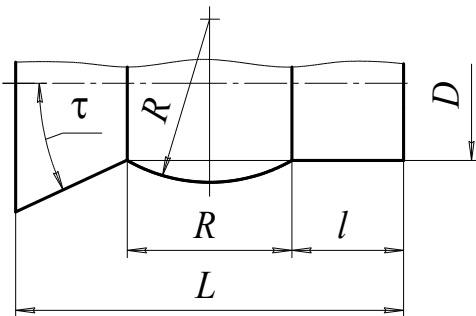
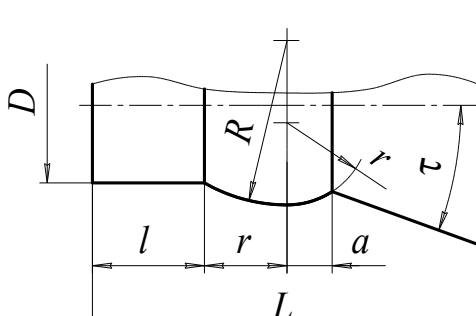
Проведите исследование параметров исходного профиля фасонного резца, предназначенного для обработки заготовок по наружному контуру.

Конфигурации профилей см. в табл. II, а их размеры – в табл. III.

I. Материал заготовки

	Наименование	Марка	σ_B , МПа	HB, МПа	ГОСТ
1	Сплав алюминиевый	АД31	250		4784-74
2	Сталь	10Г2	430		19281-73
3		А30Г	540		1414-75
4		ШХ15	630		801-78
5		40ХН	980		4543-71
6	Чугун	СЧ15		160	1412-85
7		СЧ25		190	
8		ВЧ45		210	7293-85
9	Медь	М1	200		859-78
0	Бронза безоловянная	БрА9Ж4	390		493-79

II. Фасонные профили

1		3	
2		4	

5		8	
6		9	
7		0	

III. Размеры профиля, мм

	D	R	r	L	l	a	τ°
1	40	10	5	40	15	2,5	10
2		12	6	45		3,0	
3		16	8	50		4,0	12
4		18	9	55	20	4,5	
5		20	10	60		5,0	15
6	50	22	11	65	25	5,5	
7		24	12	70		6,0	18
8		26	13	75		6,5	
9		28	14	80		7,0	20
0		30	15	85		7,5	

Форма отчета по лабораторной работе № 1

Вариант №

Эскиз исходного профиля

Результаты исследования параметров исходного профиля

Номер характерной точки i	Координаты характерной точки, мм		Углы профиля в характерной точке φ_i , град.
	x_i	d_i	
1			
2			
3			
...			

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.

Лабораторная работа № 2

Исследование изменения переднего и заднего углов фасонного резца вдоль его профиля

Цель работы – научить студентов анализировать закономерности изменения углов фасонного резца, определяющих динамику процесса резания.

Элементы теории

Назначение углов на базовой линии

Передний угол фасонного резца в радиальной секущей плоскости на базовой линии γ_{ro} назначают, исходя из механических свойств обрабатываемого материала – предела прочности σ_B или твердости по Бринеллю HB – по табл. 1 [1].

1. Передние углы фасонных резцов

Обрабатываемый материал	σ_B , МПа	HB, МПа	γ_{ro}°
Алюминий, медь			25
Сталь	до 500		20
	св. 500 до 600		15
	св. 600 до 800		10
	св. 800		5
Чугун		до 180	10
		св. 180 до 200	5
		св. 200	0
Бронза, латунь			5

Так, например, если материал заготовки – сталь с пределом прочности $\sigma_B = 450$ МПа, то $\gamma_{ro} = 20^\circ$.

Задний угол резца в радиальной секущей плоскости на базовой линии α_{ro} выбирают в диапазоне $10...12^\circ$ при проектировании круглых резцов и в диапазоне $12...15^\circ$ при проектировании призматических резцов.

Углы в радиальной секущей плоскости P_r

Передний угол в точке режущей кромки инструмента, соответствующей точке исходного профиля с диаметром d_i (рис. 1),

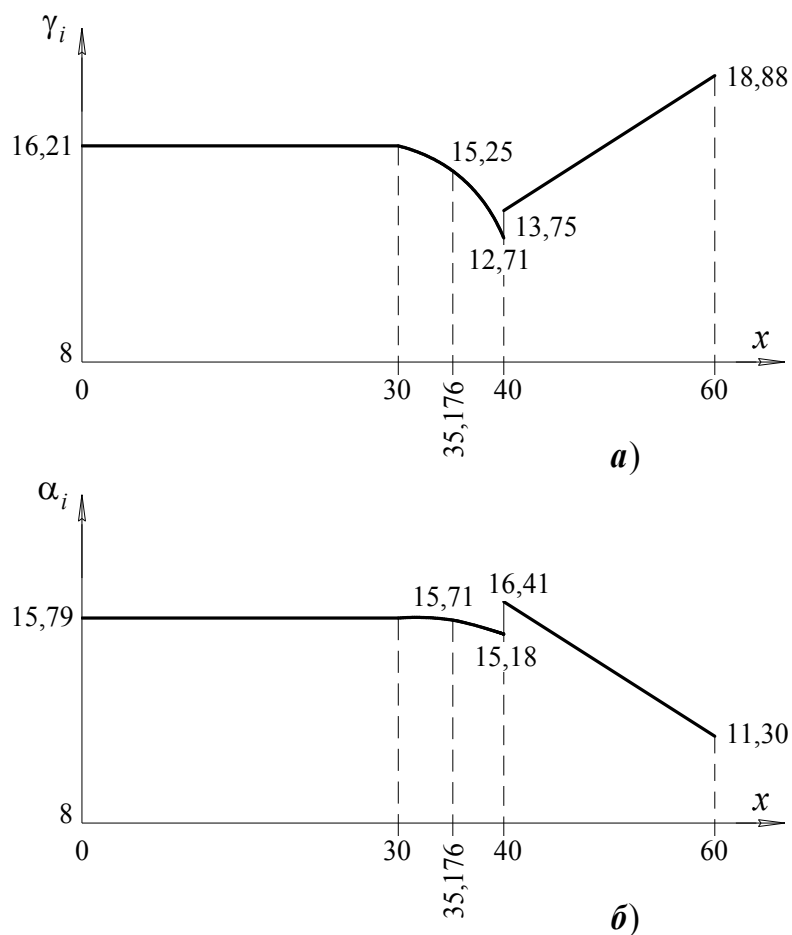


Рис. 2. Изменение переднего (а) и заднего (б) углов фасонного резца для обработки профиля, показанного на рис. 1 в лабораторной работе № 1. При расчете численных значений приняты следующие параметры исходного профиля: $D = 50$ мм, $R = 20$ мм, $L = 60$ мм, $l = 20$ мм, $a = 10$ мм, $\mu = 20^\circ$, а также $\gamma_{r0} = 20^\circ$ и $\alpha_{r0} = 12^\circ$

Значения углов рассчитывают с точностью до $0,01^\circ$.

Порядок выполнения работы

1. Сделать эскиз исходного профиля с характерными точками.
2. Назначить углы γ_{r0} и α_{r0} .
3. Используя данные лабораторной работы № 1, рассчитать углы γ_{ri} и α_{ri} по формулам (1) и (2) и углы γ_i и α_i по формулам (3) и (4).
4. Заполнить таблицу в отчете по лабораторной работе (см. прил. 1).
5. Построить графики изменения углов γ_i и α_i вдоль профиля резца.

Задания

к лабораторной работе № 2

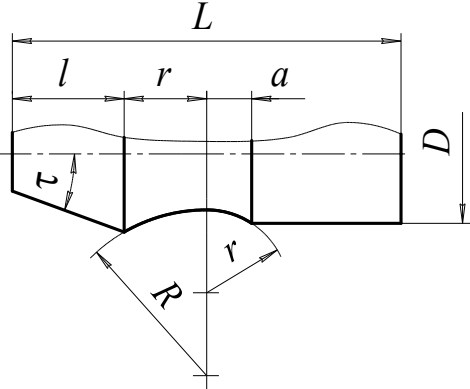
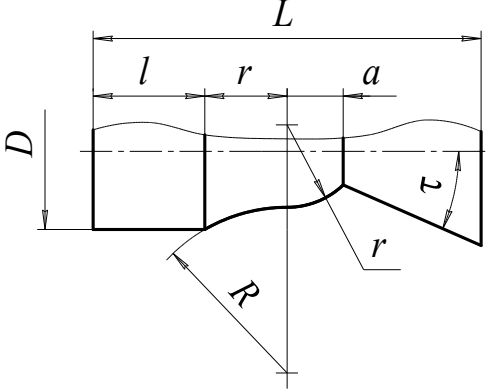
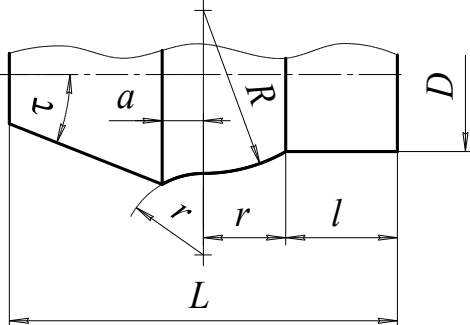
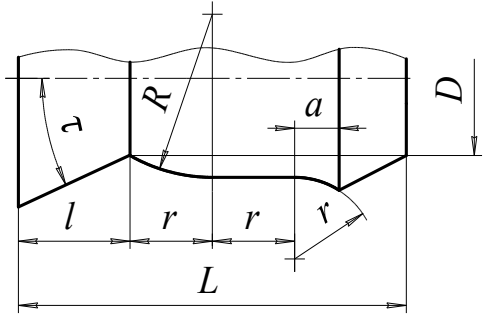
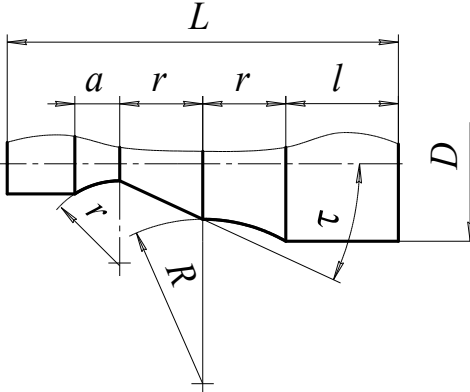
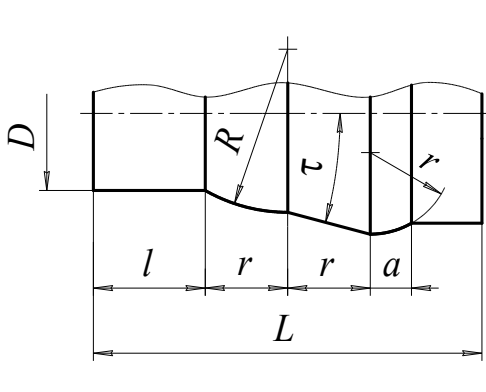
Проведите исследование углов режущего лезвия фасонного резца, предназначенного для обработки заготовок по наружному контуру.

I. Материал заготовки

	Наименование	Марка	σ_B , МПа	HB, МПа	ГОСТ
1	Сплав алюминиевый	АД31	250		4784-74
2	Сталь	10Г2	430		19281-73
3		А30Г	540		1414-75
4		ШХ15	630		801-78
5		40ХН	980		4543-71
6	Чугун	СЧ15		160	1412-85
7		СЧ25		190	
8		ВЧ45		210	7293-85
9	Медь	М1	200		859-78
0	Бронза безоловянная	БрА9Ж4	390		493-79

II. Фасонные профили

1		3	
2		4	

5		8	
6		9	
7		0	

III. Размеры профиля, мм

	D	R	r	L	l	a	τ°
1	40	10	5	40	15	2,5	10
2		12	6	45		3,0	
3		16	8	50		4,0	12
4		18	9	55	20	4,5	
5		20	10	60		5,0	15
6	50	22	11	65	25	5,5	
7		24	12	70		6,0	18
8		26	13	75		6,5	
9		28	14	80		7,0	20
0		30	15	85		7,5	

Форма отчета по лабораторной работе № 2

Вариант №

Эскиз исходного профиля

Результаты исследования углов фасонного резца

i	x_i , мм	d_i , мм	φ_i , град.	γ_{ri} , град.	α_{ri} , град.	γ_i , град.	α_i , град.
1							
2							
3							
...							

Графики изменения переднего и заднего углов вдоль профиля резца

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.

Лабораторная работа № 3

Исследование геометрии шлифуемого профиля фасонного резца

Цель работы – научить студентов анализировать высоты, углы и радиусы круговых участков шлифуемого профиля фасонного резца.

Элементы теории

Профилирование фасонного резца

При профилировании фасонного совершают переход от *исходного* профиля (профиль в диаметральной сечении готовой детали) через *промежуточный* профиль (профиль в плоскости передней поверхности резца) к *шлифуемому* профилю (профиль в сечении, нормальном к задней поверхности резца (рис. 1).

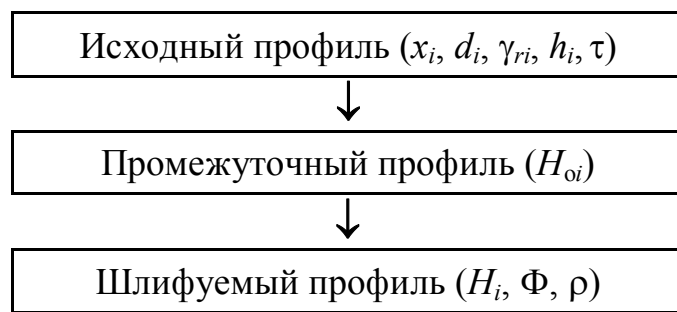


Рис.1. Порядок профилирования фасонного резца

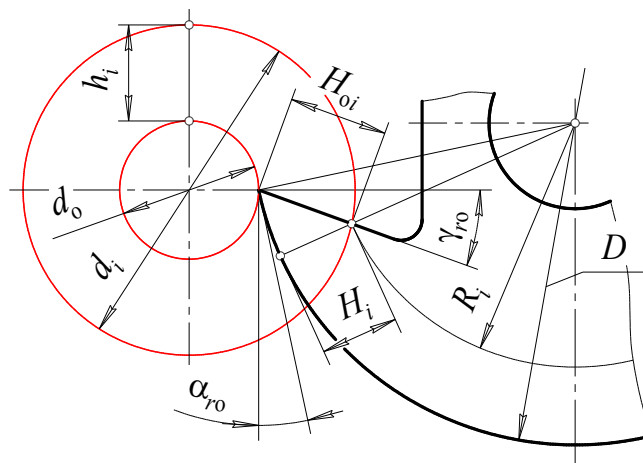


Рис.2. Высоты профилей при проектировании круглого резца

Высоты исходного профиля (рис. 2) рассчитывают по формуле

$$h_i = \frac{d_i - d_o}{2}, \quad (1)$$

в которой d_i – диаметр исходного профиля в i -ой характерной точке; d_o – базовый диаметр исходного профиля (см. лабораторную работу № 1).

Высоты промежуточного профиля (см. рис. 2) рассчитывают по формуле

$$H_{oi} = h_i \frac{\cos((\gamma_{ro} - \gamma_{ri})/2)}{\cos((\gamma_{ro} + \gamma_{ri})/2)}, \quad (2)$$

где γ_{ro} и γ_{ri} – передние углы резца в радиальной секущей плоскости на базовом диаметре и в i -ой характерной точке, соответственно (см. лабораторную работу № 2).

Высоты шлифуемого профиля призматического фасонного резца рассчитывают по формуле

$$H_i = H_{oi} \cos(\gamma_{ro} + \alpha_{ro}), \quad (3)$$

где α_{ro} – задний угол резца в радиальной секущей плоскости на базовом диаметре.

Прежде, чем рассчитывать высоты шлифуемого профиля круглого фасонного резца, необходимо определить стандартный наружный диаметр такого резца. Для этого рассчитывают диапазон, в котором – из условий прочности – должен находиться диаметр оправки круглого резца:

$$d = \begin{cases} (3,5...5)L^{0,7} & \text{при } L < 30; \\ (2,5...3)L^{0,6} & \text{при } L \geq 30, \end{cases}$$

где L – ширина обрабатываемого профиля, мм.

Из полученного диапазона по табл. 1 выбирают стандартный диаметр оправки $d_{ст}$, а по нему – стандартный наружный диаметр круглого резца D .

1. Наружный диаметр круглого фасонного резца, мм

$d_{ст}$	16	22	27	32	40
D	50	62	80	100	125

Высоты шлифуемого профиля круглого фасонного резца рассчитывают по формуле

$$H_i = 0,5D - R_i, \quad (4)$$

где

$$R_i = \sqrt{0,25D^2 + H_{oi}^2 - DH_{oi} \cos(\gamma_{ro} + \alpha_{ro})}. \quad (5)$$

Угол наклонного участка шлифуемого профиля

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{\Delta H}{\Delta h} \operatorname{tg} \mu, \quad (6)$$

где Δh и ΔH – разности высот начальной и конечной точек наклонного участка на исходном и шлифуемом профилях, соответственно; μ – угол наклонного участка на исходном профиле.

Радиус кругового участка шлифуемого профиля

$$\rho = \frac{(\Delta x)^2 + (\Delta H)^2}{2 \cdot |\Delta H|}, \quad (7)$$

где Δx – разность координат x начальной и конечной точки дуги; ΔH – разность высот шлифуемого профиля начальной и конечной точки дуги.

Порядок выполнения работы

1. Сделать эскиз исходного профиля с характерными точками.
2. Определить, какой резец профилируется – призматический или круглый.
3. Используя данные лабораторной работы № 2, рассчитать высоты исходного и промежуточного профилей по формулам (1) и (2).
4. Рассчитать высоты шлифуемого профиля по формуле (3) (для тех, кто профилирует призматический резец).
5. По табл. 1 выбрать диаметр оправки и наружный диаметр круглого резца, рассчитать высоты шлифуемого профиля по формулам (4) и (5) (для тех, кто профилирует круглый резец).
6. Рассчитать углы наклонных участков шлифуемого профиля.
7. Рассчитать радиусы круговых участков шлифуемого профиля.
8. Заполнить таблицу в отчете по лабораторной работе (см. прил. 1).

Задания к лабораторной работе № 3

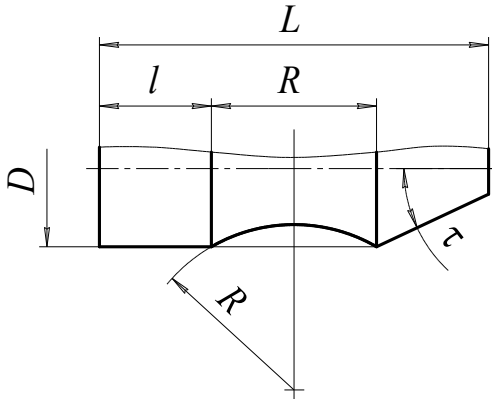
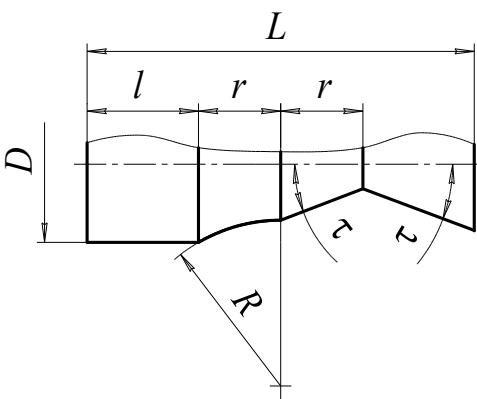
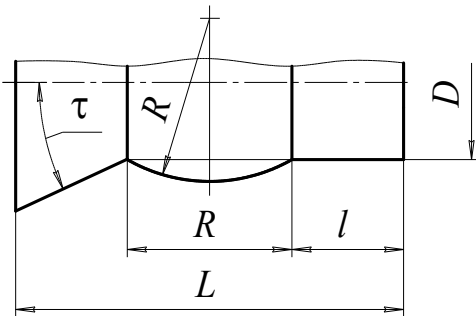
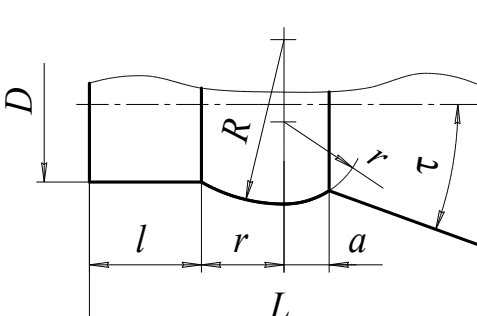
Проведите анализ высот, углов и радиусов круговых участков шлифуемого профиля фасонного резца.

Если сумма цифр номера варианта является нечетным числом – проектируйте круглый резец, если четным числом – призматический резец.

I. Материал заготовки

	Наименование	Марка	σ_B , МПа	НВ, МПа	ГОСТ
1	Сплав алюминиевый	АД31	250		4784-74
2	Сталь	10Г2	430		19281-73
3		А30Г	540		1414-75
4		ШХ15	630		801-78
5		40ХН	980		4543-71
6	Чугун	СЧ15		160	1412-85
7		СЧ25		190	
8		ВЧ45		210	7293-85
9	Медь	М1	200		859-78
0	Бронза безоловянная	БрА9Ж4	390		493-79

II. Фасонные профили

1		3	
2		4	

5		8	
6		9	
7		0	

III. Размеры профиля, мм

	D	R	r	L	l	a	τ°
1	40	10	5	40	15	2,5	10
2		12	6	45		3,0	
3		16	8	50		4,0	12
4		18	9	55	20	4,5	
5		20	10	60		5,0	15
6	50	22	11	65	25	5,5	
7		24	12	70		6,0	18
8		26	13	75		6,5	
9		28	14	80	25	7,0	20
0		30	15	85		7,5	

Форма отчета по лабораторной работе № 2

Вариант №

Эскиз исходного профиля

Результаты исследования высот шлифуемого профиля фасонного резца

i	x_i , мм	d_i , мм	φ_i , град.	γ_{ri} , град.	h_i , мм	H_{oi} , мм	H_i , мм
1							
2							
3							
...							

Угол наклонного участка шлифуемого профиля резца

$\Phi =$

Радиусы круговых участков шлифуемого профиля

$\rho_1 =$

$\rho_2 =$

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.

Лабораторная работа № 4

Исследование прочностных параметров круглой протяжки

Цель работы – научить студентов выполнять проверку на прочность протяжки для обработки цилиндрических отверстий.

Элементы теории

Силовой расчет протяжки

Обобщенный алгоритм силового расчета протяжек показан на рис. 1.

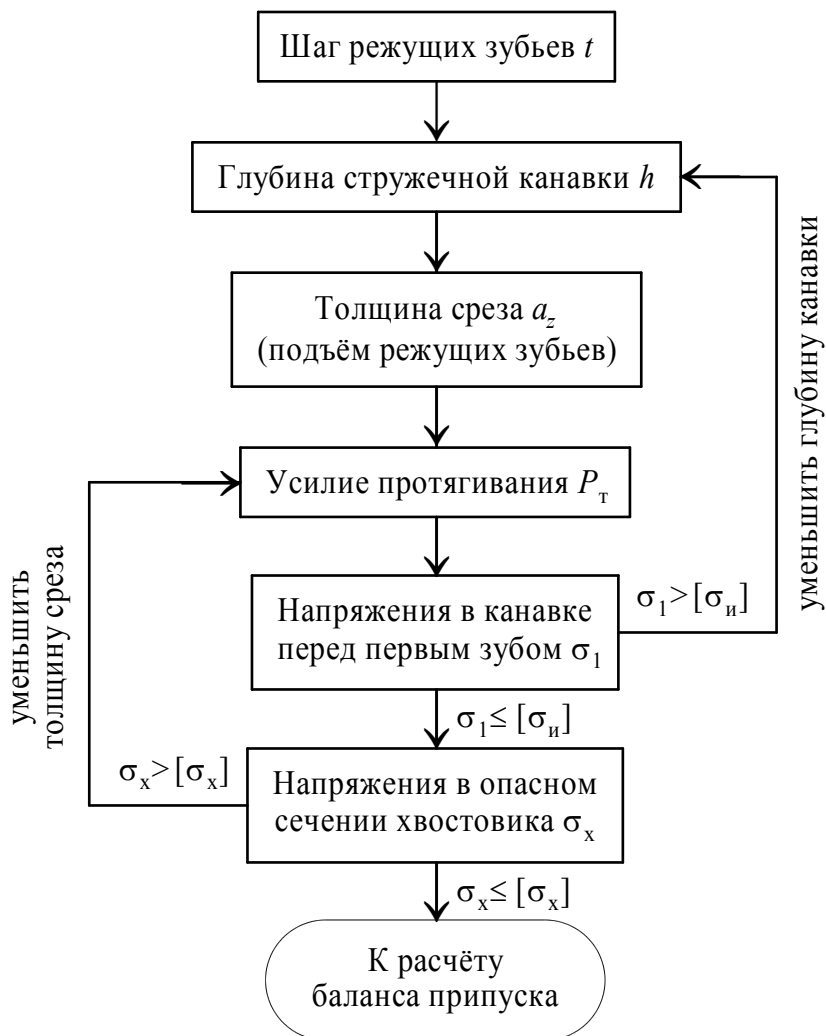


Рис. 1. Алгоритм силового расчета протяжки

Исходными данными для силового расчета круглых протяжек являются:

- материал заготовки;
- номинальный диаметр D и длина протягиваемого отверстия L_0 ;
- диаметр предварительно выполненного отверстия под протягивание D_0 .

По эмпирической формуле

$$t = (1,25...1,5)\sqrt{L_0} \quad (1)$$

рассчитывают диапазон, в котором должен находиться шаг режущих зубьев протяжки. Из этого диапазона по табл. 1 выбирают стандартный шаг зубьев и глубину стружечной канавки h . Если выбранному шагу t соответствуют два и более значения h , предварительно выбирают наибольшее стандартное значение глубины, чтобы обеспечить размещение в канавке наибольшей по объему стружки.

1. Параметры стружечных канавок

Шаг зубьев t , мм	Глубина канавки h , мм	Площадь сечения канавки $F_{\text{к}}$, мм ²	Шаг зубьев t , мм	Глубина канавки h , мм	Площадь сечения канавки $F_{\text{к}}$, мм ²
4,5	2	3,14	14	4	12,57
6				5	19,63
	2,5	4,91		6	28,27
8			16	5	19,63
	3	7,07		6	28,27
10				7	38,48
	12	4	12,57	18	5
3		7,07	6		28,27
4		12,57	7		38,48

Рассчитывают подъем черновых режущих зубьев протяжки из условия помещаемости стружки в стружечной канавке:

$$a_z = \frac{F_k}{KL_0}, \quad (2)$$

где F_k – площадь сечения канавки (см. табл. 1); K – коэффициент заполнения канавки. При обработке стальных, алюминиевых и медных заготовок $K = 3,5...4$, при обработке заготовок из чугуна, бронзы и латуни $K = 2...2,5$.

Полученную величину a_z округляют с точностью до 0,001 мм.

Для расчета усилия протягивания необходимо знать передний угол зубьев протяжки. Его назначают в зависимости от обрабатываемого материала по табл. 2.

Усилие протягивания

$$P_T = \pi p_z D q, \text{ Н.} \quad (3)$$

2. Передние углы протяжек

Обрабатываемый материал	Предел прочности σ_b , МПа	Передний угол γ , град.
Алюминий, медь		12...15
Сталь	до 600	15...18
	св. 600 до 800	12...15
	св. 800	10...12
Чугун	до 250	8...10
	св. 250	5...8
Бронза, латунь		0...5

В формуле (3) q – число одновременно работающих режущих зубьев; p_z – сила, приходящаяся на 1 мм длины обрабатываемого контура, Н/мм.

$$q = \left[\frac{L_0}{t} + 1 \right]; \quad (4)$$

$$p_z = C_p \sigma_b a_z^{0,85} K_\gamma, \quad (5)$$

где σ_b – предел прочности обрабатываемого материала, МПа; K_γ – коэффициент, зависящий от переднего угла зубьев протяжки:

$$K_\gamma = \frac{90 - \gamma}{75}. \quad (6)$$

При обработке алюминиевых и медных сплавов $C_p = 2,0$, чугуна $C_p = 2,6$, углеродистых сталей $C_p = 3,3$, легированных сталей $C_p = 4,3$.

Рассчитывают напряжения в канавке перед первым зубом протяжки

$$\sigma_1 = \frac{4P_T}{\pi(D_0 - 2h)^2}, \text{ МПа.} \quad (7)$$

Должно выполняться условие

$$\sigma_1 \leq [\sigma_{\text{и}}], \quad (8)$$

где $[\sigma_{\text{и}}] = 400...450$ МПа – предельно допустимое напряжение на растяжение для протяжек из быстрорежущей стали.

Если условие (8) не выполняется, действуют по алгоритму из рис. 1.

Рассчитывают напряжения в опасном сечении хвостовика

$$\sigma_x = \frac{P_T}{F_x}, \text{ МПа,} \quad (9)$$

где F_x – площадь опасного сечения хвостовика, мм² (табл. 3).

3. Хвостовики круглых протяжек

Диаметр d_x , мм	18	22	25	28	32	36	40	45	50	56
Площадь опасного сечения F_x , мм ²	132,7	227,0	283,5	380,1	490,9	615,7	804,2	907,9	1134,1	1385,4

Стандартный диаметр хвостовика d_x выбирают по табл. 3 – наибольший, проходящий с зазором в предварительно выполненное отверстие D_o .

Должно выполняться условие

$$\sigma_x \leq [\sigma_x], \quad (10)$$

где $[\sigma_x] = 250...300$ МПа – допускаемое напряжение на растяжение для хвостовиков из углеродистой и легированной конструкционной стали.

Если это условие (10) не выполняется, в соответствии с алгоритмом (см. рис. 1) уменьшают толщину среза на черновых зубьях протяжки до значения

$$a_z \leq \left(\frac{F_x}{\pi C_p K_\gamma D q} \cdot \frac{[\sigma_x]}{\sigma_B} \right)^{\frac{1}{0,85}}. \quad (11)$$

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания.
2. Рассчитать диапазон, в котором должен находиться шаг режущих зубьев протяжки, по формуле (1).
3. По табл. 1 выбрать стандартный шаг режущих зубьев и глубину стружечной канавки.
4. Рассчитать подъем черновых режущих зубьев по формуле (2).
5. По табл. 2 выбрать передний угол зубьев протяжки.
6. Рассчитать усилие протягивания по формуле (3).
7. Выполнить проверку на прочность режущей части протяжки.
8. По табл. 3 выбрать стандартный диаметр хвостовика протяжки.
9. Выполнить проверку на прочность хвостовой части протяжки.
10. Разработать отчет по лабораторной работе.

Задания

к лабораторной работе № 4

Проведите исследование прочностных характеристик протяжки для обработки цилиндрического отверстия во втулке.

Обрабатываемые материалы см. в табл. I, размеры втулки и отверстия под протягивание D_o – в табл. II, точность отверстия под протягивание – H12 (во всех вариантах), а точность отверстия после протягивания – в табл. III.

I. Материал заготовки

	Наименование	Марка	σ_B , МПа	ГОСТ
1	Сплав алюминиевый	АД31	250	4784-74
2	Сталь	10Г2	430	19281-73
3		А30Г	540	1414-75
4		ШХ15	630	801-78
5		20ХН	780	4543-71
6	Чугун серый	СЧ15	150	1412-85
7		СЧ25	250	
8		СЧ35	350	
9	Медь	М1	200	859-78
0	Бронза безоловянная	БрА9Ж4	390	493-79

II. Размеры втулки, мм

		D	L_o	D_o
	1	20	35	18,9
	2	24	40	22,8
	3	28	50	26,6
	4	32	60	30,5
	5	36	70	34,4
	6	40	80	38,2
	7	45	95	43,0
	8	50	110	48,0
	9	55	130	52,7
	0	60	140	57,6

III. Поле допуска готового отверстия

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
E7	H7	S7	E8	H8	R8	F9	H9	P9	H10

Лабораторная работа № 5

Исследование баланса припуска круглой протяжки

Цель работы – научить студентов выполнять баланс припуска и расчет диаметральных размеров протяжки для обработки цилиндрических отверстий.

Элементы теории

Припуск под протягивание

Поскольку протяжка является чистовым инструментом, припуск под протягивание должен рассчитываться с учетом полей допусков на размеры изготавливаемой поверхности. Например, расчетный припуск под протягивание гладкого цилиндрического отверстия необходимо определять с помощью формулы

$$A = \frac{D_{\max} - D_{o \min}}{2}, \quad (1)$$

где $D_{\max}$ – наибольший возможный диаметр готового отверстия, а $D_{o \min}$ – наименьший возможный диаметр предварительно выполненного отверстия.

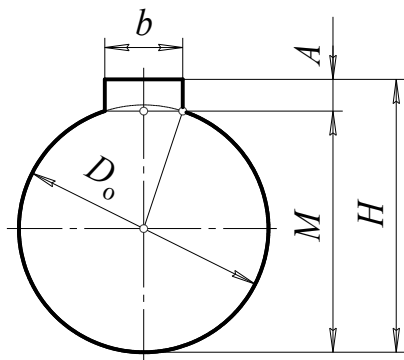


Рис. 1. К расчету припуска под протягивание паза

Расчетный припуск под протягивание шпоночного паза (рис. 1)

$$A = H_{\max} - M_{\min},$$

где

$$M_{\min} = (D_{o \min} + \sqrt{D_{o \min}^2 - b_{\max}^2})/2.$$

Для определения отклонений размера D целесообразно использовать среду КОМПАСС, как это показано на рис. 2.

Баланс припуска при протягивании

Баланс припуска, т.е. распределение припуска между зубьями протяжки при одинарной схеме резания имеет вид

$$A = a_z(z - 1) + A', \quad (2)$$

где z – количество черновых зубьев (с учетом первого); A' – суммарный припуск, снимаемый чистовыми зубьями.

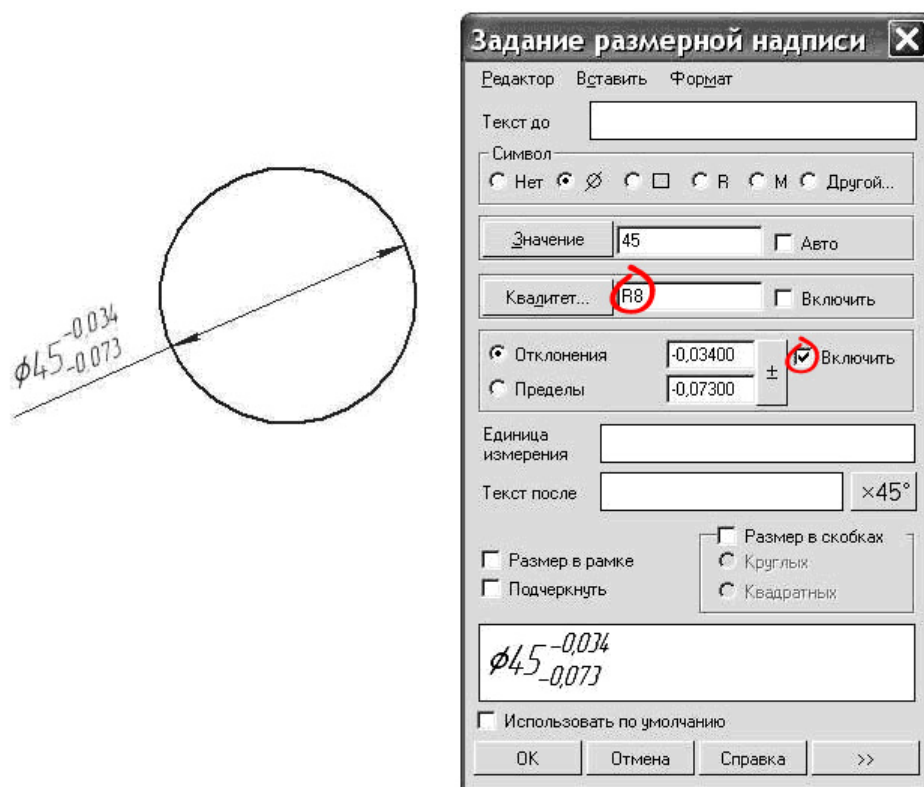


Рис. 2. Определение отклонений размеров в среде КОМПАС

Число черновых режущих зубьев

$$z = \left[\frac{A}{a_z} + 1 \right]. \quad (3)$$

Припуск, снимаемый чистовыми режущими зубьями,

$$A' = A - a_z(z - 1). \quad (4)$$

Число чистовых режущих зубьев

$$z' = \begin{cases} 1, & \text{если } A' \leq 0,5a_z; \\ 2, & \text{если } A' > 0,5a_z. \end{cases}$$

Толщина среза на чистовых режущих зубьях

$$a'_z = \frac{A'}{z'}. \quad (5)$$

Общее число режущих зубьев протяжки

$$z_p = z + z'.$$

Номинальные диаметры черновых режущих зубьев

$$D_i = D_0 + 2a_z(i - 1), \quad (6)$$

где i – порядковый номер чернового зуба ($i = 1, 2, 3, \dots, z$)

Номинальные диаметры чистовых режущих зубьев

$$D_{чj} = D_z + 2a'_z j, \quad (7)$$

где D_z – диаметр последнего чернового зуба; j – номер чистового зуба.

Порядок выполнения работы

1. В среде КОМПАСС определить предельные отклонения диаметра протягиваемого отверстия D и диаметра предварительно выполненного отверстия D_0 .
2. Рассчитать припуск под протягивание по формуле (1), используя данные лабораторной работы № 4.
3. Рассчитать число черновых режущих зубьев по формуле (3).
4. Рассчитать припуск, снимаемый чистовыми режущими зубьями, по формуле (4) и принять решение о числе чистовых зубьев.
5. По формулам (6) и (7) рассчитать диаметры всех режущих зубьев протяжки.
6. Заполнить таблицу в отчете по лабораторной работе (см. прил. 1).

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.
2. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов : учебное пособие для вузов / Г.Н. Кирсанов [и др.] ; под общ. ред. Г.Н. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 1986. – 288 с.
3. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.Н. Жестковой. – 10-е изд., стер. – М. : Инновац. машиностроение, 2015. – Т. 1. – 927 с.

Задания

к лабораторной работе № 5

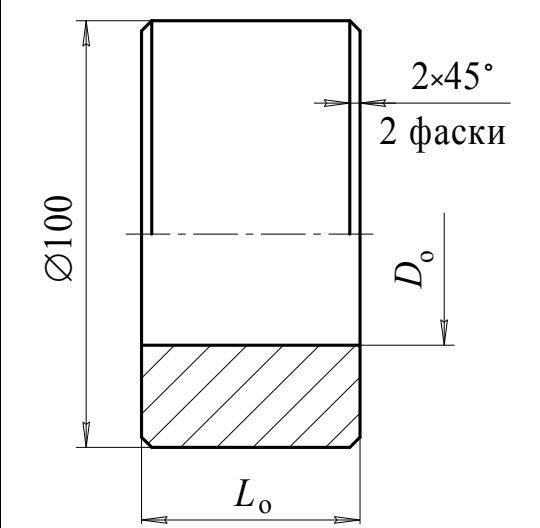
Проведите исследование баланса припуска и рассчитайте диаметры режущих зубьев протяжки для обработки цилиндрического отверстия во втулке.

Обрабатываемые материалы см. в табл. I, размеры втулки и отверстия под протягивание D_o – в табл. II, точность отверстия под протягивание – $H12$ (во всех вариантах), а точность отверстия после протягивания – в табл. III.

I. Материал заготовки

	Наименование	Марка	σ_B , МПа	ГОСТ
1	Сплав алюминиевый	АД31	250	4784-74
2	Сталь	10Г2	430	19281-73
3		А30Г	540	1414-75
4		ШХ15	630	801-78
5		20ХН	780	4543-71
6	Чугун серый	СЧ15	150	1412-85
7		СЧ25	250	
8		СЧ35	350	
9	Медь	М1	200	859-78
0	Бронза безоловянная	БрА9Ж4	390	493-79

II. Размеры втулки, мм

		D	L_o	D_o
	1	20	35	18,9
	2	24	40	22,8
	3	28	50	26,6
	4	32	60	30,5
	5	36	70	34,4
	6	40	80	38,2
	7	45	95	43,0
	8	50	110	48,0
	9	55	130	52,7
	0	60	140	57,6

III. Поле допуска готового отверстия

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E7$	$H7$	$S7$	$E8$	$H8$	$R8$	$F9$	$H9$	$P9$	$H10$

Форма отчета по лабораторной работе № 5

Вариант №

Отклонения основных размеров

Размер	Верхнее отклонение, мм	Нижнее отклонение, мм	Максимальное значение	Минимальное значение
D				
D_o				

Припуск под протягивание $A =$

Число черновых режущих зубьев $z =$

Припуск, снимаемый чистовыми режущими зубьями, $A' =$

Число чистовых режущих зубьев $z' =$

Толщина среза на чистовых зубьях $a'_z =$

Диаметры режущих зубьев протяжки

номер зуба i	D_i , мм	номер зуба i	D_i , мм	номер зуба i	D_i , мм
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
...		...		...	
...		...		...	

Из свойств эвольвенты $\cup AC = \overline{MC}$, а из треугольника OCM $\overline{MC} = r_b \operatorname{tg} \omega_m$.

Подставляя последнее выражение в (1), получаем

$$\theta_m = \operatorname{tg} \omega_m - \omega_m = \operatorname{inv} \omega_m, \text{ рад.} \quad (2)$$

Делительная окружность – это окружность зубчатого колеса, на которой его шаг и угол зацепления соответственно равны теоретическому шагу и углу профиля исходной зубчатой рейки. Если шаг зубьев рейки p , а число зубьев колеса z , то длина делительной окружности колеса равна pz , а ее диаметр

$$d = \frac{pz}{\pi} = mz, \quad (3)$$

где $m = p/\pi$ – величина, называемая *модулем* зацепления.

Теоретическая толщина зуба колеса по дуге делительной окружности равна половине шага. Однако, для того, чтобы не происходило заклинивания зубчатой пары при ее работе, толщину зуба реального колеса делают равной

$$s = \frac{\pi m}{2} - \Delta s, \quad (4)$$

где Δs – гарантированный зазор, зависящий от модуля зацепления.

Смещение исходного контура

Исходным называется сечение долбяка, содержащее профиль с нулевой высотной коррекцией. Его располагают на некотором расстоянии A от рабочего торца нового долбяка, чтобы использовать все поле допуска на изготовление зубчатого колеса. Величина A называется *смещением исходного сечения*.

Для расчета смещения исходного сечения определяют ориентировочный диаметр делительной окружности долбяка

$$D_o = mZ_o \quad (5)$$

и выбирают ближайшее большее значение нормализованного делительного диаметра D_n из следующего ряда: 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 и т.д.

Определяют число зубьев долбяка

$$Z = [D_n/m]$$

и окончательный диаметр его делительной окружности

$$D = mZ. \quad (6)$$

Рассчитывают диаметры окружностей выступов и впадин долбяка в его исходном сечении

$$D_{a \text{ исх}} = D + 2H_{a \text{ исх}} = D + 2,5m; \quad (7)$$

$$D_{f \text{ исх}} = D - 2H_{f \text{ исх}} = D - 2,5m. \quad (8)$$

Рассчитывают толщину зуба долбяка в исходном сечении по формуле

$$S_{\text{исх}} = 0,5\pi m + \Delta, \quad (9) \quad \text{1. Утолщение зуба инструмента, мм}$$

выбрав утолщение зуба Δ в зависимости от модуля зацепления из табл.1.

m	1...2	2,25...3,75	4...5,5	6
Δ	0,10	0,14	0,16	0,20

По ГОСТ 9323-79 зуб долбяка должен иметь у вершины передний угол $\gamma_0 = 5^\circ$ и задний угол $\alpha_0 = 6^\circ$. Исходя из этого, рассчитывают с точностью до 1' профильный угол долбяка на делительной окружности

$$\Omega = \arctg \left(\frac{\tg \omega}{1 - \tg \gamma_0 \tg \alpha_0} \right), \text{ град.} \quad (10)$$

Рассчитывают минимально допустимую с точки зрения периода стойкости долбяка толщину его зуба на окружности выступов

$$S_{a \text{ min}} = 0,51\sqrt{m}, \text{ мм.} \quad (11)$$

Определяют величину смещения исходного сечения долбяка, для чего:

1. Задаются двумя значениями смещения исходного сечения, выбирая первое в интервале $A_1 = 1...5$ мм, а второе – в интервале $A_2 = 8...15$ мм.

2. Для каждого из выбранных значений A_i рассчитывают

– диаметр выступов долбяка

$$D_{ai} = D_{a \text{ исх}} + 2A_i \tg \alpha_0; \quad (12)$$

– угол давления эвольвенты на окружности выступов

$$\Omega_{ai} = \arccos \left(\frac{D}{D_{ai}} \cos \Omega \right); \quad (13)$$

– толщину зуба на окружности выступов

$$S_{ai} = D_{ai} \left(\frac{S_{\text{исх}}}{D} + \text{inv} \Omega - \text{inv} \Omega_{ai} \right), \quad (14)$$

где $\text{inv} u = \tg u - u$ (угол u – в радианах).

Эти и следующую величину рассчитывают с точностью до 0,001 мм.

3. По полученным значениям S_{a1} и S_{a2} , принимая, что зависимость $S_a(A)$ линейна (рис. 2), рассчитывают величину смещения исходного сечения долбяка

$$A = A_1 + \frac{S_{a \min} - S_{a1}}{S_{a2} - S_{a1}} (A_2 - A_1). \quad (15)$$

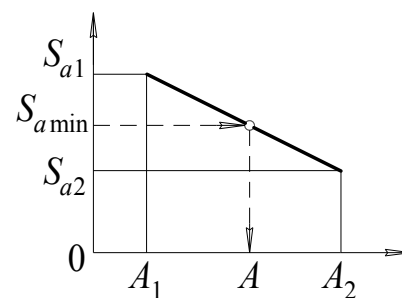


Рис. 2. К определению величины A

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания.
2. Рассчитать ориентировочный диаметр делительной окружности долбяка по формуле (5).
3. Выбрать нормализованный делительный диаметр и рассчитать окончательный диаметр делительной окружности долбяка по формуле (6).
4. Определить величину смещения исходного сечения долбяка.
5. Разработать отчет по лабораторной работе.

Задания

к лабораторной работе № 6

I. Модуль нарезаемого колеса, мм

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m	2	2,25	2,5	2,75	3	3,5	3,75	4	4,5	5

II. Число зубьев нарезаемого колеса

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
z	42	44	46	48	52	54	56	58	60	62

III. Число зубьев долбяка

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Z_0	16		18		20		22		24	

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.

Лабораторная работа № 7

Исследование конфигурации линии профилирования червячной фрезы для обработки шлицевого вала

Цель работы – научить студентов определять координаты точек линии профилирования при проектировании червячной фрезы для обработки прямобочного шлицевого вала методом обкатки.

Элементы теории

Исходные данные и расчетные размеры

Исходными данными для анализа параметров червячной фрезы являются наружный D , внутренний d и переходный d_1 диаметры шлицевого вала, ширина шлица b , длина контактной площадки a и минимальный размер фаски на шлице $c_{\min}$ (рис. 1, б). Все эти размеры задаются в миллиметрах. К исходным данным относятся также число шлицев z и способ центрирования шлицевого соединения – по наружному или внутреннему диаметру. Поля допусков TD , Td и Tb на размеры D , d и b , а также их расположение должны быть приведены на чертеже вала, как показано на рис. 1, а.

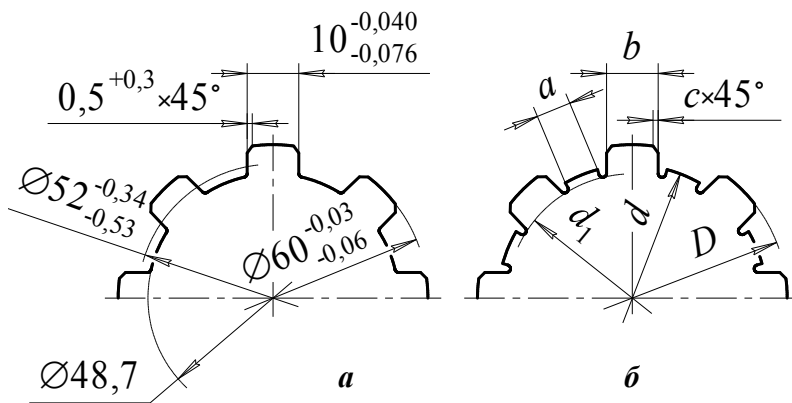


Рис. 1. Шлицевой вал
при центрировании
соединения
по наружному (а)
и внутреннему (б)
диаметру

Если у зуборезных долбяков рациональное использование поля допуска на окружной шаг нарезаемого колеса реализуется с помощью размещения теоретического профиля в исходном сечении (см. лабораторную работу № 6), то при проектировании шлицевых фрез используют другой подход. Запас на изменение раз-

меров при заточках такой фрезы закладывают в ее теоретический профиль, определяя его параметры на основе *расчетных размеров* шлицевого вала

$$\left. \begin{aligned} d_{\text{расч}} &= d_{\text{min}} + 0,25Td; \\ b_{\text{расч}} &= b_{\text{min}} + 0,25Tb; \\ D_{\text{расч}} &= D_{\text{max}} - 2c_{\text{min}}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В формулах (1) индексами «max» и «min» обозначены соответствующие предельные размеры.

При проектировании фрезы для вала с базированием по внутреннему диаметру, который фрезеруют с припуском под последующее шлифование,

$$\left. \begin{aligned} d_{\text{расч}} &= d + \delta_{\text{ср}}; \\ b_{\text{расч}} &= b + \delta_{\text{ср}}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

1. Припуск под шлифование шлицевых валов, мм

d	δ_{min}	δ_{max}
до 30	0,25	0,35
св. 30 до 50	0,30	0,40
св. 50 до 80	0,40	0,50
св. 80 до 120	0,45	0,55

где $\delta_{\text{ср}} = (\delta_{\text{min}} + \delta_{\text{max}})/2$ – средний припуск, назначаемый по табл. 1.

В последующем тексте под размерами D , d и b следует понимать размеры $D_{\text{расч}}$, $d_{\text{расч}}$ и $b_{\text{расч}}$.

Построение линии профилирования

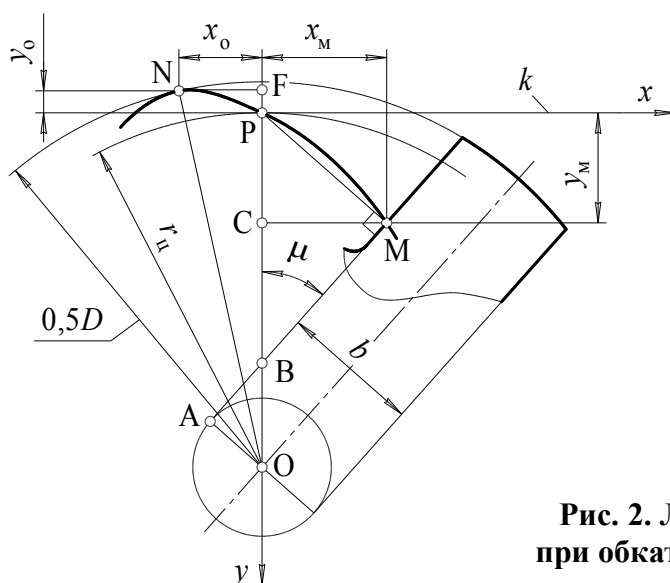


Рис. 2. Линия профилирования при обкатке прямобоковых шлицев

Поскольку червячная фреза – это обкатной инструмент, работающий по схеме «рейка – колесо», то в процессе обработки прямолинейная центроида инстру-

мента k обкатывается без скольжения по центроиде колеса – окружности радиусом $r_{\text{ц}}$ (рис. 2). Линия профилирования в общем случае представляет собой плоскую кривую. С помощью уравнения линии профилирования определяют ряд параметров профиля инструмента, как будет показано в лабораторной работе № 8.

Из условия

$$0,25\sqrt{4D_{\text{расч}}^2 - 3b_{\text{расч}}^2} \leq r_{\text{ц}} \leq 0,5D_{\text{расч}} \quad (3)$$

определяют диапазон, в котором должен находиться радиус центроиды $r_{\text{ц}}$ шлицевого вала. Для начала выбирают (с точностью до 0,1 мм) значение $r_{\text{ц}}$, максимально близкое к $0,5D_{\text{расч}}$, т.к. в дальнейшем может оказаться необходимым скорректировать величину $r_{\text{ц}}$ в сторону уменьшения.

Определяют координаты экстремальной точки линии профилирования с точностью до 0,0001 мм:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= -\frac{b_{\text{расч}}}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{b_{\text{расч}}}{4r_{\text{ц}}}\right)^2}; \\ y_0 &= -\frac{b_{\text{расч}}^2}{16r_{\text{ц}}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Рассчитывают угол поворота вала, соответствующий экстремальной точке,

$$\mu_0 = \arcsin\left(\frac{b_{\text{расч}}}{4r_{\text{ц}}}\right). \quad (5)$$

Рассчитывают угол, соответствующий началу переходной кривой:

– при проектировании фрезы для обработки вала, базируемого по наружному диаметру шлицев,

$$\mu_{\text{п}} = \arcsin\left(\frac{b_{\text{расч}} + \sqrt{b_{\text{расч}}^2 + 16r_{\text{ц}}(r_{\text{ц}} - 0,5d_1)}}{4r_{\text{ц}}}\right); \quad (6)$$

– для обработки вала, базируемого по внутреннему диаметру,

$$\mu_{\text{п}} = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{d_{\text{расч}}^2 - b_{\text{расч}}^2}}{2r_{\text{ц}}}\right). \quad (7)$$

Принимают, что углу μ_0 соответствует точка 0 линии профилирования, а углу μ_n – точка 4, и задают углами μ_i с точностью до 1° три промежуточные точки.

Рассчитывают координаты точек 1÷4 по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_i &= (r_{\text{ц}} \sin \mu_i - 0,5b_{\text{расч}}) \cos \mu_i ; \\ y_i &= (r_{\text{ц}} \sin \mu_i - 0,5b_{\text{расч}}) \sin \mu_i \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

с точностью до 0,0001 мм.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания.
2. Сделать эскиз профиля шлицевого вала с размерами и отклонениями.
3. Определить расчетные размеры профиля по формулам (1) или (2).
4. Определить радиус центроида шлицевого вала из условия (3).
5. Рассчитать координаты экстремальной точки линии профилирования и угол поворота вала, соответствующий этой точке, по формулам (4) и (5).
6. Рассчитать угол, соответствующий началу переходной кривой, по формулам (6) или (7).
7. Задать углами μ_i три промежуточные точки линии профилирования и рассчитать координаты этих точек по формулам (8)..
8. Заполнить таблицу в отчете по лабораторной работе (см. прил. 1).

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.
2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.Н. Жестковой. – 10-е изд., стер. – М. : Инновац. машиностроение, 2015. – Т. 2. – 959 с.

Задания

к лабораторной работе № 7

Рассчитайте координаты точек линии профилирования червячной фрезы для изготовления прямобочного шлицевого вала.

Размеры вала (по ГОСТ 1139-80 [2]) см. в табл. I, способ центрирования соединения – в табл. II, а поля допусков на размеры вала – в табл. III.

Обозначения размеров – по рис. 1, б.

I. Число шлицев и размеры шлицевого вала, мм

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
z	6	8			10	6	8			10
d	28	42	46	52	72	23	36	42	56	82
D	32	46	50	58	78	28	42	48	65	92
b	7	8	9	10	12	6	7	8	10	12
d_1	26,7	40,4	44,6	49,7	69,6	21,3	33,5	39,5	52,2	77,1
$c_{\min}$	0,3	0,4		0,5		0,3	0,4		0,5	
a^*	4,03	5,03	5,75	4,89	5,45	1,34	1,02	2,57	2,50	3,00

* При центрировании соединения по наружному диаметру размера a не существует.

II. Способ центрирования соединения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
по внутреннему диаметру					по наружному диаметру				

III. Поля допусков на основные размеры шлицевого вала

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
при центрировании по внутреннему диаметру										
<i>D</i>	<i>h11</i>									
<i>d</i>	<i>e8</i>	<i>f7</i>	<i>g7</i>	<i>h7</i>	<i>g6</i>	<i>js6</i>	<i>n6</i>	с припуском под шлифование		
<i>b</i>	<i>e9</i>	<i>d10</i>	<i>f9</i>	<i>h10</i>	<i>h8</i>	<i>k7</i>	<i>js7</i>			
при центрировании по наружному диаметру										
<i>d</i>	<i>a11</i>									
<i>D</i>	<i>e8</i>	<i>d8</i>	<i>f7</i>			<i>h7</i>	<i>g6</i>		<i>js6</i>	
<i>b</i>	<i>e8</i>	<i>d10</i>	<i>f8</i>	<i>d9</i>	<i>h9</i>	<i>f7</i>	<i>h8</i>	<i>f7</i>	<i>h8</i>	<i>js7</i>

Форма отчета по лабораторной работе № 7

Вариант №

Эскиз профиля шлицевого вала

Промежуточные расчеты

Координаты точек линии профилирования

Номер точки i	0	1	2	3	4
μ_i , град.					
x_i , мм					
y_i , мм					

1. Смещают систему координат таким образом, чтобы ее начало находилось в точке 0. Для всех других точек профиля

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_i &= X_i - X_0; \\ \tilde{Y}_i &= Y_i - Y_0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

2. Записывают условия принадлежности к окружности радиуса ρ каких-либо трех точек профиля зуба (обычно точек 0, 2 и 4) в виде

$$\left\{ \begin{aligned} (\tilde{X}_0 - x_c)^2 + (\tilde{Y}_0 - y_c)^2 &= \rho^2; \\ (\tilde{X}_2 - x_c)^2 + (\tilde{Y}_2 - y_c)^2 &= \rho^2; \\ (\tilde{X}_4 - x_c)^2 + (\tilde{Y}_4 - y_c)^2 &= \rho^2 \end{aligned} \right.$$

и разрешают полученную систему относительно ρ , x_c и y_c :

$$x_c = \frac{\begin{vmatrix} \tilde{X}_2^2 + \tilde{Y}_2^2 & \tilde{Y}_2 \\ \tilde{X}_4^2 + \tilde{Y}_4^2 & \tilde{Y}_4 \end{vmatrix}}{2 \cdot \begin{vmatrix} \tilde{X}_2 & \tilde{Y}_2 \\ \tilde{X}_4 & \tilde{Y}_4 \end{vmatrix}}; \quad (4)$$

$$y_c = \frac{\begin{vmatrix} \tilde{X}_2 & \tilde{X}_2^2 + \tilde{Y}_2^2 \\ \tilde{X}_4 & \tilde{X}_4^2 + \tilde{Y}_4^2 \end{vmatrix}}{2 \cdot \begin{vmatrix} \tilde{X}_2 & \tilde{Y}_2 \\ \tilde{X}_4 & \tilde{Y}_4 \end{vmatrix}}; \quad (5)$$

$$\rho = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}. \quad (6)$$

3. Проверяют попадание точек 1 и 3 профиля зуба на эту же дугу окружности. Если выполняется условие

$$\left| \sqrt{(\tilde{X}_{1,3} - x_c)^2 + (\tilde{Y}_{1,3} - y_c)^2} - \rho \right| \leq 0,05, \quad (7)$$

все точки профиля с достаточной точностью описываются найденной дугой.

Если какая-либо точка не ложится на дугу с заданной точностью, выбирают ее в качестве точки системы уравнений (вместо одной из взятых ранее), пересчитывают значения ρ , x_c , y_c и опять проверяют их для двух точек, не вошедших в новую систему.

Порядок выполнения работы

1. Сделать эскиз профиля шлицевого вала с размерами и отклонениями.
2. Используя данные лабораторной работы № 7, рассчитать координаты точек профиля зуба фрезы по формулам (1) и (2).
3. Внести результаты расчета в табл. 1 отчета по лабораторной работе (см. прил. 1).
4. Рассчитать координаты точек профиля зуба в смещенной системе координат по формулам (3).
5. Внести результаты расчета в табл. 2 отчета по лабораторной работе (см. прил. 1).
6. Рассчитать координаты центра и радиус аппроксимирующей дуги окружности по формулам (4), (5) и (6).
7. Выполнить проверку попадания точек 1 и 3 профиля зуба на эту же дугу окружности, используя условие (7).

Рекомендуемая литература

1. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 208 с.
2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.Н. Жестковой. – 10-е изд., стер. – М. : Инновац. машиностроение, 2015. – Т. 2. – 959 с.

Задания

к лабораторной работе № 8

Рассчитайте координаты точек профиля зуба червячной фрезы для изготовления прямобочного шлицевого вала. Замените полученную плоскую кривую дугой окружности.

Размеры вала (по ГОСТ 1139-80 [2]) см. в табл. I, способ центрирования соединения – в табл. II, а поля допусков на размеры вала – в табл. III.

Обозначения размеров – по рис. 1, б в лабораторной работе № 7.

I. Число шлицев и размеры шлицевого вала, мм

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
z	6	8			10	6	8			10
d	28	42	46	52	72	23	36	42	56	82
D	32	46	50	58	78	28	42	48	65	92
b	7	8	9	10	12	6	7	8	10	12
d_1	26,7	40,4	44,6	49,7	69,6	21,3	33,5	39,5	52,2	77,1
$c_{\min}$	0,3	0,4		0,5		0,3	0,4		0,5	
a^*	4,03	5,03	5,75	4,89	5,45	1,34	1,02	2,57	2,50	3,00

* При центрировании соединения по наружному диаметру размера a не существует.

II. Способ центрирования соединения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
по внутреннему диаметру					по наружному диаметру				

III. Поля допусков на основные размеры шлицевого вала

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
при центрировании по внутреннему диаметру										
D	$h11$									
d	$e8$	$f7$	$g7$	$h7$	$g6$	$js6$	$n6$	с припуском под шлифование		
b	$e9$	$d10$	$f9$	$h10$	$h8$	$k7$	$js7$			
при центрировании по наружному диаметру										
d	$a11$									
D	$e8$	$d8$	$f7$			$h7$	$g6$		$js6$	
b	$e8$	$d10$	$f8$	$d9$	$h9$	$f7$	$h8$	$f7$	$h8$	$js7$

Форма отчета по лабораторной работе № 8

Вариант №

Эскиз профиля шлицевого вала

Таблица 1. Координаты точек линии профилирования и профиля зуба фрезы

Номер точки i	0	1	2	3	4
μ_i , град.					
x_i , мм					
y_i, Y_i , мм					
X_i , мм					

Таблица 2. Скорректированные координаты точек профиля зуба, мм

Номер точки i	0	1	2	3	4
$\tilde{X}_i$					
$\tilde{Y}_i$					

Параметры аппроксимирующей дуги окружности

$$x_c = \quad ; y_c = \quad ; \rho = \quad .$$

Проверка попадания других точек на заменяющую дугу