

УДК 621.923.1

Н.В. ЛИЩЕНКО, канд. техн. наук, Одесса, Україна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ЭВОЛЬВЕНТЫ

На підставі отриманого аналітичного рівняння евольвентного профілю розроблено методику визначення активної ширини еквівалентного прямокутного профілю шліфувального круга, виходячи з рівності знімання матеріалу прямокутним і евольвентним профілем. Це дозволило визначати параметри, що характеризують продуктивність профільного зубошліфування – інтенсивність шліфування і питому інтенсивність шліфування.

Ключові слова: зубошліфування, шліфувальний круг, аналітичне рівняння евольвенти

На основании полученного аналитического уравнения эвольвентного профиля разработана методика определения активной ширины эквивалентного прямоугольного профиля шлифовального круга, исходя из равенства съема материала прямоугольным и эвольвентным профилем. Это позволило определять параметры, характеризующие производительность профильного зубошлифования – интенсивность шлифования и удельную интенсивность шлифования.

Ключевые слова: зубошлифование, шлифовальный круг, аналитическое уравнение эвольвенты

On the basis of the involute profile analytical equation obtained a technique of determining the grinding wheel equivalent rectangular profile active width is developed by means of equality condition of material removal both by rectangular profile and involute one. This technique has allowed determining the parameters that characterize the profile gear grinding productivity – grinding intensity and a specific grinding intensity.

Keywords: gear grinding, grinding wheel, analytical equation of involute profile

1. Постановка проблемы. Было отмечено, что для оценки производительности и проектирования шлифовальной операции используется ряд характеристических величин, к числу которых относится, например, количество удаляемого в единицу времени материала (интенсивность шлифования) Q_w (в $\text{мм}^3/\text{с}$). В зарубежной литературе величину Q_w (в $\text{мм}^3/\text{с}$) дополнительно приводят к единице эффективной (далее активной) ширины шлифовального круга и обозначают Q'_w в $\text{мм}^3/(\text{с}\cdot\text{мм})$. Однако для профильного эвольвентного зубошлифования отсутствуют методики определения этих показателей. В этой связи разработка методики определения показателей Q_w и Q'_w для эвольвентной формы профиля шлифовального круга, относится к числу актуальных задач технологии машиностроения.

2. Анализ последних исследований и публикаций. Известен подход для определения интенсивности профильного шлифования по аналогии

с плоским прямоугольным шлифованием, т.е. с применением формулы для интенсивности Q плоского шлифования [1]

$$Q = 10^3 V_{сп} t_{\phi} S_{non}, \text{ мм}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где $V_{сп}$ – скорость продольной подачи, м/мин; t_{ϕ} – подача на сторону (нормальная глубина резания), мм; S_{non} – поперечная подача, мм.

Отмечается, что величина S_{non} в данном случае является активной шириной профиля. Для профильного шлифования в качестве S_{non} используется «периметр в поперечном сечении шлифуемого контура в зоне контакта между кругом и заготовкой». Однако, периметр по общему определению является замкнутой линией. Поэтому термин «периметр в поперечном сечении» является некорректным.

Известен также другой подход к определению интенсивности шлифования Q через найденный предварительно удельный параметр Q'_w [2], т.е.

$$Q = 2Q'_w L, \quad (2)$$

где Q'_w – объем удаляемого материала за единицу времени в расчёте на единицу активной ширины шлифовального круга, $\text{мм}^3/(\text{мм}\cdot\text{с})$; L – активная ширина шлифовального круга (фактическая ширина контакта круга с заготовкой), мм.

При этом уточняется, что [2]

$$Q'_w = S_{\text{вр на сторону}} V_{\text{прод}} / 1000, \quad (3)$$

где $S_{\text{вр на сторону}}$ – подача на сторону, мм; $V_{\text{прод}}$ – скорость продольного перемещения шлифовального круга, м/с.

Однако формулы (2) и (3) написаны для частного случая – для эквидистантного припуска, который является постоянным в направлении перпендикуляра к профилю эвольвенты. Для многопроходного профильного шлифования методом копирования величина $S_{\text{вр на сторону}}$ является переменной, а постоянна она только на первом рабочем ходе, когда исходный профиль на заготовке перед зубошлифованием сформирован инструментом, имеющим другой профиль, обеспечивающий одинаковую подачу на сторону.

Таким образом, данные методики определения интенсивности профильного зубошлифования являются некорректными для профильного зубошлифования методом копирования.

3. Цель исследования заключается в разработке способа определения показателя Q'_w для любой произвольной формы профиля при профильном шлифовании по жёсткой схеме, например, при зубошлифовании методом копирования. Для этого необходимо определить площади сечения среза, которые однозначно характеризуют эти показатели.

4. Материалы исследований. Профиль зуба эвольвентного зубчатого колеса состоит из эвольвентного участка и переходной кривой во впадине зуба. Эвольвентой окружности называют плоскую кривую, которая описывается любой точкой производящей прямой при ее качении без скольжения по основной окружности радиуса r_b .

Уравнения эвольвенты в полярных координатах в параметрической форме имеют вид [3]:

$$\text{inv}\alpha_x = \Theta_x, \quad (4)$$

$$r_x = \frac{r_b}{\cos \alpha_x}. \quad (5)$$

Расчет профиля впадины зуба зубчатого колеса производится по следующим исходным данным: Z – число зубьев; m – модуль; S_t – толщина зуба колеса по делительной окружности, мм; d_δ – диаметр делительной окружности; d_a – диаметр окружности выступов, мм; d_b – диаметр основной окружности, мм; d_f – диаметр окружности впадин, мм.

Определение координат узловых точек эвольвентного профиля впадины зуба колеса проводят в системе XOY . Начало координат системы XOY помещают на оси зубчатого колеса. В качестве оси OY принимают ось симметрии впадины зуба зубчатого колеса. Известно, что координаты X и Y произвольной точки эвольвентного профиля впадины зуба описываются следующими уравнениями [3]

$$X = r_x \sin \delta_x, \quad (6)$$

$$Y = r_x \cos \delta_x, \quad (7)$$

где r_x – текущий радиус вектор произвольной точки эвольвентного профиля впадины зуба зубчатого колеса; δ_x – угол между линией, проходящей через ось симметрии впадины зубчатого колеса и линией, проходящей через центр зубчатого колеса и точкой эвольвентного профиля, определяемой радиусом r_x . Причем, радиус r_x необходимо выбирать в пределах $r_b < r_x < r_a$, где r_b – радиус основной окружности; r_a – радиус окружности выступов. В свою очередь

$$\delta_x = \delta_0 + \Theta_x \quad (8)$$

$$\Theta_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x. \quad (9)$$

Функция $\operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x$ обозначается $\operatorname{inv} \alpha_x$ и называется эвольвентной функцией. Причем

$$\alpha_x = \arccos \frac{r_b}{r_x}; \quad (10)$$

$$\delta_0 = \delta_\delta - \Theta_\delta, \quad (11)$$

где δ_δ – угол для точки профиля впадины зуба, расположенной на делительной окружности.

Уравнение эвольвенты для точки, расположенной на делительной окружности [3]:

$$\Theta_\delta = \operatorname{inv} \alpha_\delta = \operatorname{tg} \alpha_\delta - \alpha_\delta, \quad (12)$$

$$\alpha_\delta = \arccos \frac{r_b}{r_\delta}, \quad (13)$$

$$\delta_\delta = \frac{T_\delta}{2r_\delta}, \quad (14)$$

где T_δ – ширина впадины зуба на делительной окружности, мм; r_δ – радиус делительной окружности, мм

При этом

$$T_\delta = \pi m - S_f, \quad (15)$$

где S_f – толщина зуба колеса по делительной окружности, мм.

В общем случае толщина зуба на заданном диаметре d_y определяется по формуле [4]

$$S_{ry} = d_y \left(\frac{\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_y \right), \quad (16)$$

где x – коэффициент смещения; α – угол профиля зуба исходного контура в нормальном сечении; α_t – угол профиля зуба в торцовом сечении; α_y – угол профиля в точке на концентрической окружности заданного диаметра d_y . Кроме того,

$$\alpha_y = \arccos \frac{d_\partial}{d_y} \cdot \cos \alpha_t; \quad (17)$$

$$\alpha_t = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}; \quad (18)$$

$$\operatorname{inv} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha_t - \alpha_t; \quad (19)$$

$$\operatorname{inv} \alpha_y = \operatorname{tg} \alpha_y - \alpha_y; \quad (20)$$

где β – угол наклона зубьев;

В формуле (16) $S_{ry} = S_t$; $d_y = d_\partial$.

Формулы (6) и (7) с учетом формул (8) – (20) и введенных обозначений

$$C_1 = \frac{T_\partial}{2r_\partial}; \quad C_2 = \left(\operatorname{tg} \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_\partial} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_\partial} \right) \right) \text{ примут вид}$$

$$X = r_x \cdot \sin \left(\left(C_1 - C_2 + \left(\operatorname{tg} \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) \right) \right) \quad (21)$$

$$Y = r_x \cdot \cos \left(\left(C_1 - C_2 + \left(\operatorname{tg} \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) \right) \right) \quad (22)$$

Уравнения (21) и (22) можно назвать каноническим уравнением эвольвентного профиля в параметрической форме. В этом уравнении координаты X и Y зависят только от одного параметра r_x .

Для определения активной ширины эквивалентного прямоугольного профиля (ЭПП) введем обозначения (рис.1). $W_{a(i+1) \min}$; $W_{a(i+1) \max}$; $W_{a(i+1)}$.

Площадь сечения среза (рис. 1)

$$S_{cc}(i+1) = 2S_{1-5-7-4} = 2S_{1-6-7-4} - 2S_{5-6-7} = 2S_{1-2-3-4} - 2S_{5-6-7}$$

Доказано, что $S_{1-2-3-4} = S_{1-6-7-4}$.

Так как $2S_{1-2-3-4} = 2 \cdot t_{i+1} \frac{W_{a(i+1)\max}}{2} = t_{i+1} \cdot W_{a(i+1)\max}$, то

$$S_{cc}(i+1) = 2 \cdot t_{i+1} \frac{W_{a(i+1)\max}}{2} - 2S_{5-6-7}. \quad (23)$$

С другой стороны,

$$S_{cc}(i+1) = t_{i+1} \cdot W_{a(i+1)} \quad (24)$$

Приравнявая уравнения (23) и (24), получим

$$t_{i+1} \cdot W_{a\max} - 2S_{5-6-7} = t_{i+1} \cdot W_{a(i+1)} \quad (25)$$

Из уравнения (25)

$$W_{a(i+1)} = \frac{t_{i+1} \cdot W_{a(i+1)\max} - 2S_{5-6-7}}{t_{i+1}}. \quad (26)$$

Задача состоит в определении $W_{a(i+1)\max}$, $W_{a(i+1)}$ и площади фигуры S_{5-6-7} .

Из рис. 1 видно, что $\frac{W_{a(i+1)\min}}{2}$ и $\frac{W_{a(i+1)\max}}{2}$ являются координатами X_1 и X_2 точек эвольвентного профиля впадины зуба. Соответственно, существуют и ординаты Y_1 и Y_2 . Точки 5 и 6 идентифицируются радиус-векторами r_1 и r_2 , соответственно. Методика дальнейшего расчёта такая.

1. Определяют координату Y_2 .

$$Y_2 = \frac{df}{2} - \sum_{i+2}^n t_k + \sum_{i+2}^n t_k + t_{i+1} + \sum_{k=1}^i t_k, \quad (27)$$

где $\sum_{k=1}^i t_k$ – сумма предыдущих глубин резания, мм; t_{i+1} – текущая

глубина резания, мм; $\sum_{i+2}^n t_k$ – сумма последующих глубин резания, мм.

2. Из уравнения (22), зная координату Y_2 , определяют радиус r_{x2} .

3. По уравнению (21) определяют координату $X_2 = f(r_{x2})$. Видно (рис.1), что

$$X_2 = \frac{W_{a \max}}{2}. \text{ Следовательно, } W_{a \max} = 2X_2.$$

4. Определяют координату $Y_1 = Y_2 - t_{i+1}$.

5. Из уравнения (22), зная координату Y_1 , определяют радиус r_{x1} .

6. По уравнению (21) определяют координату $X_1 = f(r_{x1})$.

$X_2 = f(r_{x2})$. Видно (рис. 1), что $X_1 = \frac{W_{a \min}}{2}$. Следовательно,

$$W_{a \min} = 2X_1.$$

7. Определяют площадь фигуры $S_{5-6-7} = S_{9-5-6-10} - S_{5-7-10-9}$

$$S_{9-5-6-10} = \int_{r_{x1}}^{r_{x2}} Y(r_x) \cdot X'(r_x) dr_x; \quad (28)$$

$$S_{5-7-10-9} = (X_2 - X_1)Y_1. \quad (29)$$

8. Определяют активную ширину профиля $W_{a(i+1)}$

$$W_{a(i+1)} = \frac{t_{i+1} \cdot W_{a \max(i+1)} - 2 \left(\int_{r_{x1}}^{r_{x2}} Y(r_x) \cdot X'(r_x) dr_x - (X_2 - X_1)Y_1 \right)}{t_{i+1}} \quad (30)$$

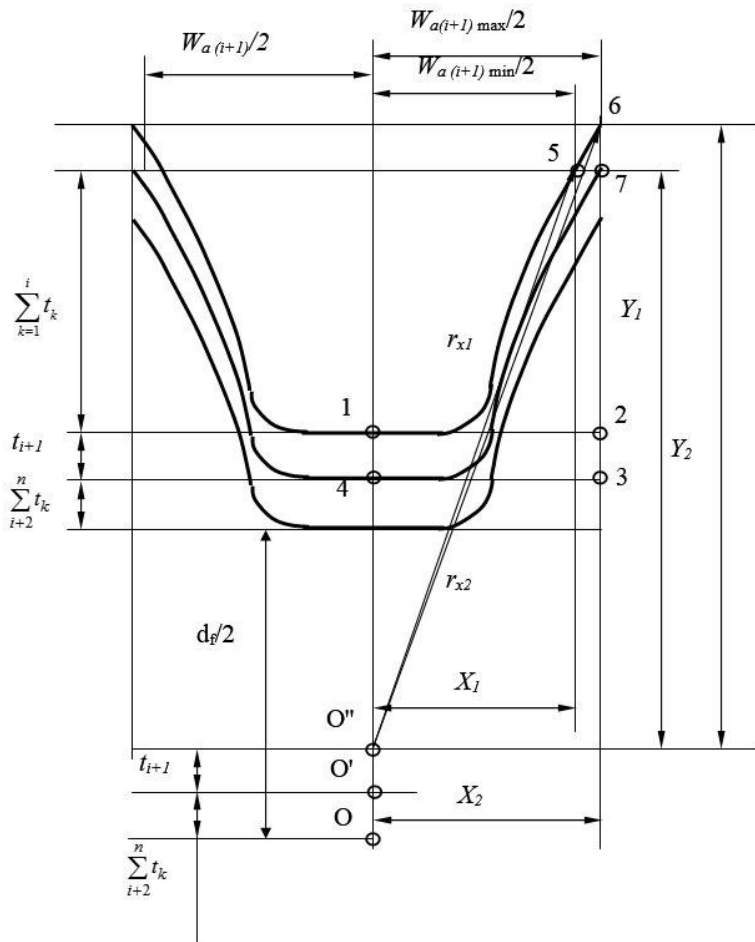


Рисунок 1 – Расчётная схема для определения активной ширины ЭПП

9. Определяют интенсивность шлифования по формуле Q_w , мм³/с

$$Q_w(i+1) = S_{i+1} V_d, \text{ мм}^3/\text{с} \quad (31)$$

где S_{i+1} – площадь сечения среза на $(i+1)$ -м ходе, мм²; V_d – скорость детали (скорость шлифовального круга вдоль зубчатого венца, мм/с).

Площадь сечения среза

$$S_{i+1} = W_a(i+1) t_{i+1}, \text{мм}^2 \quad (32)$$

Интенсивность шлифования на 1 мм ширины шлифовального круга
 $Q'_w(i+1), \text{мм}^3/(\text{с мм})$

$$Q'_w(i+1) = \frac{Q_w(i+1)}{W_a(i+1)}, \quad (33)$$

$$Q'_w(i+1) = \frac{W_a(i+1) t_{i+1} V_\partial}{W_a(i+1)} = t_{i+1} V_\partial.$$

Положение $W_a(i+1)$ в интервале $W_{a \min}(i+1) \dots W_{a \max}(i+1)$ охарактеризуем параметром P

$$P = \frac{W_a(i+1) - W_{a \min}(i+1)}{W_{a \max}(i+1) - W_{a \min}(i+1)} \cdot 100\%. \quad (34)$$

Пример. Шлифовали заготовки зубчатых колес, изготовленных из стали 12Х2Н4А, прошедшие цементацию на глубину $h = 0.7 \dots 1,2$ мм и закалку до HRC 59. Метод шлифования – двупрофильное методом копирования. Параметры зубчатого колеса: $Z = 40$; $m = 3,75$; $d_\partial = 150$ мм; $d_a = 153,75$ мм; $d_b = 140,954$ мм; $d_f = 139$ мм; коэффициент смещения исходного контура $x = -0,3$ мм; $\alpha = 20^\circ$; $\beta = 0$; коэффициент высоты головки $h_a^* = 0,8$; коэффициент радиального зазора $c^* = 0,25$; коэффициент радиуса переходной прямой $\rho_f^* = 0,27$ мм. Точность зубчатого колеса 7-Д. Шероховатость зубчатой поверхности Ra 3,2 мкм.

При удалении припуска на черновом, получистовом и чистовом этапе обработки высота впадины изменяется от 4,98 до 6,46 мм; от 6,46 до 7,2 мм; от 7,2 до $7,246 + 0,015 = 7,26$ мм, соответственно (табл. 1). Для разных этапов обработки (чернового, получистового и чистового) изменяются активная ширина профиля $W_a(i+1)$, площадь сечения среза S_{i+1} , интенсивность

шлифования $Q_w(i+1)$. При этом интенсивность шлифования на 1 мм ширины шлифовального круга $Q'_w(i+1)$ уменьшается от этапа к этапу, а в пределах каждого этапа практически постоянна (табл. 1).

Результаты расчета предельных значений активной ширины ЭПП шлифовального круга и непосредственно активной ширины на каждом проходе сведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что параметр P , характеризующий положение интервала $W_a(i+1)$ составляет величину порядка 50 %. Это означает, что при расчете интенсивности шлифования по формулам (29) и (30) активную ширину ЭПП шлифовального круга $W_a(i+1)$ можно определить по формуле

$$W_a(i+1) = \frac{W_a(i+1)_{\max} + W_a(i+1)_{\min}}{2}. \quad (35)$$

Таблица 1 – Расчётные параметры зубошлифования

Номер прохода	$\sum_{k=1}^i t_k$ мм	t_{i+1} , мм	$\sum_{i+2}^n t_k$, мм	$W_a(i+1)$, мм	S_{i+1} , мм ²	V_{∂} , мм/мин	$Q_w(i+1)$ мм ³ /с	$Q'_w(i+1)$ мм ³ /(с мм)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черновой этап								
1	4,98	0,074	2,206	6,376	0,4718	1000	7,8637	1,233
2	5,054	0,074	2,132	6,435	0,47619	7000	55,555	8,6333
3	5,128	0,074	2,058	6,494	0,48056	7000	56,065	8,6333
4	5,202	0,074	1,984	6,554	0,48499	7000	56,582	8,6333
5	5,276	0,074	1,91	6,615	0,48951	7000	57,1095	8,6333
6	5,35	0,074	1,836	6,675	0,49395	7000	57,6275	8,6333
7	5,424	0,074	1,762	6,737	0,49854	7000	58,163	8,6333
8	5,498	0,074	1,688	6,799	0,5031	7000	58,698	8,6333
9	5,572	0,074	1,614	6,861	0,5077	7000	59,233	8,6333
10	5,646	0,074	1,54	6,925	0,51245	7000	59,786	8,6333
11	5,72	0,074	1,466	6,988	0,51711	7000	60,33	8,6333
12	5,794	0,074	1,392	7,052	0,5218	7000	60,88	8,6333
13	5,868	0,074	1,318	7,117	0,5266	7000	61,443	8,6333

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	5,942	0,074	1,244	7,182	0,5315	7000	62,005	8,6333
15	6,016	0,074	1,17	7,248	0,5363	7000	62,574	8,6333
16	6,09	0,074	1,096	7,314	0,5412	7000	63,144	8,6333
17	6,164	0,074	1,022	7,381	0,5462	7000	63,723	8,6333
18	6,238	0,074	0,948	7,448	0,5512	7000	64,301	8,6333
19	6,312	0,074	0,874	7,516	0,5562	7000	64,89	8,6333
20	6,386	0,074	0,8	7,584	0,5612	7000	65,475	8,6333
Припуск на сторону – 0,5 мм								
Получистовой этап								
1	6,46	0,074	0,726	7,653	0,56632	7000	66,071	8,6333
2	6,534	0,074	0,652	7,723	0,5715	7000	66,675	8,6333
3	6,608	0,074	0,578	7,792	0,57661	7000	67,271	8,6333
4	6,682	0,074	0,504	7,863	0,58186	7000	68,884	8,6333
5	6,756	0,074	0,43	7,934	0,5871	7000	68,497	8,6333
6	6,83	0,074	0,356	8,005	0,59237	7000	69,11	8,6333
7	6,904	0,074	0,282	8,077	0,5977	7000	69,731	8,6333
8	6,978	0,074	0,208	8,149	0,603	7000	70,353	8,6333
9	7,052	0,074	0,134	8,222	0,60843	7000	70,983	8,6333
10	7,126	0,074	0,06	8,296	0,6139	3000	30,695	3,7
Припуск на сторону – 0,25 мм								
Чистовой этап								
1	7,2	0,015	0,045	8,341	0,12511	2500	5,213	0,625
2	7,215	0,015	0,030	8,356	0,12534	2500	5,2225	0,625
3	7,23	0,015	0,015	8,371	0,12556	2000	4,1855	0,5
4	7,245	0,015	0	8,386	0,12579	1500	3,14475	0,375
Припуск на сторону – 0,02 мм								

Таблица 2 – Определение активной ширины ЭПП

Номер прохода	$W_{a(i+1) \min}$, мм	$W_{a(i+1)}$, мм	$W_{a(i+1) \max}$, мм	P , %
1	2	3	4	5
Черновой этап				
1	6,347	6,376	6,405	50
2	6,406	6,435	6,465	49,2
3	6,465	6,494	6,524	49,2
4	6,524	6,554	6,584	50
5	6,584	6,615	6,645	50,8
6	6,645	6,675	6,706	49,2
7	6,706	6,737	6,768	50
8	6,768	6,799	6,830	50

Продолжение табл. 2

1				
9	6,830	6,861	6,893	49,2
10	6,893	6,925	6,956	49,2
11	6,956	6,988	7,020	50
12	7,020	7,052	7,085	49,2
13	7,085	7,117	7,149	49,2
14	7,149	7,182	7,215	50
15	7,215	7,248	7,281	50
16	7,281	7,314	7,347	50
17	7,347	7,381	7,414	50,7
18	7,414	7,448	7,482	50
19	7,482	7,516	7,550	50
20	7,550	7,584	7,619	49,3
Получистойвой этап				
1	7,619	7,653	7,688	49,3
2	7,688	7,723	7,757	50,7
3	7,757	7,792	7,827	50
4	7,827	7,863	7,898	50,7
5	7,898	7,934	7,969	50,7
6	7,969	8,005	8,041	50
7	8,041	8,077	8,113	50
8	8,113	8,149	8,186	49,3
9	8,186	8,222	8,259	49,3
10	8,259	8,296	8,333	50
Чистовой этап				
1	8,333	8,341	8,348	53,3
2	8,348	8,356	8,363	53,3
3	8,363	8,371	8,378	53,3
4	8,378	8,386	8,393	53,3

Изменение параметров S_{i+1} , $Q_{w(i+1)}$ и $W_{a(i+1)}$ отражено на рис. 2 (сквозная нумерация проходов по оси абсцисс) и выводах.

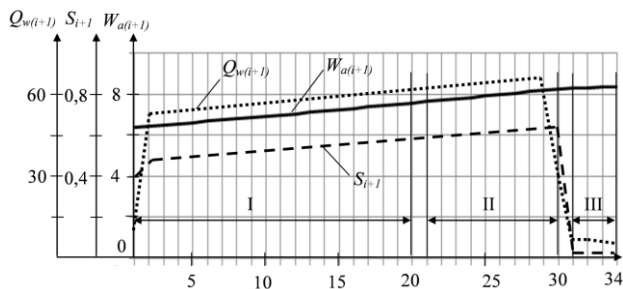


Рисунок 2 – Изменение параметров съема припуска: I, II, III – черновой; получистойвой и чистойвой этапы, соответственно

5. Выводы и перспективы развития

1. Получено каноническое уравнение эвольвенты в параметрическом виде, в соответствии с которым декартовы координаты эвольвенты X и Y являются функцией одного параметра – текущего радиус-вектора r_x .

2. Разработана методика определения активной ширины эквивалентного прямоугольного профиля $W_{a(i+1)}$ для любого $(i+1)$ -ого рабочего хода, который

производится от предыдущего положения эвольвентного профиля $\sum_{k=1}^i t_k$ к

текущему положению $\sum_{k=1}^i t_k + t_{i+1}$, после которого остается припуск $\sum_{k=1}^n t_k$.

3. Установлено, что для обычных режимов многопроходного профильного зубошлифования указанная выше активная ширина профиля $W_{a(i+1)}$ определяется через свои предельные значения по выражению

$$W_{a(i+1)} = \frac{W_{a(i+1)\max} + W_{a(i+1)\min}}{2}.$$

4. Разработанная методика позволила определить интенсивность шлифования Q_w (мм³/с) и удельную интенсивность шлифования на 1 мм ширины шлифовального круга $Q'_w(i+1)$, мм³/(с мм). Установлено, что при постоянной скорости детали величина $Q_w(i+1)$ незначительно увеличивается с увеличением номера рабочего хода (от 55,555 мм³/с до 70,983 мм³/с). При этом величина $Q'_w(i+1)$ является постоянной 8,6333 мм³/(с·мм).

5. Полученное уравнение эвольвенты позволяет применить известные положения аналитической геометрии для установления взаимосвязи между радиальным и нормальным исчислением припуска и глубины резания для определения температуры зубошлифования на различных участках эвольвентного профиля.

Список использованных источников: 1. *Калинин Е.П.* Теория и практика управления производительностью абразивной обработки с учетом затупления инструмента: Автореф. дисс... докт. техн. наук: 05.03.01. – Рыбинск, 2006. – 34 с. 2. *Декаполитов М.И.* Повышение эффективности профильного зубошлифования цилиндрических колес путем расчета параметров статической наладки: Дисс.. канд. техн. наук: 05.02.07; 05.02.08. – Москва, 2013. – 212 с. 3. *Родин П.Р.* Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин. Учебник для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1986. – 455 с. 4. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – в 3-х т., Т.2. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 559 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Kalimin E.P.* Teoriya i praktika upravleniya proizvoditel'nost'yu abrazivnoy obrabotki s uchetoм zatupleniya instrumenta: Avtoref. diss... dokt. tekhn. nauk: 05.03.01. – Rybinsk, 2006. – 34 s. 2. *Dekapolotov M.I.* Povyshenie effektivnosti profil'nogo zuboshlifovaniya tsilindricheskikh koles putem rascheta parametrov staticheskoy naladki: Diss.. kand.tekhn. nauk: 05.02.07; 05.02.08. – Moskva, 2013. – 212 s. 3. *Rodin P.R.* Metallorazhushchie instrumenty / P.R. Rodin. Uchebnik dlya vuzov – 3-e izd., pererab. i dop. – K.: Vishcha shkola, 1986. – 455 s. 4. *Anur'ev V.I.* Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya / V.I. Anur'ev. – v 3-kh t., T.2. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 559 s.