

УДК 621.923/621

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКА ПО ПРОХОДАМ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Якимов А.В. докт.техн.наук, Новиков Ф.В. докт.техн.наук
Якимов А.А. канд.техн.наук,

(г. Одесса, Украина)

Для получения требуемого качества поверхностного слоя точности размеров и формы оптимальный цикл обработки зубчатых колес надо строить таким образом, чтобы интенсивность съема припуска при зубошлифовании уменьшалась к концу цикла.

При этом речь идет о фактическом съеме припуска, так как за счет упругих деформаций значение фактических глубин отличается от номинально установленных по нониусу станка.

Глубина проникновения шлифовочного дефекта δ зависит от условий шлифования, режимов, состояния рабочей поверхности круга.

Экспериментально установлено, что независимо от сочетания скорости $V_{ст}$ и подачи $S_{п}$ глубина дефектного слоя δ пропорциональна глубине шлифования [1]. На основании экспериментальных данных приведенных в работе [1] построена зависимость глубины дефектного слоя δ от глубины шлифования зубчатых колес на станке 5851 с $\alpha_n = 0$ (кривая 1) и $\alpha_n = 15^\circ$ (кривая 2) и при шлифовании зубчатых колес на станке 5831 (кривая 3) (Рис. 1).

Из анализа зависимостей $\delta = f(t)$ (рис. 1) видно, что дефектный слой при шлифовании зубчатых колес ($m=5, z=30, \alpha=20^\circ$, сталь 12Х2Н4А) начинает появляться с некоторой начальной глубины t_0 . Например, при шлифовании зубчатых колес на станке 5831 дефектный слой начинает появляться с начальной глубины $t_0 = 0,005$ мм, при шлифовании зубчатых колес на станках 5851 с 15-и градусной настройкой кругов $t_0 = 0,008$ мм, а при шлифовании на станке 5851 с $\alpha_n = 0$ — $t_0 = 0,012$ мм.

Величину дефектного слоя можно рассчитать по формуле

$$\delta = (t_1 - t_0) \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

где δ — величина дефектного слоя, мкм;

t_1 — глубина шлифования, мкм;

t_0 — глубина шлифования при которой начинает появляться дефектный слой, мкм;

$tg\alpha$ – параметр характеризующий влияние кинематики станков на теплонапряженность процесса шлифования.

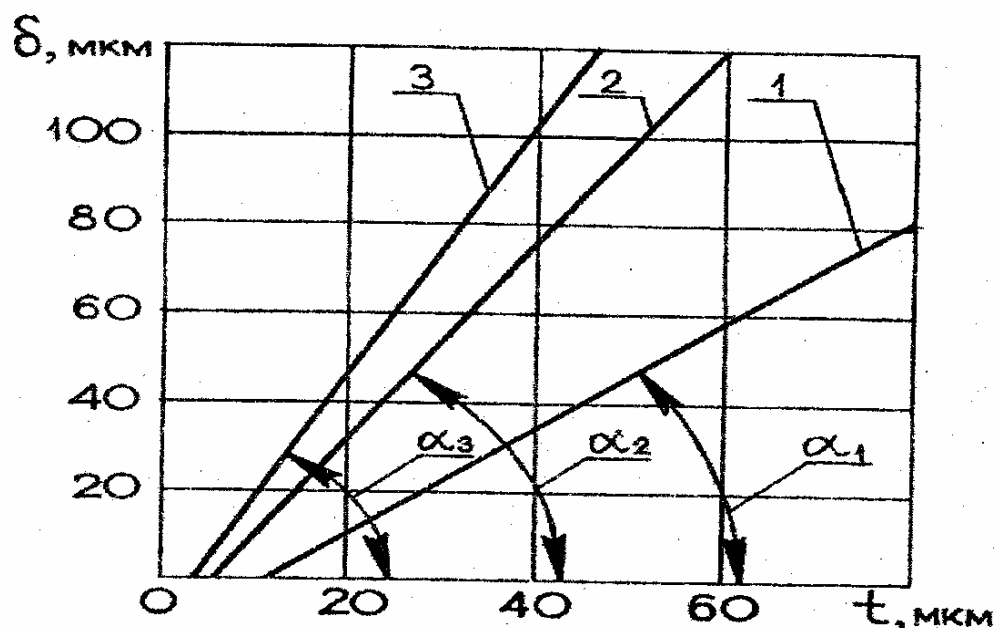


Рис. 1. Зависимость глубины дефектного слоя от глубины шлифования на станках 5851 с $\alpha_u = 0$ (прямая 1), с $\alpha_u = 15^\circ$ (прямая 2), на станках 5831 (прямая 3).

По данным работы [1] для зубошлифовального станка 5851 с $\alpha_u = 15^\circ$ – $tg\alpha = 2,18$, для зубошлифовального станка 5851 с $\alpha_u = 0$ – $tg\alpha = 1,14$, а для зубошлифовального станка 5831 – $tg\alpha = 2,78$.

Для устранения шлифовочных дефектов необходимо удаление припуска производить с таким расчетом, чтобы дефектный слой от предыдущего прохода не превышал оставшийся припуск на последующую обработку (рис. 2). Например, при выполнении равенства (1) глубина дефектного слоя не должна превышать оставшийся припуск под последующую обработку

$$\delta = (t_1 - t_0)tg\alpha = z - t_1 \quad (2)$$

где t_1 – глубина шлифования на первом проходе;

z – общий припуск на шлифование.

Глубина резания на первом проходе будет равна

$$t_1 = \frac{z + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} \quad (3)$$

Глубина резания на n проходе будет равна

$$t_n = \frac{\left(z - \sum_{i=1}^{n-1} t_i \right) + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} \quad (4)$$

Рассмотрим последовательность удаления операционных припусков на конкретном примере.

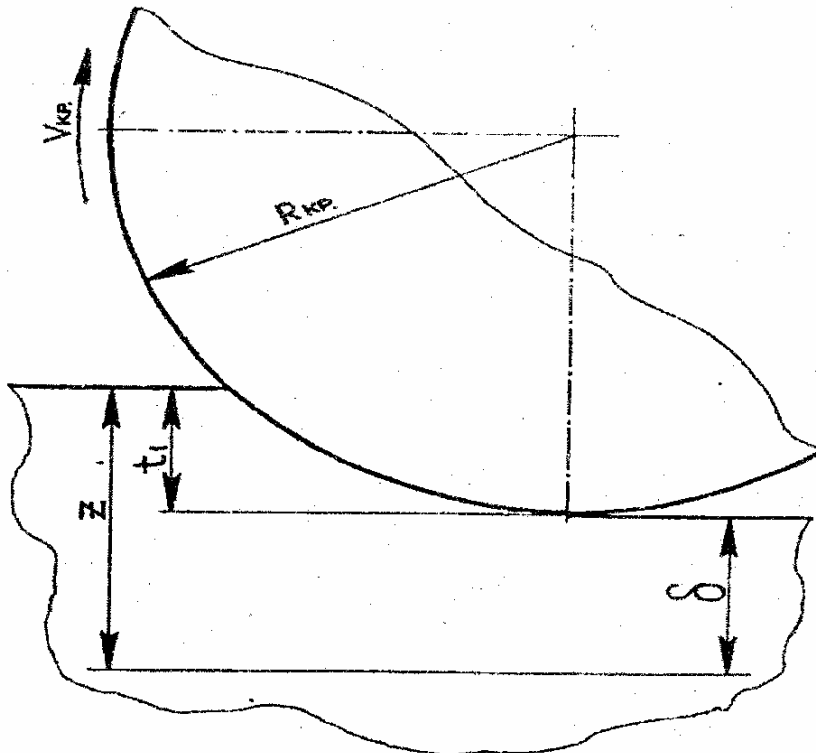


Рис. 2

Пример: требуется удалить с боковых поверхностей зубьев припуск $z = 0,2$ мм.

Станок 5851, $\alpha_u = 0$ ($t_0 = 0,012$ мм, $\operatorname{tg} \alpha = 1,4$) $S_n = 1,67$ мм/кач, число качаний $n = 93$ кач/мин.

По формуле (4) производится расчет t_i до тех пор пока не будет выполнено условие $t_n \leq t_0$.

$$t_1 = \frac{z + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} = 0,094 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{z - t_1 + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} = 0,05 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{z - (t_1 + t_2) + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} = 0,027 \text{ мм}$$

$$t_4 = \frac{z - (t_1 + t_2 + t_3) + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} = 0,014 \text{ мм}$$

$$t_5 = \frac{z - (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha} = 0,007 \text{ мм}$$

Полученное распределение глубин шлифования обеспечивает стабилизацию качества поверхностного слоя, т.е. устраняет появление шлифовочных дефектов.

На пятом проходе выполняется условие $t_5 < t_0$. Следовательно дальнейшую обработку можно было бы прекратить, если суммарная величина снятого слоя металла за 5 проходов достигла величины общего припуска на обработку $z = 0,2$ мм. Однако величина суммарного съема металла $\sum_{i=1}^5 t_i = 0,192$ мм оказалась меньше величины общего припуска $z = 0,2$ мм.

Поэтому для удаления оставшейся части общего припуска

$$z_{\text{ост}} = z_{\text{общ}} - \sum_{i=1}^n t_i = 0,2 - 0,192 = 0,008 \text{ мм,}$$

необходимо назначить дополнительный проход.

Причем на этом дополнительном проходе глубина снимаемого слоя должна быть приблизительно равна или меньше глубины t_0 .

Под действием сил резания происходит деформация шпиндельного узла шлифовальных станков.

В результате фактический (расчетный) съем металла будет отличаться от глубины шлифования установленной по нониусу станка

$$t = t_n - \Delta_0 \quad (5)$$

где t — фактический съем металла (расчетный);

t_n — лимбовая глубина шлифования;

Δ_0 — величина смещения режущей кромки круга в направлении нормали к кругу.

Величину Δ_0 можно определить из выражения [3]

$$\Delta_0 = \frac{k_0}{C + k_0} t_n \quad (6)$$

где C – статическая жесткость упругой системы шпиндельного узла (Н/мм);

k_0 – динамическая жесткость, характеризующая силу резания приходящуюся на единицу глубины внедрения шлифовального круга в металл (Н/мм).

В технологических документах технолог указывает лимбовые глубины. После подстановки выражения (6) в (5) и некоторых преобразований получена формула для определения лимбовых глубин шлифования

$$t_n = \frac{t}{1 + \frac{k_0}{k_0 + C}} \quad (7)$$

Для зубошлифовального станка 5851 жесткость шпиндельного узла $C=7000$ Н/мм, динамическая жесткость $k_0 = C\left(\frac{t_n}{t} - 1\right)$ равна $k_0=4666$ Н/мм.

Лимбовые глубины при шлифовании зубчатого колеса на станке 5851 с $\alpha_u = 0$ (при $z=0,2$ мм) согласно произведенного расчета соответственно равны $t_{1л} = 0,157$ мм; $t_{2л} = 0,083$ мм; $t_{3л} = 0,045$ мм; $t_{4л} = 0,023$ мм; $t_{5л} = 0,011$ мм; $t_{6л} = 0,013$ мм.

В таблице 1 представлены значения фактических и лимбовых глубин шлифования зубчатых колес ($m=5$, $z=30$, $\alpha=20^\circ$, сталь 12Х2Н4А НРС-60-62) Общий припуск $z=0,2$ мм.

Таблица 1.

№ про- хо- да	5851 $\alpha_u = 0$		5851 $\alpha_u = 15^\circ$		5831	
	C Н/мм	k_0 Н/мм	C Н/мм	k_0 Н/мм	C Н/мм	k_0 Н/мм
	7000	4666	7000	4666	10000	6500
	Глубины шлифования, мм					
	t	t_n	t	t_n	t	t_n
1	0,0942	0,157	0,068	0,111	0,042	0,069
2	0,050	0,083	0,045	0,0740	0,05	0,049
3	0,027	0,045	0,032	0,052	0,022	0,036
4	0,014	0,023	0,022	0,036	0,0166	0,027
5	0,007	0,011	0,008	0,013	0,0122	0,020
6	0,008	0,013	0,008	0,013	0,009	0,015
7	–	–	0,008	0,013	0,0066	0,011
8	–	–	0,007	0,011	0,005	0,008

Рассмотренная методика распределения припуска по проходам может быть использована на этапе проектирования операции зубошлифования (при оптимизации режимов) и на этапе механической обработки (при диагностике операции). Однако данная методика распределения припуска по проходам основана на конкретных данных полученных из эксперимента [1], не позволяет сделать обобщенные выводы для всего диапазона режимов и схем шлифования. Для получения более обобщенной математической модели необходимо установить функциональную связь параметров t_0 и $tg\alpha$ с режимами шлифования.

Список литературы: 1. Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. Повышение надежности тяжело-нагруженных зубчатых колес. – М.: Машиностроение 1981, 232 с. 2. Свирцев В.И. Технологические основы и обеспечение динамической стабилизации процессов шлифования. Автореферат докт. диссертации. Пермь 1996 г. 3. Управление процессом шлифования / А.В. Якимов, А.Н. Паршанов, В.И. Свирцев, В.П. Ларшин/ К. Техника, 1983. – 18 с.