

4.7 Технология машиностроения

УДК 621.914.1

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Кляус О.Н., асп., Жолобов А.А., к.т.н., проф.

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Реферат. В статье рассмотрен способ определения эффективного метода высокоскоростной обработки отверстий фрезерованием на основе комплексного критерия – основное время T_o + работа A .

Ключевые слова: высокоскоростная обработка фрезерованием, отверстие, фреза, круговая интерполяция, винтовая интерполяция.

В настоящее время определенное развитие получила высокоскоростная обработка (ВСО) отверстий фрезерованием, которая в сравнении с традиционными способами позволяет с большей эффективностью получить точную и качественную поверхность детали. Имеют место два метода для указанной обработки: круговая и винтовая интерполяция. Для использования каждого из них существуют свои рекомендации [1], которые носят ориентировочный характер. Однако примеры, указывающие на преимущественное применение того или иного метода, приводятся крайне редко.

Целью настоящей работы являлось определение для конкретных параметров отверстий наиболее эффективного метода высокоскоростной обработки фрезерованием с точки зрения основного времени T_o и работы A , затрачиваемых на процесс.

В качестве исследуемых параметров было выбрано отверстие диаметром 70 мм и длиной, равной 30 мм. Квалитет точности 7–8, шероховатость по Ra – 1,25...2,5 мкм. Выбор указанных исходных данных связан с областью применения – подобные конструктивные элементы служат для размещения опор валов в корпусах редукторов и коробок передач, шпиндельных узлах.

Диаметр отверстия, полученного на предшествующей обработке равен 38 мм. Такой выбор обоснован технологическими возможностями специальных конструкций сверл (под специальным сверлом здесь подразумевается инструмент, состоящий из рабочей части со сменной твердосплавной головкой) [1], а также условием для выбора инструмента с целью увеличения диаметра отверстия при его высокоскоростной обработке.

Для того, чтобы инструмент для ВСО вошел в зону обработки отверстия, необходимо, чтобы его диаметр соответствовал условию [2]:

$$D_{\phi} = D_o / 2 = 38 / 2 = 19 \text{ мм.}$$

Однако при выборе фрезы, необходимо учесть радиус при вершине режущей пластины [1].

Для рассматриваемого примера в соответствии с каталогом [1] выбрана концевая фреза 2F342-2000-200-PC 1730, диаметр которой максимально близок к расчетному: $D_{\phi} = 20 \text{ мм}$, число эффективных периферийных режущих кромок $z = 5$, максимальная глубина резания в продольном направлении $a_p = 42 \text{ мм}$, максимальная частота вращения $n_{max} = 11700 \text{ мин}^{-1}$.

Материал инструмента – 1730, его основа – HC , покрытие – $PVD AlCrN$. В конструкции фрезы предусмотрены режущие кромки не только на периферии рабочей части, но и на его торце. Благодаря этому формирование дна ступени осуществляется без смены инструмента при чистовой обработке. Вместе с тем, при окончательном формировании отверстия в первую очередь осуществляется обработка дна, а затем стенки.

Частота вращения шпинделя для обработки выбирается исходя из рекомендуемых параметров при ВСО фрезерованием $n_{чист} = 9500 \text{ мин}^{-1}$, а охлаждение – масляный туман с обдувом воздушной струей под давлением. Согласно работе [2], обработка при вышеприведенных условиях осуществляется без вибраций и дробления, что позволяет получить высокое качество формируемой поверхности. Масляный туман помогает скользить стружке по режущей кромке без теплообмена, в то время как обдув способствует быстрому удалению стружки из зоны резания, поскольку, именно

в стружке осуществляется максимальная концентрация тепла. Тогда частота вращения для чистовой обработки принимается, исходя из значения максимально возможной частоты вращения инструмента: $n_{\text{чист}} = 11700 \text{ мин}^{-1}$, учитывая, что максимальная частота вращения ускорительной головки $n_{\text{max}} = 16000 \text{ мин}^{-1}$. Глубина резания при фрезеровании ВСО отверстия на сторону за один рабочий ход $t_e = 10\% \cdot D_\phi = 2 \text{ мм}$, а на диаметр $- 2 \cdot t_e = 4 \text{ мм}$. Глубина фрезерования в осевом направлении для круговой интерполяции $l_{\text{ра}} = 30 \text{ мм}$ [1], для винтовой – шаг $h = 30 \text{ мм}$ [1]. Количество рабочих ходов в осевом направлении для круговой и винтовой интерполяции – 1.

С учетом всех возможностей современной высокоскоростной обработки [2–3] были определены оптимальные режимы резания (табл. 1).

Таблица 1 – Оптимальные режимы резания отверстия $D = 70 \text{ мм}$, $L = 30 \text{ мм}$

Название параметра	Черновой рабочий ход	Чистовой рабочий ход
Скорость резания, V (м/мин)	596,6	734,76
Подача на зуб, F_z (мм)	0,2	0,1
Частота вращения шпинделя, n (мин ⁻¹)	9500	11700
Минутная подача на обрабатываемом диаметре, S_M , мм/мин	9500	5850
Минутная подача у центра инструмента, $S_{\text{ЦМ}}$, мм/мин	6706	4179
Глубина фрезерования в радиальном направлении (на сторону), a_e , мм	2	1
Количество рабочих ходов, в радиальном направлении	8	1
Старт обработанного диаметра, D_n	38	68
Конец обработанного диаметра, D_k	68	70
Мощность резания, P (кВт)	1,25	0,94

При определении основного времени и работы для указанных методов использовались данные таблицы 1.

В таблицах 2 и 3 N – количество витков при винтовой интерполяции; D_i – диаметр отверстия, полученного на текущем переходе, мм, $i = 1 \dots n$; $D_{\text{пр}}$ – диаметр траектории центра инструмента; $L_{\text{пр}}$ – длина рабочего хода центра инструмента, мм; $T_{\text{пр}}$ – основное время, затраченное на текущем переходе; ΣT_o – сумма основных времен по переходам; $T_{\text{ог}}$ – основное время при винтовой интерполяции, с; A_i – работа, затраченная на обработку перехода, кДж; ΣA – сумма работ по переходам, кДж; A_e – работа при винтовой интерполяции, кДж; g – количество холостых ходов в осевом направлении; $L_{\text{ра}i}$ – длина рабочего хода инструмента в направлении i -й радиальной подачи, мм; $L_{\text{ра}i}$ – длина рабочего хода центра инструмента по i -й окружности, мм; $T_{\text{ок}}$ – основное время при круговой интерполяции, с; A_e – работа при круговой интерполяции, кДж.

Таблица 2 – Основное время T_o и работа A , затрачиваемые при винтовой интерполяции

N	D_i , мм	$D_{\text{пр}}$, мм	$L_{\text{пр}}$, мм	T_o , с	$T_{\text{ог}} = \Sigma T_o$, с	A_i , кДж	$A_e = \Sigma A$, кДж
1	2	3	4	5	6	7	8
1	42	22	75,31	0,674	10,630	0,842	12,576
	46	26	86,98	0,778		0,973	
	50	30	98,86	0,885		1,106	
	54	34	110,89	0,992		1,240	
	58	38	123,03	1,101		1,376	
	62	42	135,25	1,210		1,513	
	66	46	147,52	1,320		1,650	

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
	68	48	153,68	1,375		1,719	
	70	50	159,84	2,295		2,157	

Таблица 3 – Основное время T_o и работа A , затрачиваемые при круговой интерполяции

g	$L_{p.p.L}$, мм	D_i , мм	$D_{цл}$, мм	L_{pkl} , мм	T_{oi} , с	$T_{ок} = \sum T_o$, с	A_i , кДж	$A_k = \sum A$, кДж
1	11	42	22	69,08	0,985	14,506	1,231	17,189
	13	46	26	81,64	1,115		1,394	
	15	50	30	94,2	1,245		1,557	
	17	54	34	106,76	1,376		1,720	
	19	58	38	119,32	1,506		1,883	
	21	62	42	131,88	1,636		2,045	
	23	66	46	144,44	1,767		2,208	
	24	68	48	150,72	1,832		2,290	
	25	70	50	157	3,044		2,861	

Обработка дна отверстия как при винтовой, так и при круговой интерполяции осуществляется по одной и той же схеме и имеет одинаковые затраты основного времени T_o и работы A , которые представлены в таблице 4, где $L_{p.e}$ – длина рабочего хода инструмента за 1 виток, мм; L_p – длина рабочего хода фрезы при обработке дна отверстия, мм.

Таблица 4 – Основное время T_o и работа A , затрачиваемые при обработке дна отверстия

$L_{p.e}$, мм	L_p , мм	T_o , с	A , кДж
22,93	183,4	2,351	2,21

В результате, суммарное основное время для винтовой интерполяции составило $T_{ок} = 10,630$ с, для круговой – $T_{ок} = 14,506$ с; суммарная работа, соответственно – $A_s = 12,576$ кДж, $A_k = 17,189$ кДж.

Исходя из полученных значений T_o и A , использование метода винтовой интерполяции при высокоскоростной обработке отверстия с $D_o = 38$ мм до $D = 70$ мм, и длиной $L = 30$ мм эффективнее, чем при круговой.

Представленный в данной работе пример может быть использован при исследовании классических и новых современных вариантов обработки ступенчатых отверстий с целью создания теоретических основ структурной оптимизации их формирования.

Список использованных источников

1. Каталог SANDVIK COROMANT [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.sandvik.coromant.com.ru>. – Дата доступа: 19.01.23.
2. Оленин, Л. Д. О некоторых особенностях фрезерования в режиме высокоскоростной обработки (ВСО) / Л. Д. Оленин, Д. И. Очечкин. – Москва: 2014. – № 3 (21). – 25–31 с.
3. Латыпов, А. И. Особенности высокоскоростного фрезерования отверстий / Латыпов, А. И. // 54-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: материалы конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 109