

упрочнения, следует вести обработку при углах  $\varphi_y = 16...30^\circ$  и  $\beta_y = 12,5...24^\circ$  с подачами  $s = 0,2...0,6$  мм/об при скоростях резания  $v = 5...6$  м/с.

Таким образом, с помощью полученной математической модели, варьируя режимами резания и углами установки ротационного инструмента, можно прогнозировать и обоснованно управлять процессом упрочнения поверхностного слоя растачиваемых деталей в желаемом направлении.

УДК 621.91

Ю.А.НОВОСЕЛОВ, канд. техн. наук (ГПИ),  
Н.Н.ПОПОК (НПИ)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФРЕЗОТочЕНИЯ

Технологические возможности процесса фрезоточения в значительной мере определяются правильным выбором соотношения скоростей вращения инструмента и заготовки, конструктивных и других параметров инструмента, обеспечивающих получение цилиндрической поверхности детали без выступов.

Для решения этой задачи рассмотрим схему срезания с поверхности детали выступов, образующихся за счет прерывистости режущей кромки принудительно вращающегося инструмента (рис. 1). В случае обработки инструментом с шириной режущих зубьев  $B$ , больше расстояния между зубьями  $C$  (рис. 1, а), при повороте заготовки на один оборот инструмент должен повернуться на величину, равную целому числу  $Z_1$  угловых шагов между зубьями инструмента, плюс половина шага, т.е. на величину  $t_{окр} (Z_1 + 1/2)$ . Тогда режущая кромка обязательно перекроет оставшийся на поверхности резания выступ с одинаковым вылетом в обе стороны от него. За  $n$  оборотов в минуту заготовки инструмент сделает  $n_T$  оборотов, т.е.

$$n_T = \frac{nt_{окр}}{\pi d} (Z_1 + \frac{1}{2}) = \frac{n}{Z} (Z_1 + \frac{1}{2}), \quad (1)$$

где  $n$ ,  $n_T$  — соответственно частота вращения заготовки и инструмента;  $d$ ,  $t_{окр}$ ,  $Z$  — соответственно диаметр, окружной шаг и число зубьев инструмента;  $Z_1$  — число выступов и канавок на продольной развертке поверхности резания за один оборот заготовки.

В более общем случае (рис. 1, б), когда расстояние между зубьями по дуге окружности режущей кромки  $C$  больше ширины кромки  $B$ , зуб инструмента за один оборот должен повернуться на некоторое целое число  $Z_1$  угловых шагов плюс или минус дополнительный доворот, т.е.  $t_{окр} (Z_1 \pm \frac{B - \Delta}{t_{окр}})$ .

За  $n$  оборотов заготовки в минуту инструмент сделает  $n_T$  оборотов, т.е.

$$n_T = \frac{nt_{окр}}{\pi d} (Z_1 \pm \frac{B - \Delta}{t_{окр}}) = \frac{n}{Z} (Z_1 \pm \frac{B - \Delta}{t_{окр}}), \quad (2)$$

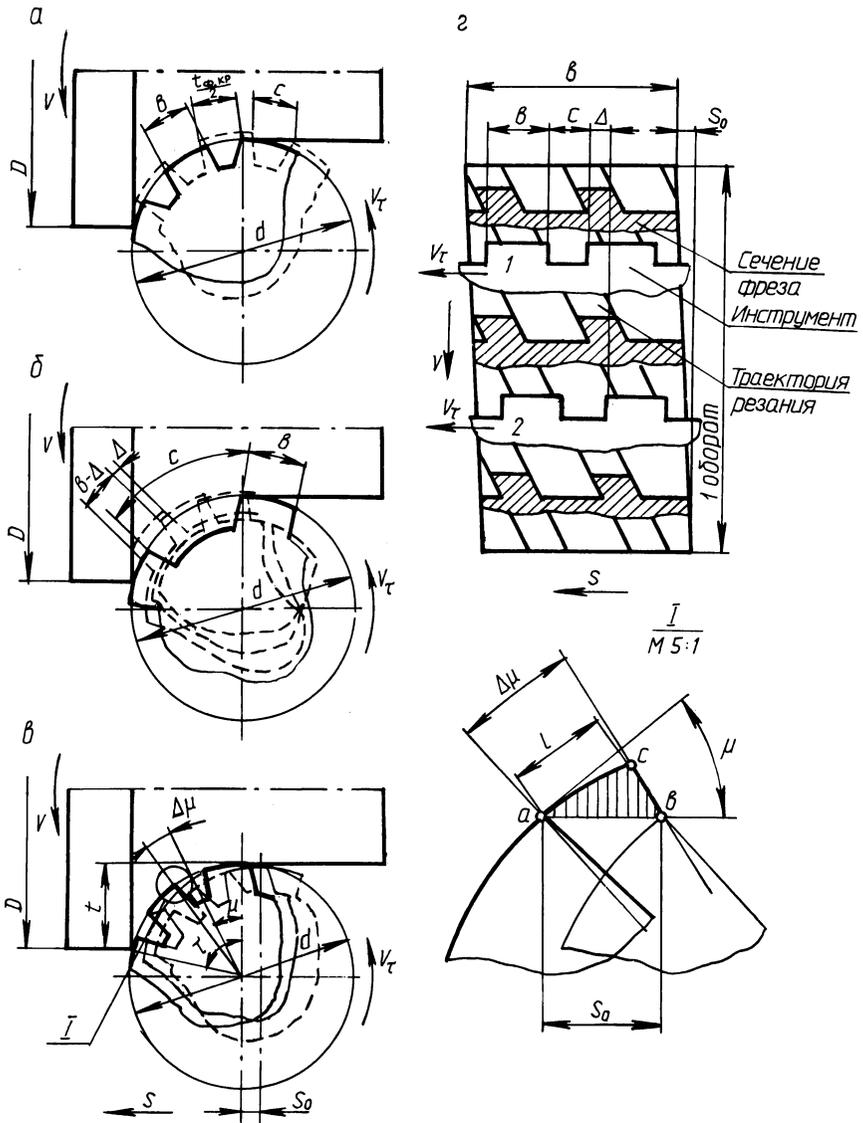


Рис. 1. Схема срезания выступов с поверхности детали

где  $\Delta$  – величина гарантийного перекрытия режущих кромок, назначаемая произвольно;  $B$  – ширина зуба инструмента.

Приняв в этом выражении  $K = \frac{t_{окр}}{B - \Delta}$ , получим общую форму для определения  $n_T$ :

$$n_T = \frac{n}{Z} \left( Z_1 \pm \frac{1}{K} \right), \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент, характеризующий количество положений режущей кромки в пределах одного окружного шага инструмента или количество оборотов, совершаемых заготовкой за время срезания с поверхности резания участка шириной, равной окружному шагу зубьев.

Все предыдущие рассуждения и выведенная формула (3) предполагают, что имеет место только вращательное движение инструмента без перемещения его вдоль оси заготовки. Если инструменту сообщить движение продольной подачи, то необходимое перекрытие режущих кромок, назначенное ранее, кажется в определенной мере нарушенным.

При наличии подачи инструмент смещается в направлении  $s$ , в результате чего контур режущей части оказывается повернутым относительно контура, изображенного на рис. 1, в тонкими линиями, на некоторую величину  $l$  по дуге окружности в сторону роста угла поворота  $\mu$ :  $l = s_0 \cos \mu$ . Для компенсации указанного смещения режущих кромок по дуге окружности инструмента, вызванного продольной подачей, необходимо инструмент доворачивать на некоторый угол  $\Delta\mu$  в сторону, противоположную его вращению:  $\Delta\mu = 360^\circ s_0 x \times \cos \mu / \pi d$ . Практически при равномерном вращении инструмента невозможно сделать такой дополнительный доворот, который зависел бы от положения режущей кромки на дуге контакта. Поэтому найдем среднюю величину доворота на максимальном угле контакта  $\tau$ :

$$l_{\text{cp}} = 0,5s_0 (1 + \cos \tau) = s_0 (1 - t/d);$$

$$\Delta\mu_{\text{cp}} = 0,5 \frac{360^\circ}{\pi} \frac{s_0}{d} (1 + \cos \tau) = \frac{360^\circ}{\pi} \frac{s_0}{d} \left(1 - \frac{t}{d}\right). \quad (4)$$

Величину  $l_{\text{cp}}$  удобнее всего ввести в коэффициент  $K$ , который примет при этом вид

$$K = t_{\text{окр}} / (B - \Delta - l_{\text{cp}}). \quad (5)$$

Суммарный доворот инструмента, учитывающий наличие впадин на режущей кромке и подачи, приводит к гарантированному перекрытию режущих кромок и последовательному срезанию выступов с поверхности резания (рис. 1, г).

Если выражение  $Z_1 \pm 1/k$ , являющееся кинематической характеристикой конкретной схемы резания, примем равным  $m$ , то формула (3) будет выглядеть:

$$n_\tau = nm/Z, \quad n_\tau/n = m/Z. \quad (6)$$

Тогда отношение кинематической характеристики  $m$  к числу зубьев инструмента  $Z$  можно обозначить через  $i$  и считать своеобразным передаточным отношением между главным движением и вращением инструмента, т.е.  $i = m/Z$ . Используя формулу (3), можно окружную скорость вращения режущей кромки выразить через скорость главного движения:

$$v_\tau = mdv/ZD. \quad (7)$$

Для проверки полученных теоретических зависимостей было осуществлено техническое моделирование процесса фрезоточения образцов из парафина, ■

Таблица 1

Заданное перекрытие $\Delta_{зад}$ , мм	Соотношение частот вращения инструмента и заготовки $n_r/n$ при $Z_1$ , равном						Измеренное перекрытие $\Delta_{экс}$ , мм
	0	1	2	3	4	5	
0	0,048	0,111	0,173	0,236	0,298	0,361	0
2,4	0,033	0,096	0,158	0,221	0,283	0,346	2,58
4,8	0,017	0,08	0,142	0,205	0,267	0,33	4,5
7,2	0,001	0,064	0,126	0,189	0,251	0,314	7,43
9,6	0,014	0,049	0,111	0,174	0,236	0,299	9,6

также из сплава баббита Б83 и свинца С2. Опыты проводились на токарно-винторезном станке 16К20 с использованием устройства для привода резца при следующих условиях: диаметр образцов  $D = 100$  мм; параметры инструмента —  $d = 49$  мм,  $Z = 16$ ,  $B = 7,7$  мм,  $\gamma_r = 0$ ,  $\alpha_r = 12^\circ$ ; элементы режима резания —  $s = 0,3$  мм/об,  $t = 1$  мм, соотношение частот вращения инструмента и заготовки  $n_r/n$  устанавливалось путем расчета по формуле (3) при заданных значениях перекрытия  $\Delta$  и параметра  $Z_1$ . Так как обрабатываемый материал пластичный, то он позволял останавливать процесс резания в нужный момент без опасности поломки инструмента. Такая остановка давала возможность зафиксировать канавки и выступы на поверхности резания на предыдущем и текущем поворотах заготовки и производить измерения величины полученного перекрытия от последовательных положений режущих зубьев.

Результаты опытов, приведенные в табл. 1, показывают, что отклонения экспериментальных значений перекрытия  $\Delta_{экс}$  от заданных  $\Delta_{зад}$  не превышают 3...7 %, что свидетельствует о высокой точности полученной формулы (3).

Для определения оптимальных пределов изменения параметров процесса фрезоточения, при которых обеспечивается устойчивое срезание выступов с поверхности детали, была рассчитана по формуле (3) с использованием ЭВМ величина перекрытия  $\Delta$  для различных условий обработки. В качестве примера на рис. 2 приведена графическая интерпретация одного из фрагментов расчета величины  $\Delta$ , выраженного в долях окружного шага инструмента  $t_{окр}$ . Как видно из графиков, с увеличением соотношения  $n_r/n$  величина перекрытия уменьшается от максимального значения, равного окружному шагу  $t_{окр}$ , до нуля. При этом наблюдается периодичность в изменении  $\Delta$  с периодом, определяемым значениями параметра  $Z_1$  ( $Z_1 = 0, 1, 2, \dots, 9$ ). Наибольшее влияние на  $\Delta$  оказывает ширина  $B$  (рис. 2, в) и число  $Z$  (рис. 2, г) зубьев инструмента, а влияние подачи  $S$  (рис. 2, а), глубины резания  $t$  и диаметра инструмента  $d$  (рис. 2, б) незначительно. На эти же графики нанесены данные визуальных наблюдений совпадения (незаштрихованные кружки) и несовпадения (заштрихованные кружки) траекторий движения режущих зубьев, полученные экспериментально при тех же условиях обработки, что и расчетные. Эти данные свидетельствуют о том, что если практически полученные величины перекрытий близки по значениям половине окружного шага  $t_{окр}/2$ , то совпадения траекторий движений режущих зубьев не происходит. В случае, если значения  $\Delta$  близки к  $t_{окр}$  или 0, траектории движений совпадают. Причем совпадение траекторий наблюдалось даже в тех случаях, когда теоретическая величина

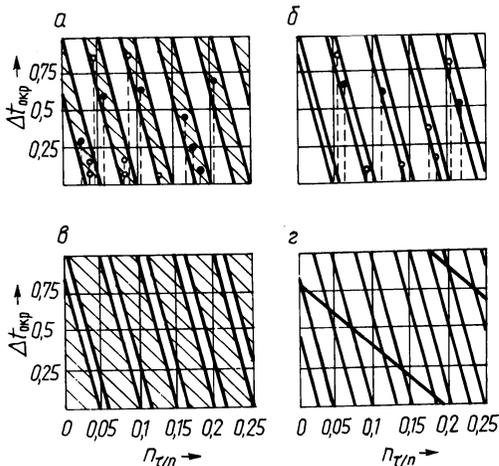


Рис. 2. Графическая интерпретация фрагмента расчета величины перекрытия

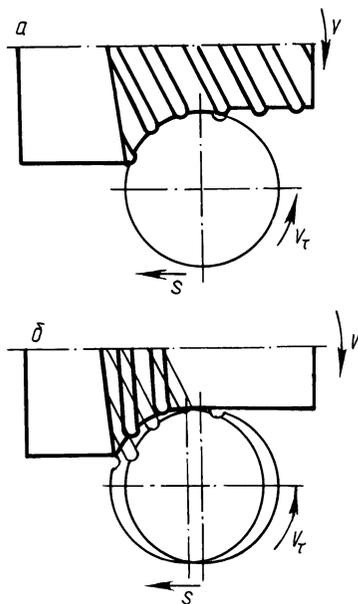


Рис. 3. Схема образования поверхности при фрезоточении

перекрытия казалась достаточной для снятия выступов на поверхности резания. По-видимому, в этом случае сказывалась нестабильность вращения инструмента за счет люфтов в зубчатых зацеплениях устройства для привода инструмента. Когда выступ на поверхности резания приходился не на середину зуба инструмента, а на его край ( $\Delta \neq t_{\text{окр}}/2$ ), происходили срыв и затягивание зуба инструмента в ранее выбранную канавку. В результате все последующие зубья инструмента резали по траекториям ранее выбранных канавок и на обработанной поверхности детали получался одно- или многозаходный винтовой выступ (рис. 3, а, б).

Анализ зависимостей перекрытия от параметров резания показывает, что положительный эффект в виде устранения выступов с поверхности резания может быть достигнут не только путем ступенчатого подбора соотношений  $n_т/п$ , соответствующих оптимальным значениям  $\Delta$ , но и осуществлением движений инструмента и заготовки с переменным в процессе резания передаточным отношением скоростей  $i$  между ними. В этом случае направления винтовых выступов на поверхности резания от предыдущих проходов не совпадают с траекториями перемещений режущих зубьев при последующих проходах и тем самым обеспечивается устойчивое срезание выступов с поверхности резания. Аналогичный эффект может быть достигнут при соответствующем конструктивном оформлении режущей части инструмента: с неравномерным угловым шагом режущих зубьев, с различной шириной зубьев и т.д.

Таким образом, полученные зависимости для соотношения скоростей вращения инструмента и заготовки позволяют обеспечить устойчивое протекание процесса фрезоточения и формирование цилиндрической поверхности детали без выступов в широком диапазоне изменения параметров обработки.