

Е. С. ВИКСМАН

ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА НЕВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЯХ МЕТОДОМ ОХВАТЫВАЮЩЕГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

При охватывающем фрезеровании наружная поверхность тела вращения обрабатывается полый фрезой. Эта фреза представляет собой резцовую головку, в которой закреплены резцы, оснащенные пластинками твердого сплава. Если изготовление цельной полый фрезы и ее переточка являются очень трудоемкими процессами, то изготовление, переточка и установка резцов в охватывающей головке просты, общедоступны и могут быть выполнены с большой точностью. Этот метод фрезерования широко используется при так называемом вихревом нарезании резьбы и может найти применение для обработки гладких поверхностей вращения.

До сих пор в известной нам литературе рассматривались только такие схемы охватывающего фрезерования, при которых детали сообщается движение круговой подачи. По этим схемам (рис. 1) резцовой головке (полый фрезе) сообщается быстрое вращательное движение, являющееся главным рабочим движением резания. Скорость этого движения приблизительно может быть принята за скорость резания и определяется формулой

$$V = \frac{\pi d_p n_p}{1000} \text{ м/мин}, \quad (1)$$

где d_p — диаметр окружности вершин резцов (в мм);
 n_p — число оборотов резцовой головки в минуту.

Изделию сообщается движение круговой подачи. Направление движения круговой подачи может идти в сторону, противоположную направлению вращения резцов (встречная подача) или может совпадать с ним (попутная подача).

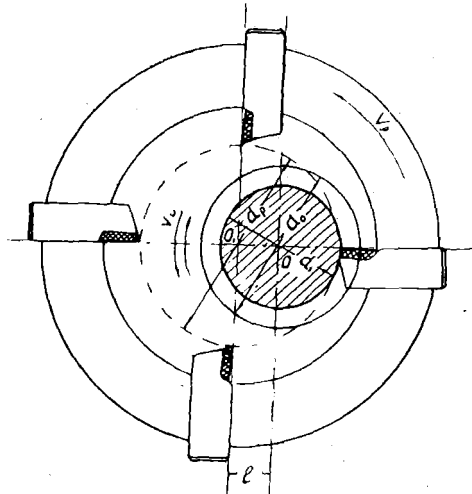


Рис. 1. Схема охватывающего фрезерования при вращающейся детали.

Скорость движения круговой подачи определяется по формуле

$$V_n = \frac{\pi d_0 n_n}{1000} \text{ м/мин}, \quad (2)$$

где d_0 — наружный диаметр изделия (в мм);

n_n — число оборотов изделия в минуту.

Подача на резец (зуб фрезы) подсчитывается по формуле

$$s_z = \frac{\pi d_0 n_n}{n_p z} \text{ мм}, \quad (3)$$

где s_z — подача на резец (зуб фрезы) (в мм);

z — число резцов (зубьев фрезы) в резцовой головке.

Центр окружности вершин резцов (ось фрезы) смещается относительно оси изделия. Величина этого смещения (эксцентриситета)

$$e = \frac{d_p}{2} - \frac{d_1}{2} = \frac{d_p}{2} - \left(\frac{d_0}{2} - t \right), \quad (4)$$

где e — эксцентриситет (в мм);

d_1 — диаметр обработанной поверхности (в мм);

t — глубина резания (припуск на проход) (в мм).

Благодаря наличию эксцентриситета процесс резания является прерывистым, иначе говоря, резец (зуб фрезы) только на некоторой части своей траектории находится в контакте с изделием.

Движение продольной подачи сообщается резцовой головке, закрепленной на шпинделе приспособления.

Настоящая статья не ставит целью всесторонне рассмотреть процесс охватывающего фрезерования.

Предполагается только выяснить возможность его применения для обработки поверхностей невращающихся деталей и некоторые связанные с этим вопросы.

Прежде всего представляется целесообразным рассмотреть вопрос о возможных случаях рационального применения метода охватывающего фрезерования.

Этот метод широко применяется и оправдал себя при нарезании различных резьб. Во многих случаях он может найти применение и при обработке гладких поверхностей.

Известно, что каждый метод обработки имеет свои преимущества и недостатки и определенную область наиболее рационального применения. Нельзя шаблонно рекомендовать какой-либо метод обработки для всех случаев или полностью отвергать его. В каждом конкретном случае необходимо учитывать конфигурацию и размеры обрабатываемой детали, требуемые точность и чистоту поверхности, условия работы инструмента, конкретные производственные условия и многие другие факторы.

Охватывающее фрезерование является новым методом обработки и для гладких поверхностей почти не применяется. Оно слабо изучено, и практический опыт его применения мал.

Поэтому нужно особенно осторожно и тщательно подходить к решению вопроса о целесообразности использования этого метода. В некоторых опубликованных работах [1], [2], [3] высказываются противоположные мнения по вопросу о целесообразности применения охватывающего

фрезерования для обработки тел вращения. С. А. Розенберг [2, 3] рекомендует этот метод как универсальный, а Ф. А. Барбашов [1] по сути дела отвергает его. Первый автор не учитывает недостатки метода, а второй — достоинства.

При сравнении производительности охватывающего фрезерования и точения Ф. А. Барбашов принимает условие, что режущие способности резца, работающего отдельно, и такого же резца, закрепленного в корпусе фрезы, одинаковы, и в обоих случаях при прочих равных условиях скорость резания одинакова.

Между тем, очевидно, что условия работы резцов в этих случаях совершенно различны и при одинаковой стойкости и критерии затупления скорости будут различными.

Органический недостаток этого метода обработки заключается в том, что поверхность детали получается волнообразной, что однако не может служить препятствием для применения этого метода.

Высота волн на обработанной поверхности определяется по формуле

$$h = e \cos \frac{\varphi}{2} + \sqrt{r_p^2 - e^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}} - r_1, \quad (5)$$

где h — высота волн на обработанной поверхности (в мм);
 e — эксцентриситет между осью детали и осью фрезы (в мм);
 r_p — радиус окружности вершин резцов (в мм);
 r_1 — радиус обработанной поверхности;
 φ — угол подачи в градусах.

Величина угла φ определяется по формуле

$$\varphi = \frac{360 s_z \cdot z}{\pi d_0}. \quad (6)$$

В таблице 1 приводятся подсчитанные по формуле (5) значения высот волн на обработанной поверхности для различных глубин резания, диаметров, круговых подач и эксцентриситетов.

Из данных таблицы 1 видно, что при увеличении эксцентриситета возрастает высота волн на обработанной поверхности, но это увеличение происходит медленнее, чем растет эксцентриситет. Увеличение глубины резания вызывает незначительный рост высоты волн. Это увеличение высоты волн фактически происходит не за счет глубины резания, а за счет увеличения эксцентриситета, так как отношение $\frac{d_p}{d_0}$ принято постоянным.

Если принять постоянным отношение $\frac{d_p}{d_0}$, т. е. эксцентриситет, то глубина резания не будет оказывать влияния на высоту волн.

При увеличении диаметра обрабатываемой детали высота волн значительно уменьшается.

Увеличение круговой подачи сопровождается резким увеличением высоты волн. Так как производительность процесса зависит от величины круговой подачи, то желательно работать с возможно большими подачами. Путем рационального подбора величин эксцентриситета и круговой подачи для различных диаметров обрабатываемых деталей можно получить небольшую высоту волн даже при значительных величинах круговых подач.

Эти данные и подсчитанные в таблице для некоторых случаев значе-

Таблица 1

Высота волн на обработанной поверхности

Диаметр детали до обработки d_0 (в мм)	Глубина резания t (в мм)	Круговая подача s_z (в мм/об)	Эксцентриситет e (в мм)	$\frac{d_p}{d_0}$	Высота волн h (в микронах)
36	1,75	1	4,45	1,15	1,20
36	3,5	1	6,20	1,15	1,40
36	5,5	1	8,20	1,15	1,66
64	0,65	1	5,45	1,15	0,70
64	1,0	1	5,77	1,15	0,72
64	1,3	1	6,10	1,15	0,73
64	1,95	1	6,75	1,15	0,81
64	2,6	1	7,40	1,15	0,90
64	3,9	1	8,7	1,15	1,00
64	3,9	1	8,70	1,15	1,00
72	3,9	1	9,30	1,15	0,93
100	3,9	1	11,40	1,15	0,57
150	3,9	1	15,15	1,15	0,30
200	3,9	1	18,90	1,15	0,19
36	1,3	0,4	4,0	1,15	0,19
36	1,3	0,8	4,0	1,15	0,73
36	1,3	1,2	4,0	1,15	1,81
36	1,3	1,4	4,0	1,15	2,42
36	1,3	1,8	4,0	1,15	4,02
36	1,3	2,0	4,0	1,15	4,96
64	3,9	1	5,5	1,05	0,55
64	3,9	1	8,7	1,15	1,00
64	3,9	1	13,5	1,3	1,08
64	3,9	1	19,9	1,5	1,48
64	3,9	1	26,4	1,7	1,62
64	3,9	1	35,9	2,0	1,80

ния высот волн показывают, что высота волн весьма незначительна, она соответствует чистоте поверхности 6 ÷ 8 классов ГОСТ 2789—51 и не может служить препятствием для применения метода охватывающего фрезерования.

Весьма различны взгляды на производительность охватывающего фрезерования.

Ф. А. Барбашов пишет (1), что С. А. Розенберг без всяких доказательств приводит ошибочную формулу для определения объема стружки, снимаемой в единицу времени

$$Q_0 = \frac{1000}{2\pi} V_p \cdot s_0 \cdot a_{cp} \cdot z \cdot \omega_2 \text{ мм}^3/\text{мин}, \quad (7)$$

где V_p — скорость резания (фрезы) (в м/мин);

s_0 — продольная подача (в мм/об);

a_{cp} — средняя толщина среза (в мм/зуб);

z — число зубьев фрезы;

ω_2 — угол контакта.

В действительности же объем стружки, снимаемой в единицу времени, выразится так:

$$Q_0 = s_m \cdot t \cdot \pi d'_{изд} \text{ мм}^3/\text{мин}, \quad (8)$$

где s_m — минутная подача (в мм);

t — глубина резания (в мм);

$$d'_{изд} = d_0 - \frac{t}{2}.$$

Если в последнюю формулу для Q подставить

$$s_m = s_0 \cdot n_u$$

и

$$n_u = \frac{1000 V_u}{\pi d'_{изд}},$$

то получим

$$Q_0 = C \cdot V_u \cdot s_0 \cdot t \text{ мм}^3/\text{мин}. \quad (9)$$

Из этой формулы следует, что Q линейно зависит от скорости изделия V_u , (а не фрезы, как полагает С. А. Розенберг), подачи на оборот изделия s_0 и глубины резания.

Ф. А. Барбашов считает, что поскольку формула С. А. Розенберга является ошибочной, то все выводы, расчеты и графические построения, основанные на этой формуле с целью сравнения производительности по машинному времени охватывающего фрезерования и точения, также ошибочны.

Внимательное рассмотрение формул С. А. Розенберга и Ф. А. Барбашова показывает, что между ними нет принципиальной разницы.

Действительно, если в формуле (8) заменить s_m через

$$s_m = s_0 \cdot n_u,$$

то получим

$$Q = s_0 \cdot t \cdot \pi d'_{изд} \cdot n_u.$$

В последней формуле произведение $s_0 \cdot t$ есть площадь сечения среза f , а произведение $\pi d'_{изд} \cdot n_u$ — длина среза L . Таким образом, объем снятой за минуту стружки выразится формулой

$$Q = f \cdot L \text{ мм}^3/\text{мин}. \quad (10)$$

При охватывающем фрезеровании процесс резания прерывистый. Количество стружек k , снятых за одну минуту, определяется формулой

$$k = n_p \cdot z,$$

где n_p — число оборотов фрезы (резцовой головки) (в мин);
 z — число зубьев (резцов) фрезы.

Длина каждой недеформированной стружки l с достаточной точностью будет

$$l = \frac{d_p}{2} \omega_2,$$

где d_p — диаметр фрезы (окружности вершин резцов) (в мм).

Суммарная длина всех стружек, снятых за одну минуту, определится выражением

$$L = l \cdot k,$$

или

$$L = \frac{d_p}{2} \omega_2 n_p \cdot z.$$

Если в этом выражении заменить n_p через его значение

$$n_p = \frac{1000 V_p}{\pi d_p},$$

то получим

$$L = \frac{1000}{2\pi} V_p z \cdot \omega_2.$$

Средняя площадь сечения каждой стружки f_{cp} будет равна произведению осевой подачи на оборот изделия s_0 на среднюю толщину стружки a_{cp} :

$$f = s_0 \cdot a_{cp}.$$

Объем металла, снятого за одну минуту, равен произведению суммарной длины всех снятых за это время стружек L на среднюю площадь стружки f_{cp} :

$$Q_0 = f_{cp} \cdot L. \quad (11)$$

Заменив в формуле (11), которая аналогична формуле (10), f_{cp} и L через их значения, получим формулу, приведенную С. А. Розенбергом:

$$Q = \frac{1000}{2\pi} V_{cp} \cdot s_0 \cdot a_{cp} \cdot z \cdot \omega_2 \text{ мм}^3/\text{мин.}$$

Таким образом, можно считать установленным, что формулы, приведенные С. А. Розенбергом и Ф. А. Барбашовым, аналогичны.

В формулу, рекомендуемую С. А. Розенбергом, входят величины, характеризующие процесс охватывающего фрезерования, поэтому следует пользоваться именно этой формулой.

Весьма важное достоинство метода охватывающего фрезерования заключается в том, что даже при больших припусках можно производить чистовую обработку детали за один проход, так как при различных припусках получается одинаковая средняя толщина среза. Регулируя толщину среза в зависимости от жесткости системы станок-деталь-инструмент, требуемой точности и чистоты обработки, можно получать небольшие усилия резания и незначительные деформации детали.

Таковы некоторые общие вопросы, связанные с процессом охватывающего фрезерования.

Как указывалось выше, целесообразность применения охватывающего фрезерования должна рассматриваться конкретно для различных деталей и условий работы. В связи с этим необходимо отметить, что обработка длинных, маложестких и плохо сбалансированных деталей на токарных станках связана со значительными трудностями. Такие детали нельзя быстро вращать, и производительность станка ограничивается не режущими способностями инструмента, а возникающими в процессе резания вибрациями, ударами и деформациями детали. В таких случаях можно использовать преимущество охватывающего фрезерования, при котором деталь совершает относительно медленное движение круговой подачи, и усилия резания невелики. При этом можно значительно уменьшить влияние неуравновешенности детали и, полностью используя режущие способности инструмента, повысить производительность и точность обработки.

Большое практическое значение имеет применение охватывающего фрезерования для обработки поверхностей вращения на невращающихся деталях.

Некоторые детали даже при медленном вращении для движения круговой подачи не удается обработать с высокой степенью точности. Например, при обработке с высокой точностью и чистотой поверхности шейки длинной, несбалансированной и маложесткой балки обычная технология обработки заключается в обточке и последующей шлифовке шеек. Так как при обточке балку быстро вращать нельзя, то производительность станка низкая. При шлифовании, даже от усилий зажима в центрах, деталь прогибается, и шлифование не дает нужных результатов. Такую деталь и при обычной схеме охватывающего фрезерования, когда она совершает движение круговой подачи, обработать с высокой точностью трудно.

В машиностроении довольно часто встречаются случаи, когда обрабатываемую деталь вращать затруднительно или вообще невозможно. Для обработки таких деталей может быть использована схема охватывающего фрезерования, при которой шпинделю приспособления одновременно сообщаются главное рабочее движение резания и планетарное движение круговой подачи. Движение подачи вдоль оси изделия может сообщаться либо всему приспособлению, либо шпинделю.

Схема рабочих движений построенного на этом принципе приспособления показана на рис. 2. В процессе резания деталь остается неподвижной. Шпиндель с резцовой головкой быстро вращается и одновременно с этим ось шпинделя O_1 совершает вращательное движение круговой по-

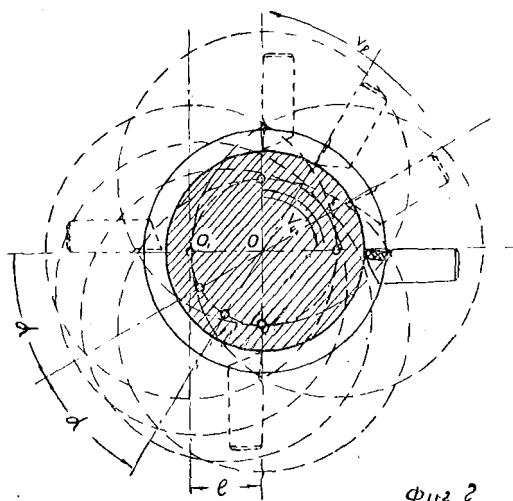


Рис. 2. Схема охватывающего фрезерования при невращающейся детали.

дачи вокруг оси детали O . За каждый оборот шпинделя его ось поворачивается вокруг оси детали на угол подачи φ . На рис. 2 показан ряд положений оси шпинделя, траектории вершин резцов и самих резцов в процессе обработки цилиндрической поверхности. И в этом случае круговая подача может быть встречной или попутной.

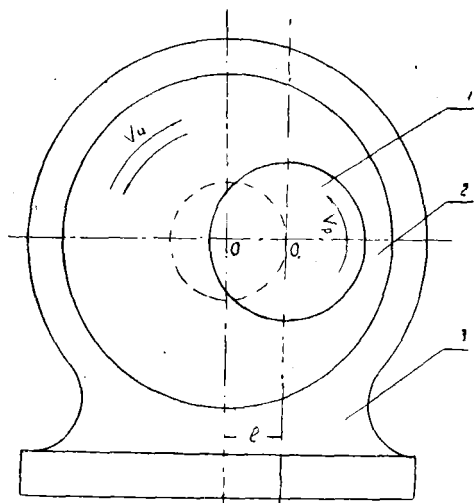


Рис. 3. Схема приспособления с эксцентричной втулкой.

При наличии одной эксцентричной втулки величина эксцентриситета e всегда остается постоянной. Поэтому более целесообразно применять приспособления с двумя эксцентричными втулками (рис. 4). В этом случае, путем поворота внутренней эксцентричной втулки относительно наружной втулки, расстояние e между осью шпинделя O_1 и осью детали O , которая совпадает с осью внешней эксцентричной втулки, может быть изменено от максимальной величины эксцентриситета e до нуля. Это позволяет выбирать оптимальную величину эксцентриситета, производить точную подналадку для получения нужного диаметра изделия при относительно грубой установке резцов, обрабатывать в определенном интервале диаметров наружные поверхности при постоянном диаметре окружности вершин резцов.

Предлагаемая схема охватывающего фрезерования может оказаться весьма эффективной при проточке и нарезании резьбы на длинных трубах. В легком и простом приспособлении можно сосредоточить все необходимые для этого движения и механизировать процесс нарезания резьб (в том числе и конических) в тех случаях, когда соответствующие станки отсутствуют или их применение нецелесообразно,

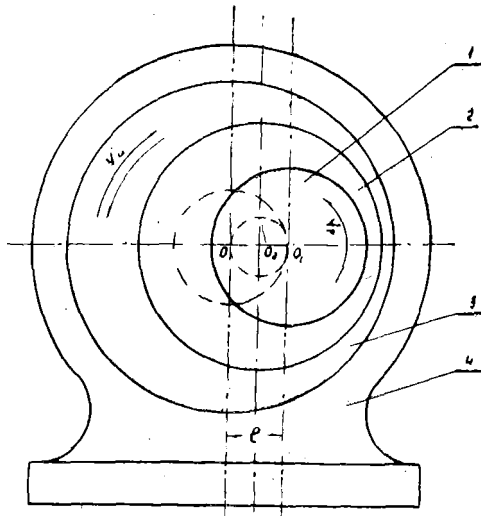


Рис. 4. Схема приспособления с двумя эксцентричными втулками.

ВЫВОДЫ

1. Метод охватывающего фрезерования можно применять для обработки поверхностей вращения и нарезания резьбы на деталях, которые невозможно или затруднительно вращать.

2. При применении предлагаемой схемы охватывающего фрезерования неуравновешенность детали и ее жесткость не оказывают влияния на производительность процесса и точность обработки.

3. При обработке неуравновешенных, тяжелых и маложестких деталей могут быть полностью использованы режущие способности инструмента.

4. При любой величине припуска обработка ведется за один проход и благодаря небольшим усилиям и большой скорости резания обеспечивается высокая точность и хорошая чистота поверхности детали.

5. Процесс нарезания резьбы на трубах можно механизировать в условиях, когда применение станков невозможно или нецелесообразно (строительство, бурение в полевых условиях и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбашов Ф. А. О производительности охватывающего фрезерования, «Станки и инструмент» № 9, 1951.

2. Розенберг С. А. Охватывающее фрезерование — новый метод обработки тел вращения, «Станки и инструмент» № 1, 1950.

3. Розенберг С. А. Охватывающее фрезерование, ЦБТИ, М., 1950.