

УДК. 621.99

В.А. ГРЕЧИШНИКОВ, С.А. МАХРОВ, Н.А. УВАРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА С ПЛАНЕТАРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Рассматриваются вопросы, касающиеся определения величины изменений геометрических параметров режущей части комбинированного инструмента с планетарным движением. Последний предназначен для комбинированной обработки цилиндрического отверстия (сверление), фаски (зенкерование) и резьбы (резьбофрезерование).

Конструкция и принцип работы инструмента

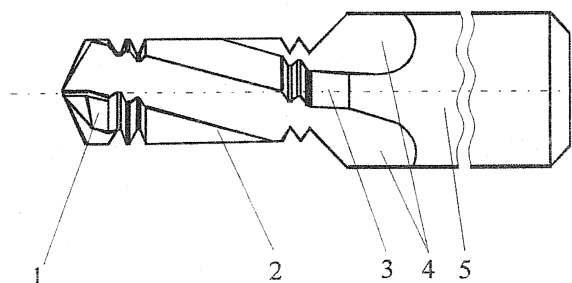


Рис.1. Комбинированный инструмент для получения резьбовых отверстий: 1 – передняя часть; 2 – резьбообразующая часть; 3 – коническая часть; 4 – стружечные канавки; 5 – хвостовик

Для получения глухих резьбовых отверстий в сплошном материале традиционно используют сверла, зенковки и метчики. Такая технология требует не только большого количества инструментов, но и больших затрат времени на изготовление одного отверстия. В этой связи на кафедре «Инструментальная техника и компьютерное моделирование» МГТУ «СТАНКИН» ведется работа по созданию для этих целей комбинированного инструмента, не имеющего указанных недостатков.

Такой инструмент формирует отверстие за один рабочий цикл и в своей конструкции объединяет три указанных выше инструмента. Один из вариантов исполнения комбинированного инструмента представлен на рис.1. Здесь торец передней части инструмента выполнен подобно торцу сверла, так как его функцией является формирование отверстия под последующее нарезание резьбы. Периферия передней части имеет зубья как у острозаточенной фрезы.

Резьбообразующая часть имеет затылование по профилю зуба. Одновременно с формированием передней частью инструмента выточки в отверстии она формирует профиль резьбы на всей ее длине.

Между резьбообразующей частью и хвостовиком находится часть инструмента, выполненная как коническая зенковка, функцией которой является формирование фаски на входе в отверстие.

Винтовые стружечные канавки - общие для передней, резьбообразующей и конической частей. Таким образом, конструкция такого инструмента объединяет в себе сверло, резьбовую фрезу и коническую зенковку.

Достоинство комбинированного инструмента заключается в уменьшении основного технологического времени, увеличении точности обработки и экономии инструментов. Его можно применять для

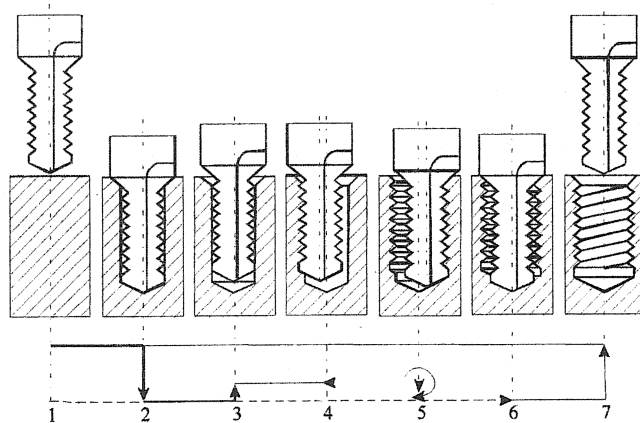


Рис.2. Последовательность обработки отверстия комбинированным инструментом

изготовления резьб в пластмассах и алюминиевых сплавах.

На рис.2 представлена последовательность обработки резьбового отверстия комбинированным инструментом.

1. Инструмент в исходном положении.
2. Сверление (рассверливание) сердцевины резьбового отверстия передней частью инструмента при одновременном изготовлении зенковкой фаски на входе в отверстие.
3. Обратный ход инструмента на величину, как минимум, шага резьбы.
4. Радиальная подача до номинального диаметра резьбы.
5. Изготовление всей длины резьбы винтовым фрезерованием спирали с диаметром, равном номинальному диаметру резьбы.
6. Радиальное перемещение инструмента в центр отверстия.
7. Обратный ускоренный ход из готового отверстия.

Определение углов на режущей части инструмента

При работе инструмента углы на его режущих частях подвержены значительным изменениям. Это происходит вследствие непостоянства абсолютных величин векторов скоростей и их направлений, вызванных сложным движением инструмента.

Как известно, задний угол предназначен для устранения трения задней поверхности зуба о поверхность резания. При малом значении этого угла (статический задний угол) его истинное значение (кинематический задний угол) в определенный момент работы инструмента может снизиться до нулевого или даже до отрицательного значения, что может повлечь за собой превращение процесса резания в процесс пластического деформирования.

Передний угол предназначен для уменьшения нагрузки на режущую кромку в процессе резания. Он выбирается в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и характеристики материала инструмента.

Некорректный выбор переднего и заднего углов может привести к значительному увеличению сил, действующих на инструмент, вплоть до его поломки. Особое внимание необходимо уделить определению кинематических задних углов, так как при их отрицательных значениях, как указано выше, процесс резания отсутствует.

Кинематические углы на зубьях резьбообразующей части инструмента

Кинематические задние углы

Зубья резьбообразующей части инструмента выполняются затылованными по профилю. Величина спада затылка по вершинам зубьев K должна обеспечить задний угол при вершине, равным 6° - 8° . Профиль и форма зубьев резьбообразующей части представлены на рис.3.

Резьбообразующая часть инструмента участвует в работе при поперечном врезании инструмента и при планетарном резьбофрезеровании.

В процессе резания кинематические задние углы не должны быть меньше 2° ... 3° . На изменение задних углов при вершине оказывает влияние планетарное движение инструмента. Кинематические углы на боковых сторонах зубьев подвержены еще более значительным изменениям благодаря осевому движению инструмента. Приведенные ниже схемы и формулы для определения кинематических задних углов помогут в анализе этих изменений.

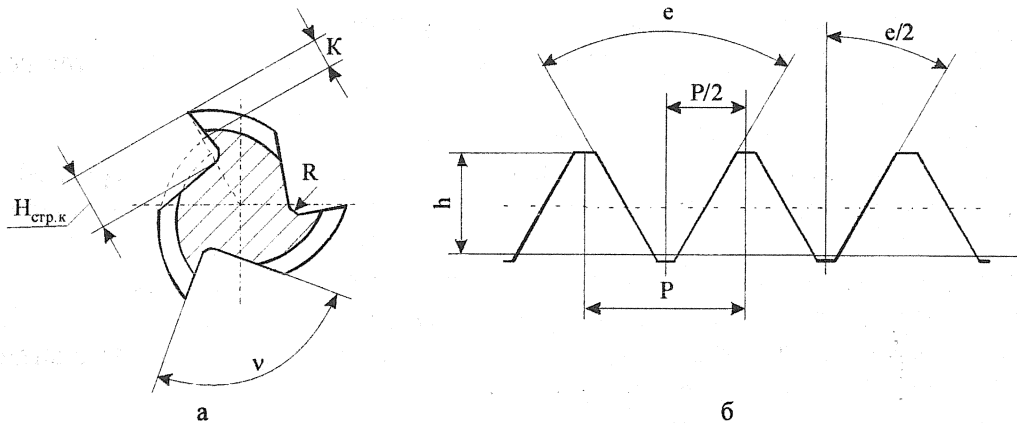


Рис.3. Радиальное сечение резбообразующей части инструмента (а); профиль зубьев (б)

**Поперечное врезание инструмента
(начало резбофрезерования)**

Схема этого процесса для режима «попутного» фрезерования (направление вращения инструмента вокруг своей оси и направление планетарного вращения оси инструмента вокруг оси отверстия совпадают) показана на рис.4.

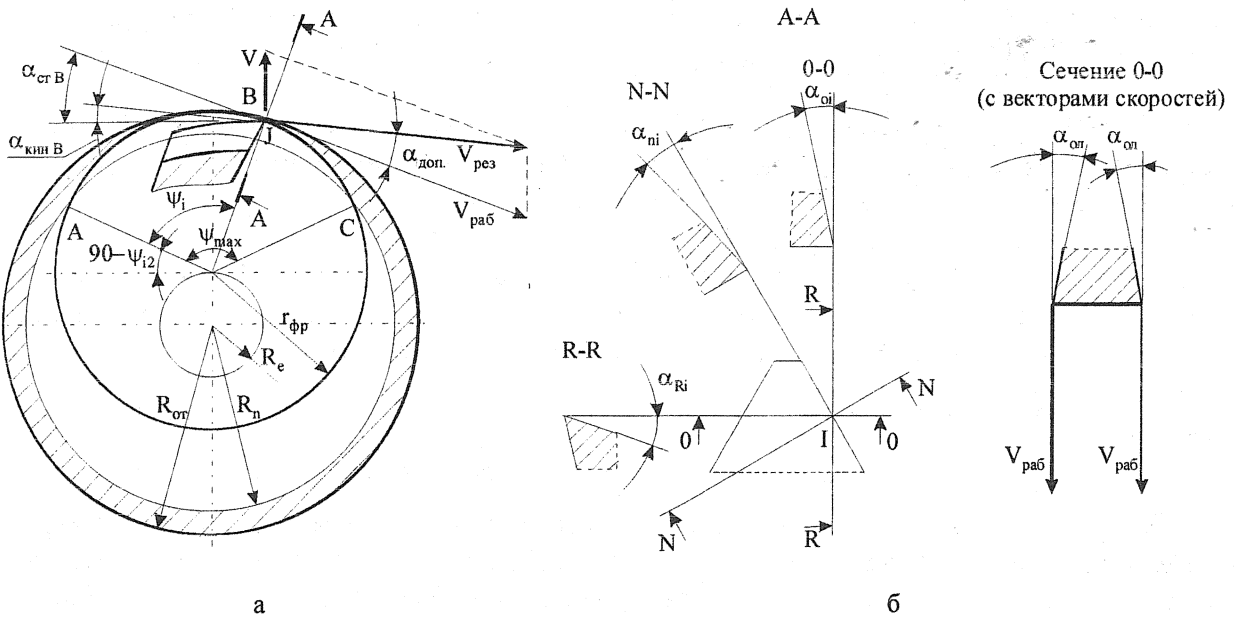


Рис.4. Определение кинематических задних углов на режущих кромках резбообразующей части комбинированного инструмента при радиальном врезании (а); задние углы на боковых сторонах профиля зуба (б)

На этом рисунке главный вид представляет собой сечение плоскостью, перпендикулярной оси обрабатываемого отверстия. В этом сечении изображено положение оси инструмента O_n и положение оси заготовки (отверстия) O_d во время поперечного врезания (крайнее положение). Зона контакта инструмента и заготовки, обозначенная на схеме через угол ψ_{max} , является максимальной зоной контакта при изготовлении резьбы. Поэтому

исследование изменений кинематических углов целесообразно проводить именно для этой зоны. При положении оси инструмента в точке O_n режущая кромка произвольного зуба может находиться в любой точке дуги ABC. При этом из каждой точки этой дуги можно восстановить следующие векторы скоростей движения режущей кромки:

$V_{раб}$ - вектор окружной скорости главного рабочего движения;

$V_{рез}$ - вектор окружной результирующей скорости в плоскости, перпендикулярной к оси инструмента;

V_{so} - вектор скорости радиальной подачи инструмента.

Чтобы не вводить переводных коэффициентов в дальнейшем значения всех линейных размеров будем брать в миллиметрах.

Кинематический задний угол при вершине зуба равен

$$\alpha_{кин.в.} = \alpha_{в.} - \alpha_{доп.в.},$$

где $\alpha_{в.}$ - статический задний угол при вершине;

$\alpha_{доп.в.}$ - дополнительный задний угол (между векторами).

Для режима «попутного фрезерования» величину $\alpha_{доп.в.}$ определим следующим образом.

Исходя из теоремы синусов запишем соотношения сторон треугольника векторов скоростей в произвольной точке j дуги ABC:

$$\frac{\sin \alpha_{доп.в.}}{V_{so}} = \frac{\sin(90^\circ + \psi_{max} / 2 - \psi_j)}{V_{рез}},$$

где ψ_{max} - максимальный угол контакта резцообразующей части инструмента и обрабатываемой поверхности.

Отсюда

$$\alpha_{доп.в.} = \frac{V_{so}}{V_{рез}} \cdot \sin(90^\circ + \psi_{max} / 2 - \psi_j).$$

Угол ψ_j изменяется от 0 до ψ_{max}° .

Для режима «встречного фрезерования» соотношения в треугольнике ABC такие же, но значения угла ψ_j изменяются от ψ_{max}° до 0.

Далее определим величину максимального угла контакта ψ_{max} . Задачу его определения можно решить следующим образом.

Точка C (конечная точка зоны контакта) находится на пересечении окружности диаметра предварительного сверления (соответствует радиусу передней части инструмента $r_{пч}$) и окружности радиуса $r_{фр}$.

Координаты точки C в системе координат $X_n Y_n$

$$\begin{cases} x_n = r_{фр} \cdot \cos(90^\circ - \psi_{j2}) \\ y_n = r_{фр} \cdot \sin(90^\circ - \psi_{j2}). \end{cases}$$

Координаты точки C в системе $X_d Y_d$

$$\begin{cases} x_d = r_{фр} \cdot \sin \psi_{j2} \\ y_d = r_{фр} \cdot \cos \psi_{j2}. \end{cases} \quad (*)$$

Учитывая, что для точки С: $x_d = x_n$, а $y_d = y_n + R_e$, можно записать

$$\begin{aligned}x_{dc} &= r_{фр} \cdot \cos(90^\circ - \psi_{j2}); \\y_{dc} &= R_e + r_{фр} \sin(90^\circ - \psi_{j2}).\end{aligned}$$

Угол ψ_{j2} - определяет положение точки j на дуге ВС, причем свое нулевое значение он имеет в точке В.

При подстановке ряда значений ψ_{j2} в систему (*), начиная от 0, получим координаты точек окружности радиуса $r_{пч}$. Уравнение этой окружности имеет следующий вид

$$r_{пч}^2 = x_d^2 + y_d^2.$$

Для точки С должно выполняться условие

$$r_{пч}^2 = x_{dc}^2 + y_{dc}^2.$$

Значение угла ψ_{j2c} , отвечающее этому условию, будет соответствовать половине максимального угла контакта инструмента и заготовки ψ_{max} . Полная его величина

$$\psi_{max} = 2 \cdot \psi_{j2c}.$$

Абсолютное значение вектора результирующей окружной скорости можно определить по теореме косинусов.

Попутное и встречное фрезерование:

$$V_{рез} = \sqrt{V_{раб}^2 + V_{so}^2 - 2V_{раб} \cdot V_{so} \cdot \cos(90^\circ - \phi_j + \psi_{max} / 2)}, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right].$$

Абсолютное значение векторов скорости главного рабочего движения и скорости поперечного врезания:

$$V_{раб} = \omega r_{фр}, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right];$$

$$V_{so} = \omega S_r, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right],$$

где ω - рабочая частота вращения инструмента, [мин⁻¹];

S_r — величина поперечной (радиальной) подачи инструмента, приходящаяся на один оборот;

$r_{фр}$ - радиус резбообразующей части.

Радиальные задние углы на боковых сторонах зубьев резбообразующей части инструмента определяются по формуле

$$\alpha_i = \arctg\left(\frac{d_{фр}}{d_i} \operatorname{tg}\alpha_b\right).$$

Нормальные к боковым сторонам зубьев задние углы можно определить по формуле

$$\alpha_{ni} = \arctg\left(\frac{d_{фр}}{d_i} \operatorname{tg}\alpha_b\right) \sin \phi_i,$$

где $d_{фр}$ - диаметр резбообразующей части инструмента; d_i - диаметр i -ой точки на боковой

поверхности зуба; α_v - кинематический задний угол при вершине зуба; ϕ_i - угол профиля для i -ой точки.

Процесс резбофрезерования

Схемы на рис.5 соответствуют режимам «попутного» и «встречного» фрезерования (направление вращения инструмента вокруг своей оси и направление планетарного вращения совпадают в первом случае и противоположны во втором).

На этих схемах вид А представляет собой сечение резбообразующей части плоскостью, перпендикулярной к оси отверстия.

Здесь:

$V_{пл}$ - вектор окружной скорости планетарного вращения инструмента (остальные обозначения такие же, как и на схеме для поперечного врезания).

$\alpha_{кин.в.}$ - радиальный кинематический задний угол для вершины зуба:

$$\alpha_{кин.в.} = \alpha_v \pm \alpha_{доп.в.},$$

где α_v - статический задний угол при вершине;

$\alpha_{доп.в.}$ - дополнительный задний угол (между векторами).

Знак «+» - для дуги АВ, а знак «-» - для дуги ВС.

В режиме «попутного фрезерования» режущая кромка инструмента может находиться в любой точке дуги ВС (реально еще и на части дуги АВ). Чтобы определить величину $\alpha_{доп.в.}$ запишем соотношения сторон треугольника векторов скоростей в произвольной точке j дуги ВС:

$$\frac{\sin \alpha_{доп.в.}}{V_{окр.пл}} = \frac{\sin[180^\circ - \alpha_{доп.в.} (\psi_{j2} - \alpha_{доп.в.})]}{V_{окр.рез}}$$

или:

$$\frac{\sin \alpha_{доп.в.}}{V_{окр.пл}} = \frac{\sin(180^\circ - \psi_{j2})}{V_{окр.рез}}$$

Тогда

$$\alpha_{доп.в.} = \frac{V_{окр.пл}}{V_{окр.рез}} \cdot \sin(180^\circ - \psi_{j2}).$$

Величина угла контакта инструмента и заготовки ψ_{j2} изменяется в пределах от 0 до $\psi_{max}^\circ / 2$.

Для режима «встречного фрезерования» режущая кромка инструмента может находиться в любой точке дуги АВ (реально еще и на части дуги ВС) и указанные соотношения примут вид

$$\frac{\sin \alpha_{доп.в.}}{V_{окр.пл}} = \frac{\sin \psi_{j2}}{V_{окр.рез}};$$

$$\alpha_{доп.в.} = \frac{V_{окр.пл}}{V_{окр.рез}} \cdot \sin \psi_{j2}.$$

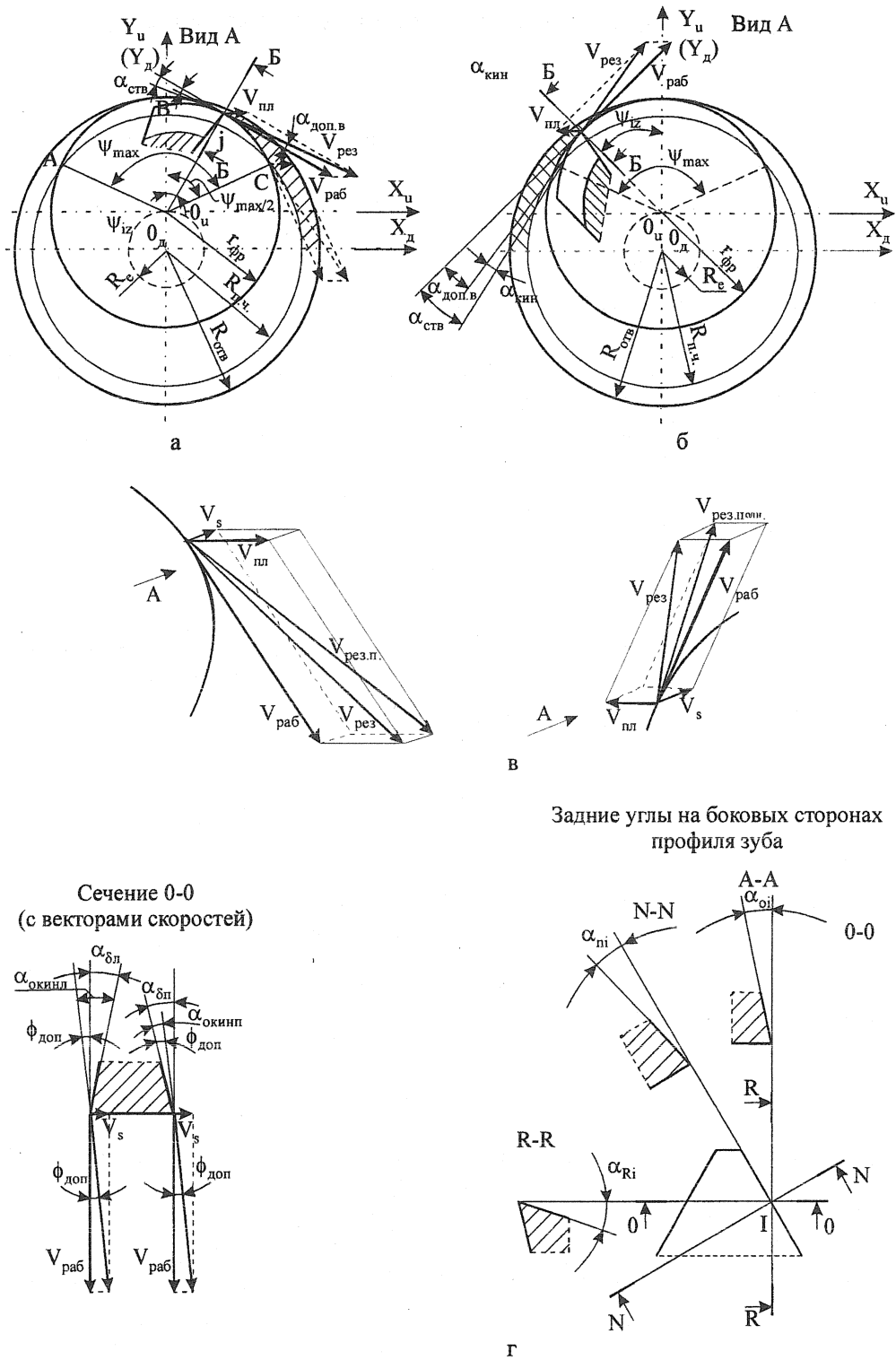


Рис.5. Определение кинематических задних углов на режущих кромках резцообразующей части комбинированного инструмента: а – попутное резбозерезование; б – встречное резбозерезование; в – траектория движения точки режущей кромки; г – задние углы на боковых сторонах профиля зуба

Величина угла контакта инструмента и заготовки ψ_{j2} изменяется от $\psi_{\max}^\circ / 2$ до 0. Определение максимального угла контакта для этого случая в пункте «поперечное врезание инструмента (начало резбофрезерования)».

Абсолютное значение вектора результирующей окружности скорости можно определить по теореме косинусов.

Попутное фрезерование:

$$V_{\text{рез}} = \sqrt{V_{\text{раб}}^2 + V_{\text{пл}}^2 - 2V_{\text{раб}} V_{\text{пл}} \cdot \cos(180^\circ - \psi_{j2})}, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right].$$

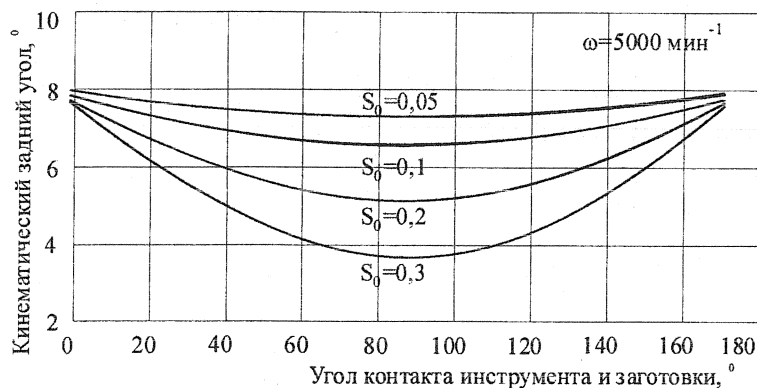
Встречное фрезерование:

$$V_{\text{рез}} = \sqrt{V_{\text{раб}}^2 + V_{\text{пл}}^2 - 2V_{\text{раб}} V_{\text{пл}} \cdot \cos(\psi_{j2})}, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right].$$

Абсолютное значение вектора окружной скорости планетарного движения

$$V_{\text{пл}} = \omega_{\text{пл}} \cdot R_e, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right],$$

где $\omega_{\text{пл}}$ - частота планетарного вращения, $[\text{МИН}^{-1}]$.



Значение этой величины определяется, в свою очередь, через рабочую частоту вращения инструмента ω и соотношение частот главного рабочего и планетарного вращения n .

$$n = \frac{\omega}{\omega_{\text{пл}}};$$

$$\omega_{\text{пл}} = \frac{\omega}{n}, [\text{МИН}^{-1}].$$

Рис.6. Изменение кинематических задних углов при вершинах зубьев резбообразующей части в процессе поперечного врезания при «попутном» фрезеровании резбьы $D=10\text{мм}$, $P=1,5\text{мм}$

Как отмечалось выше, на изменение задних углов на боковых сторонах зубьев оказывает влияние осевая подача инструмента.

Величина осевой подачи на один оборот планетарного вращения равна шагу резбьы изготавливаемого отверстия P

$$S = P, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{ОБ}} \right].$$

Скорость осевой подачи V_s будет равна

$$V_s = \omega_{\text{пл}} \cdot P, \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right].$$

Радиальные задние углы на боковых сторонах зубьев резбообразующей части инструмента определяют по формуле:

$$\alpha_{ni} = \arctg \left(\frac{d_{\text{фр}}}{d_i} \text{tg} \alpha_b \right) \sin \phi_i,$$

где $d_{фр}$ - диаметр резбообразующей части инструмента, d_i - диаметр i -ой точки на боковой поверхности зуба, α_b - кинематический задний угол при вершине зуба, ϕ_i - угол профиля для i -ой точки.

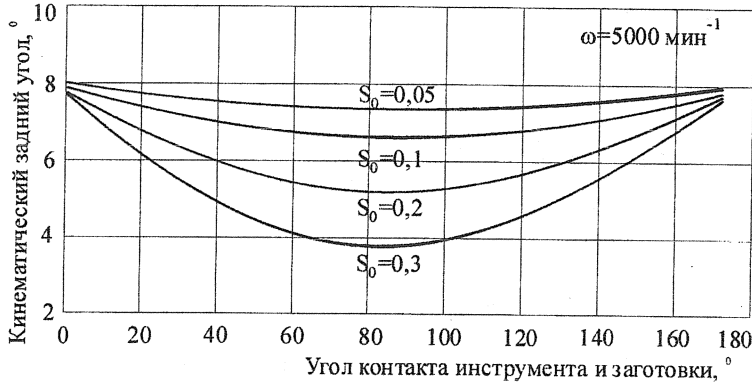


Рис.7. Изменение кинематических задних углов при вершинах зубьев резбообразующей части в процессе поперечного врезания при «встречном» фрезеровании резьбы $D=10\text{мм}$, $P=1,5\text{мм}$

Угол ϕ_i определяется как сумма угла профиля ϕ_0 и некоторого дополнительного угла $\phi_{доп}$. Угол $\phi_{доп}$ - это угол между вектором результирующей окружности скорости и вектором полной результирующей окружной скорости режущей кромки инструмента.

Абсолютная величина вектора

$$V_{рез.п} = \sqrt{V_s^2 + V_{рез}^2} \cdot \left[\frac{\text{ММ}}{\text{МИН}} \right].$$

Угол $\phi_{доп}$ определяется как:

$$\phi_{доп} = \arccos \left(\frac{V_{рез}}{V_{рез.п}} \right)$$

ИЛИ

$$\phi_{доп} = \arctg \left(\frac{V_s}{V_{рез}} \right).$$

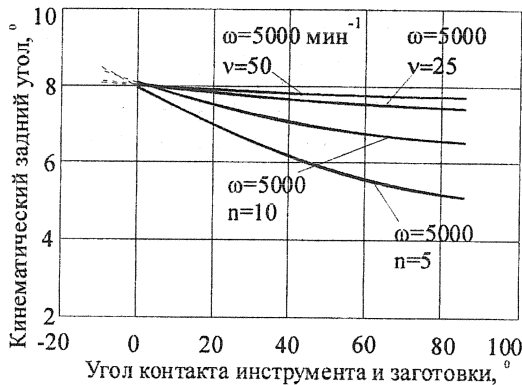


Рис.8. Изменение кинематических задних углов при вершинах зубьев резбообразующей части в процессе «попутного» фрезеровании резьбы $D=10\text{мм}$, $P=1,5\text{мм}$

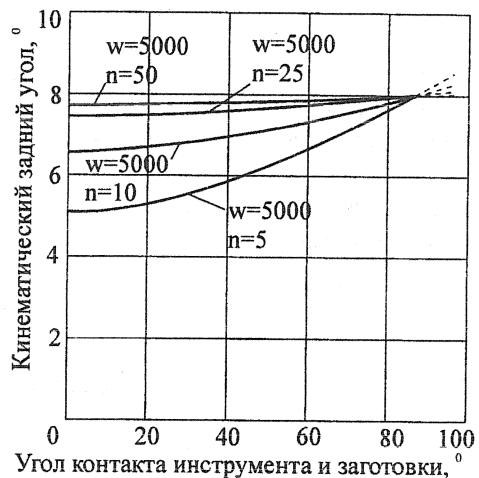


Рис.9. Изменение кинематических задних углов при вершинах зубьев резбообразующей части в процессе «встречного» фрезеровании резьбы $D=10\text{мм}$, $P=1,5\text{мм}$

Таким образом, угол профиля для i -ой точки будет равен

$$\phi_i = \phi_0 \pm \phi_{\text{доп}} = \varepsilon/2 \pm \text{arctg} \left(\frac{V_s}{V_{\text{рез}}} \right),$$

где $\varepsilon/2$ - половина угла профиля зуба резцообразующей части инструмента.

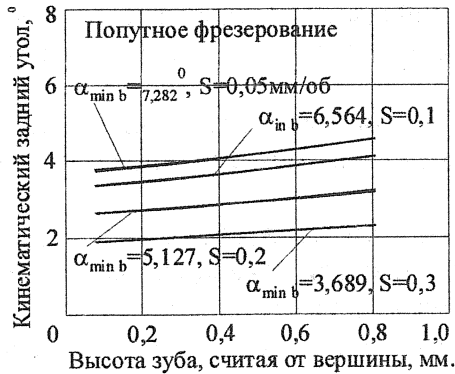


Рис.10. Изменение кинематических нормальных задних углов на боковых сторонах профиля зуба резцообразующей части при радиальном врезании инструмента для $D=10\text{мм}$, $P=1,5\text{мм}$, $w=5000\text{мин}^{-1}$

изменение задних углов оказывает влияние величина подачи на 1 оборот, что показано на рис.6 и 7.

Для процесса планетарного резцофрезерования при постоянной частоте вращения на изменение углов в большей степени влияет соотношение частот главного рабочего и планетарного вращения инструмента (рис.8 и 9). Значения нормальных задних углов на левой и на правой сторонах профиля зуба показаны на рис.10 и 11. Такие графики получены для случаев минимальных значений кинематических задних углов на вершинах зубьев. Из рис. 10 следует, что при радиальном врезании инструмента задние углы на левой и правой сторонах зубьев резцообразующего профиля одинаковые, а при резцофрезеровании - эти углы различны (рис.11). На этом рисунке зоны между каждой парой графиков заштрихованы. Нижняя линия соответствует стороне профиля, обращенной в направлении осевого перемещения инструмента при резцофрезеровании.

Кроме этого, величина изменений боковых задних углов на профиле зависит от шага резцы, который определяет значение осевой подачи. Это влияние в данной работе не исследовалось.

Знак «-» в формуле берется для стороны профиля, обращенной в направлении осевой подачи инструмента.

Изменения величин кинематических углов на профиле резцообразующей части, определенные по алгоритмам, изложенным выше, представлены на рис. 6-11.

Резьба в отверстии М10 с шагом $P=1,5\text{ мм}$; диаметр резцообразующей части инструмента – 7,95 мм.; диаметр передней части – 8,35 мм.; половина угла профиля зуба - 30° . Высота рабочего участка профиля зуба в сечении Б-Б определяется высотой профиля изготавливаемой резцы (ГОСТ 9159-71 в ред. 1991 г.).

Рабочая частота вращения инструмента составляет 5000 мин^{-1} .

Для процесса поперечного врезания при постоянной частоте вращения инструмента на

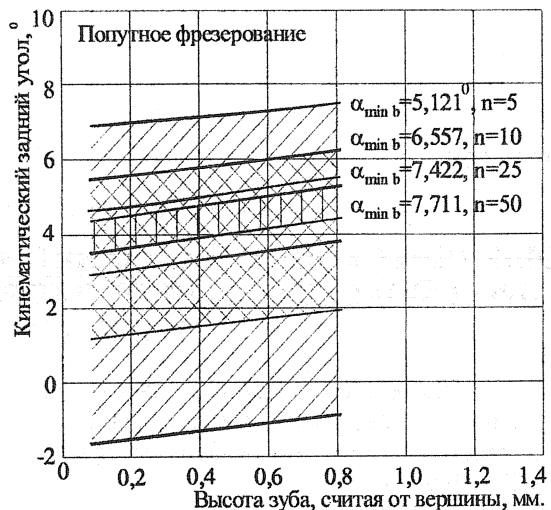


Рис.11. Изменение кинематических нормальных задних углов на боковых сторонах профиля зуба резцообразующей части для $D=10\text{мм}$, $P=1,5\text{мм}$, $\omega=5000\text{мин}^{-1}$

Выводы

1. На изменение величин кинематических задних углов на зубьях резьбообразующей части комбинированного инструмента оказывает влияние соотношение значений частот главного рабочего и планетарного движений, размеры резьбы и размеры отверстия, подготовленного для обработки.
2. На изменение кинематических задних углов на боковых сторонах профиля при прочих равных условиях оказывает влияние величина шага нарезаемой резьбы.
3. Приведенные в работе формулы позволяют оценить степень изменений задних углов для конкретных случаев обработки.
4. На основе выполненного исследования могут быть установлены диапазоны допустимых режимов обработки резьбы в отверстии, обеспечивающие благоприятные углы режущего клина.
5. При обработке отверстия с резьбой M10x1,5 и частотой вращения инструмента 5000 мин⁻¹ минимальная частота планетарного вращения равна 200 мин⁻¹. Величина подачи инструмента при радиальном врезании не должна превышать 0,20-0,25 мм, а кинематические задние углы на зубьях резьбообразующей части равны 2°-3°.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анурьев В.И. «Справочник конструктора-машиностроителя», т.1., -М.:Машиностроение, 1980г.
2. «Werkstatt und Betrieb», 120 (1987) 10.
3. «Maschinenmarkt», Wuzburg 101 (1995) 41.

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

УДК 621.952.8

В.И. КОКАРЕВ, А.П. РЫБАЛКО, Д.С. СИНЮКОВА, С.И. ЮДИН

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАНКОВ ДЛЯ ВИБРОЭЖЕКТОРНОГО СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Выполнен анализ рынка станков глубокого сверления, у которых диаметр и глубина сверления находятся в диапазонах соответственно 2-30 мм и до 500 мм. Обоснована необходимость освоения выпуска станков для виброэжекторного сверления глубоких отверстий конструкции МГТУ «СТАНКИН».

Определение емкости рынка по рассматриваемому типу оборудования

Анализ проводился с учетом того, что до 1990 года система экспорта/импорта станков в нашей стране осуществлялась централизованно, преимущественно через два внешнеэкономических объединения: «Станкоимпорт» и «Автопромимпорт». При этом в результате