

# **Проектирование прогрессивных конструкций режущих инструментов и технологической оснастки**

УДК 621.9.02

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСЕВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ**

**Малышко И.А.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Производительность технологической системы (ТС), оснащенной осевым одномерным так и комбинированным инструментом (КИ) типа сверло, зенкер, метчик, развертка в значительной степени зависит от условий транспортировки стружки по их стружечным канавкам. Известно, что при сверлении отверстий сверлами на глубине более 2 – 3 диаметров происходит пакетирование стружки. Для ее удаления необходимо выводить сверло, что отрицательно сказывается на производительности обработки. Такая же картина наблюдается при работе КИ, а учитывая возможность работы нескольких ступеней одновременно, такая проблема становится еще более острой. Поэтому производительность ТС необходимо рассматривать исходя из пропускной способности стружечных канавок инструмента.

Вопросы технологической производительности рассматривались в работах В. Н. Подураева, В. Ф. Боброва, И. Амарево, М. Н. Ларина. Исходными данными для их определения были режимы резания и период стойкости инструмента [1].

Для автоматических линий Г. А. Шаумян, А. С. Проников, А. И. Дащенко, Л. Н. Кошкин, И. А. Клусов в качестве критерия производительности использовали цикловую производительность. Исходной величиной при ее определении было время цикла.

Э. М. Дечко предложил аналитическую зависимость для определения производительности ТС, оснащенной сверлом. Исходными данными для определения производительности ТС были режимы резания, диаметр сверла и время, связанное с выводами сверла для удаления стружки [2].

Исследования, выполненные автором, показали, что производительности ТС, оснащенной осевым комбинированным инструментом определяется пропускной способностью стружечных канавок, которая, в свою очередь зависит от режимов резания и конструктивных параметров инструментов.

Поэтому в данной работе решается задача установления функциональной зависимости между производительностью ТС и пропускной способностью стружечных канавок осевых комбинированных инструментов.

Целью работы является установление функциональной зависимости между производительностью ТС и пропускной способностью, определяемую конструктивными параметрами инструмента и рабочими процессами, протекающими в ТС.

Условия работы первой ступени КИ близки к условиям работы одномерного инструмента. Тогда производительность первой ступени КИ, определяемая объемом металла срезаемого в единицу времени определится [3]:

$$Q_i = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i - d_{oi}) \cdot S_m, \quad (1)$$

где  $S_m = S_{z_i} \cdot z_i \cdot n_0$  - величина минутной подачи инструмента;  $S_{z_i}$  - величина подачи на один зуб инструмента  $i$  - й ступени;  $z_i$  - число зубьев инструмента на  $i$  - й ступени;  $d_i$  - диаметр обработанного отверстия;  $d_{oi}$  - диаметр отверстия заготовки.

Объем металла, снимаемого соответствующей ступенью инструмента, определяется

$$q_i = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i^2 - d_{oi}^2) \cdot l_i, \quad (2)$$

где  $l_i$  - длина ступени обрабатываемого отверстия.

Количество отверстий, обработанных в единицу времени

$$N = \frac{Q_i}{q_i} = \frac{z \cdot S_z \cdot n_0}{l_i}. \quad (3)$$

Число зубьев инструмента исходя из заданной производительности определится количеством отверстий, обработанных в единицу времени, из уравнения (3)

$$z_i = \frac{N \cdot l_i}{S_z \cdot n_0}. \quad (4)$$

Пропускная способность стружечных канавок соответствующей ступени определяется зависимостью

$$Q_{ci} = V_z \cdot k \cdot \sum_{i=1}^z F_i, \quad (5)$$

где  $F_i$  - площадь поперечного сечения стружечной канавки инструмента;  $V_z$  - скорость движения стружки вдоль оси инструмента;  $k$  - коэффициент заполнения стружечной канавки.

Для обеспечения стабильного отвода стружки из зоны обработки необходимо, чтобы пропускная способность стружечных канавок была больше объема стружки, снимаемой в единицу времени, т.е.

$$Q_{ci} \geq Q_i. \quad (6)$$

Подставив значения  $Q_{ci}$  и  $Q_i$  в равенство (6), получим

$$V_z \cdot k_i \cdot \sum_{i=1}^z F_i = \frac{S_z \cdot z \cdot n_0 (d_i^2 - d_0^2) \cdot \pi}{4}, \quad (7)$$

откуда найдём площадь поперечного сечения стружечной канавки  $i$  - й ступени КИ

$$F_i = \frac{\pi \cdot S_z \cdot n_0 \cdot (d_i^2 - d_{oi}^2)}{4 \cdot V_z \cdot k}. \quad (8)$$

После подстановки  $S_z = \frac{S}{z_i}$  и решая относительно  $z$ , получим функциональную связь между числом зубьев, режимами резания и конструктивными параметрами инструментов

$$z_i = \frac{\pi \cdot S \cdot n_0 \cdot (d_i^2 - d_{oi}^2)}{4 \cdot V_z \cdot k \cdot F_i}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что с увеличением числа зубьев инструмента необходимо уменьшать размеры стружечных канавок или  $n_0$  и  $S$ , но это отрицательно сказывается на производительности систем.

Уравнение технологической производительности оборудования можно представить в виде

$$Q_T = \frac{n_0 \cdot S}{l}. \quad (10)$$

После подстановки значения частоты вращения  $n_0$  из уравнения (9) в уравнение (10) получим выражение, учитывающее взаимосвязь технологической производительности оборудования с пропускной способностью стружечных канавок при работе инструмента по последовательной схеме резания

$$Q_T = \frac{4 \cdot k \cdot z_i \cdot V_z \cdot F_i}{\pi \cdot l_i \cdot (d_i^2 - d_{oi}^2)}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) видно, что технологическая производительность системы зависит от конструктивных параметров инструмента  $Q_T = f(F_i, z_i, d_i)$ , скорости движения стружки  $V_z$  и размеров обрабатываемого отверстия  $l_i, d_i$ .

Скорость движения стружки является одной из составляющих рабочего процесса ТС.

При определении скорости движения элементарной стружки вдоль оси инструмента принято ряд допущений. Основным допущением есть то, что частица стружки рассматривается как материальная точка. При этом, влияние СОТС на данном этапе исследований допустимо пренебречь, так как инструмент работает без охлаждения.

Движение материальной точки М (рис. 1) (частицы стружки) при её транспортировке по наклонной винтовой поверхности описывается уравнением Лагранжа второго рода, в обобщённой координате. В качестве обобщённой координаты принят угол поворота частицы в абсолютном движении, которой соответствует обобщённая сила  $Q_{об}$ .

Движение материальной точки М, относительно неподвижной системы координат  $XYZ$ , имеет вид

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{dT}{d\dot{\varphi}} - \frac{dT}{d\varphi} \right] = Q_{об}, \quad (12)$$

где  $T = mV^2/2 = GV^2/2q$  - кинетическая энергия материальной точки;  $G$  - вес частицы стружки;  $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$  - скорость перемещения частицы стружки в направлении обобщённой силы;  $\varphi$  - обобщённая координата.

Значение обобщённой силы из уравнения движения (12) после подстановки значений  $dT/d\varphi$  и  $dT/d\dot{\varphi}$  имеет вид

$$Q_{об} = 6/q(R^2 + b^2) \cdot \dot{\varphi}, \quad (13)$$

где  $R$  - размер инструмента;  $b = R/tg\omega$  - параметр винтовой линии.

Обобщённая сила, определяемая активными силами

$$Q_{OA} = X \frac{dx}{d\varphi} + Y \frac{dy}{d\varphi} + Z \frac{dz}{d\varphi}, \quad (14)$$

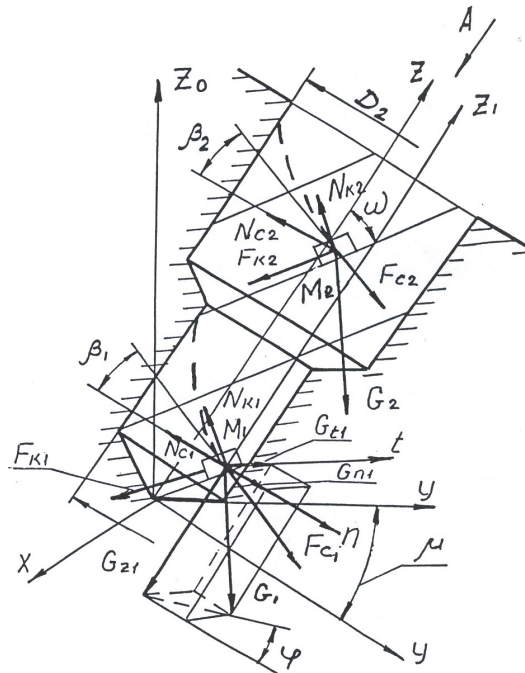


Рис. 1. Силы, движущие стружку при вращении инструмента

где  $X, Y, Z$  - алгебраическая сумма проекций активных сил, действующих на материальную точку, по соответствующим осям координат (см. рис.1).

Скорость перемещения точки по соответствующим осям координат:

$$\frac{dx}{d\varphi} = R \cos \varphi; \frac{dy}{d\varphi} = -R \sin \varphi; \frac{dz}{d\varphi} = b. \quad (15)$$

К активным силам относятся силы трения и вес частиц стружки.

$$Q_{OA} = F_c \cdot R \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi - F_k \cdot R \cdot \sin \omega + F_c \cdot R \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta + F_k \cdot R \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - F_k \cdot b \cdot \cos \omega - F_c \cdot b \cdot \sin \varphi \cdot \beta - G \cdot b \cdot \cos \mu, \quad (16)$$

где  $\beta$  - угол, определяющий траекторию движения стружки.

Уравнение движения частицы в системе координат  $Z_n$  имеет вид :

$$\begin{aligned} \sum F_{(z)} N_k \sin \omega - F_k \cos \omega - F_c \sin \beta - m \cdot b \cdot \ddot{\psi} - G \cos \mu &= 0 \\ \sum F_{(t)} G \sin \mu \cdot \sin \varphi - R \cdot m \cdot \ddot{\psi} - N_k \cos \omega - F_k \sin \omega + F_c \cos \beta &= 0, \\ \sum F_{(n)} P_y - N_c - G \cdot \sin \mu \cdot \cos \varphi & \end{aligned} \quad (17)$$

где  $\ddot{\psi} = \frac{d^2 \psi}{dt^2}$  - угловое ускорение относительного перемещения стружки;

$\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt}$  - угловая скорость относительного перемещения стружки;

$\psi = \varepsilon - \varphi$  - перемещение стружки с учётом её проскальзывания на угол  $\varphi$  ;

$P_y = R \cdot m \cdot (\omega_0 - \dot{\psi})^2$  - центробежная сила инерции, включающая силу Кориолиса;

$N_k$  - нормальная реакция стружечной канавки;

$N_c$  - нормальная реакция поверхности обрабатываемого отверстия;

$F_c = N_c \cdot f_c$  - сила трения, возникающая между стружкой и обработанной поверхностью отверстия;

$F_k = N_k \cdot f_k$  - сила трения, возникающая между стружкой и поверхностью стружечной канавки;

$f_k, f_c$  - коэффициенты трения стружки о поверхность канавки и поверхность отверстия;

$G$  - вес стружки;

$m$  - масса стружки.

При установившемся движении  $\ddot{\psi} = 0, \dot{\psi} = const$ .

Угловая скорость  $\dot{\psi}$  перемещения частицы стружки после решения системы уравнений (15, 16, 17) будет иметь вид

$$\dot{\psi} = \omega_0 - \sqrt{\frac{q}{R} \left\{ \frac{\cos \mu}{\operatorname{tg} \varphi_c} \left[ \operatorname{ctg} \omega + \operatorname{tg} \varphi_k (1 + \operatorname{ctg}^2 \omega) \right] - \sin \mu \right\}}. \quad (18)$$

Так как движение стружки по стружечным канавкам инструмента обеспечивается, когда  $\dot{\psi} \geq 0$ , то критической скоростью резания будет  $V_z = 0$ .

Тогда критическое значение угловой скорости определится зависимостью

$$\omega_k = \sqrt{\frac{q}{R} \left\{ \frac{\cos \mu}{\operatorname{tg} \varphi_c} \left[ \operatorname{ctg} \omega + \operatorname{tg} \varphi_c (1 + \operatorname{ctg}^2 \omega) \right] - \sin \mu \right\}}. \quad (19)$$

Так как  $V_z = \omega_k \cdot R$  а  $\omega_k = \pi \cdot n_0 / 30$  то значение скорости при которой возможен процесс транспортировки стружки определится зависимостью

$$V_z = R \cdot \left( \frac{n_0 \cdot \pi}{30} - \sqrt{\frac{q}{R} \left\{ \frac{\cos \mu}{\operatorname{tg} \varphi_c} \left[ \operatorname{ctg} \omega + \operatorname{tg} \varphi_c (1 + \operatorname{ctg}^2 \omega) \right] - \sin \mu \right\}} \right). \quad (20)$$

Анализ уравнения (20) показывает, что основным фактором, определяющим скорость движения стружки, а следовательно и производительность ТС является пропускная способность стружечных канавок. При скорости движения стружки  $V_z \leq 0$  стружка останавливается и происходит её пакетирование. При  $V_z > 0$  стружка свободно движется по канавкам инструмента, и чем больше скорость, тем выше производительность ТС. В реальных условиях скорость движения стружки определяется так же частотой вращения инструмента, а соответственно и скоростью резания, которая ограничивается стойкостью инструмента. Из уравнения (20) видно, что на скорость  $V_z$  значительное влияние оказывают параметры инструмента ( $R, \omega, \mu$ ), а также углы трения ( $\varphi_k, \varphi_c$ ).

Наиболее реальными параметрами, позволяющими управлять производительностью технологического оборудования (см. уравнения 11 и 20) является увеличение угла наклона стружечной канавки  $\omega$  и уменьшение угла трения  $\varphi_k$  между стружкой и передней поверхностью стружечной канавки. Уменьшение угла  $\varphi_k$  до  $6^\circ$  достигается путём полирования стружечных канавок.

Экспериментальные исследования, выполненные при сверлении отверстий в заготовках из стали 45 диаметром 10 мм показали, что свёрла с полированными стружечными канавками и углом  $\omega = 50^\circ$  позволяют при элементной стружке сверлить отверстия на глубину более  $20D$ , без вывода инструмента для удаления стружки. При этом пакетирование стружки отсутствует.

Таким образом, на основании выполненных исследований, установлено, что при работе осевых инструментов производительность ТС определяется скоростью движения стружки, которая в свою очередь зависит от его конструктивных параметров и режимов резания.

С увеличением частоты вращения инструмента скорость движения стружки увеличивается, однако при этом уменьшается стойкость инструмента. Поэтому необходи-

мо увеличивать скорость движения стружки за счёт совершенствования конструкции инструмента.

Увеличение угла наклона стружечных канавок инструмента способствует увеличению скорости движения стружки, а, следовательно, обеспечивает повышение производительности ТС.

Снижение величины шероховатости поверхности стружечной канавки ведет к уменьшению угла трения. Благодаря чему увеличивается скорость движения стружки, а следовательно и, производительность ТС.

**Список литературы.** 1. Малишко І.О. Основи теорії проектування осьових комбінованих інструментів. Автореф. док. дис. – Київ: КПІ 1996. – 33 с. 2. Дечко Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях. – Минск: Высшая школа, 1979. – 232 с. 3. Высокопроизводительные конструкции зенкеров и разверток и рациональная их эксплуатация/ Под ред. М.Н. Ларина. – М.: Машгиз, 1972. – 160 с.

#### ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСЬОВИХ КОМБІНОВАНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ

Малишко І.О.

В роботі розглянуті питання підвищення продуктивності технологічних систем за рахунок збільшення швидкості руху стружки по канавкам осьових комбінованих інструментів. Установлено, що підвищити швидкість руху стружки можливо за рахунок збільшення швидкості різання та за рахунок удосконалення конструктивних параметрів інструментів.

#### ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСЕВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Малышко И.А.

В работе рассмотрены вопросы повышения производительности технологических систем за счет увеличения скорости движения стружки по канавкам осевых комбинированных инструментов. Установлено, что увеличение скорости движения стружки возможно за счет увеличения скорости резания и за счет совершенствования конструктивных параметров инструментов.

#### INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS OF THE AXIAL COMBINED TOOLS ON PRODUCTIVITY

Malishko I.A.

In the work questions of increase of productivity of technological systems due to increase in speed of movement of chip on flutes of the axial combined tools are considered. It is established that increase in speed of movement of chip is possible due to increase in cutting speed and due to improvement of design parameters of tools.