



# Прогресс в применении осевых комбинированных инструментов



**Александр ПОПОВ**  
Alexander P. POPOV

**Данила СВИРИДЕНКО**  
Danila S. SVIRIDENKO



**Юрий КОМАРОВ**  
Yuriu Yu. KOMAROV

*Попов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*  
*Свириденко Данила Сергеевич – кандидат технических наук, доцент ВНИИ авиационных материалов, Москва, Россия.*  
*Комаров Юрий Юрьевич – старший преподаватель РУТ (МИИТ), Москва, Россия.*

## Progress in the Application of Axial Combined Tools

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 96)

**Рассматриваются условия применения комбинированных осевых инструментов для обеспечения максимальной экономии времени обработки деталей. Отражены их преимущества по сравнению с обычными инструментами – кроме сокращения основного технологического времени и вспомогательного времени, это ещё и уменьшение количества технологического оборудования, повышение соосности и точности расположения отдельных ступеней обрабатываемых отверстий. Приведены новые, более совершенные конструкции инструментов, которые создаются с учётом появления прогрессивных материалов и износостойких покрытий.**

*Ключевые слова:* транспортное машиностроение, металлообработка, сверло, зенкер, машинное время, осевой инструмент, комбинированный инструмент.

**Д**ля совмещения операций или переходов при обработке ступенчатых и гладких отверстий применяются всевозможные комбинированные инструменты. Наиболее распространёнными являются ступенчатые свёрла и ступенчатые зенкеры, свёрла-зенкеры, свёрла-зенкеры-развёртки, свёрла-зенкеры-зенковки. Сюда же можно отнести свёрла-метчики.

Эти инструменты применяются на токарных, револьверных, сверлильных, агрегатных станках, а также токарных автоматах и полуавтоматах.

Комбинированные инструменты в большинстве случаев имеют целевое значение и предназначаются только для обработки определённых деталей. Они находят себе место главным образом в серийном и массовом производстве.

Самое широкое распространение комбинированные осевые инструменты получили в автомобильной промышленности, но используются и в других областях машиностроения.

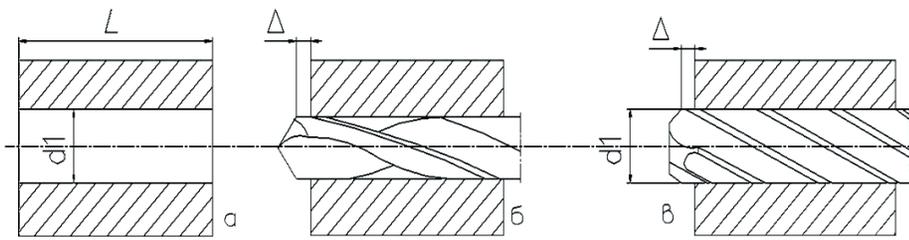


Рис. 1. Обработка гладкого отверстия одномерными инструментами.

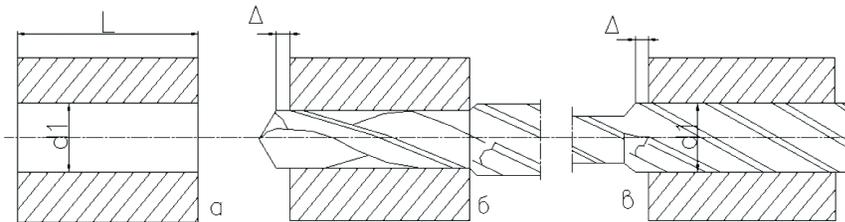


Рис. 2. Обработка гладкого отверстия комбинированным инструментом по последовательной схеме.

Отверстия, которые могут быть обработаны осевыми комбинированными инструментами, составляют до 75 % от всех обрабатываемых поверхностей.

Осевые комбинированные по сравнению с обычными инструментами получают, как правило, следующие преимущества [1]:

1. Сокращается основное технологическое время, а также вспомогательное время, связанное с подводом и отводом инструмента, его сменой и наладкой, и соответственно повышается как технологическая, так и цикловая производительность.
2. Уменьшается количество технологического оборудования, благодаря чему сокращаются расход электроэнергии, производственные площади, количество основных и вспомогательных рабочих, повышается надёжность автоматических линий, а значит, снижается и себестоимость продукции.
3. Повышается соосность и точность расположения отдельных ступеней обрабатываемых отверстий.

Рассмотрим некоторые случаи применения осевых комбинированных инструментов.

1. Сквозное гладкое отверстие (рис. 1а) в сплошном материале может быть обработано как одномерными, так и комбинированными инструментами.

При обработке одномерными инструментами – сверлом (рис. 1б) и зенкером

(рис. 1в) основное время для каждого из этих инструментов определяется по формуле:

$$T_o = \frac{L + u_i + \Delta_i}{n \cdot S},$$

где  $L$  – длина отверстия, мм;  $u_i$  – врезание инструмента, мм;  $\Delta_i$  – перебеги инструмента, мм;  $n$  – число оборотов, об/мин;  $S$  – подача, мм/об.

Суммарное основное время  $T_{\Sigma}$  составит:  $T_{\Sigma 1} = T_{o_{cb}} + T_{o_3}$ , где  $T_{o_{cb}}$  – осевое время при обработке сверлом,  $T_{o_3}$  – основное время при обработке зенкером, мин.

При обработке этого же отверстия (рис. 2а) комбинированным инструментом типа «сверло-зенкер» по последовательной схеме сначала выполняется сверление отверстия на всю его длину (рис. 2б), а затем после выхода сверла происходит зенкерование (рис. 2в).

Очевидно, что и в этом случае  $T_{\Sigma 2} = T_{o_{cb}} + T_{o_3} = T_{\Sigma 1}$ , т.е. нет никакого выигрыша в основном времени по сравнению с обработкой одномерными инструментами.

Это же отверстие (рис. 3а) может быть обработано комбинированным инструментом «сверло-зенкер» по комбинированной схеме. Тогда сначала включается сверло (рис. 3б), а затем после углубления на длину  $l_4$  начинается зенкерование.



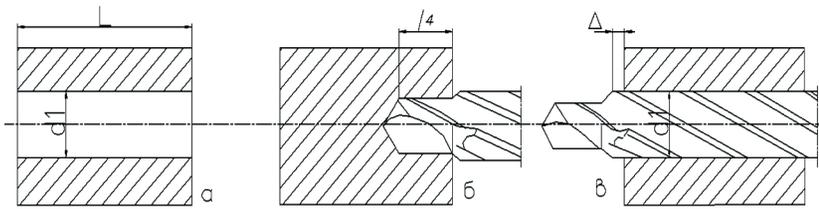


Рис. 3. Обработка гладкого отверстия комбинированным инструментом по комбинированной схеме.

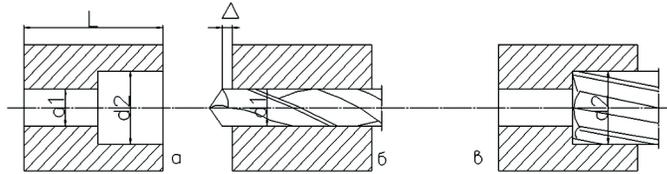


Рис. 4. Обработка двухступенчатого отверстия одномерными инструментами.

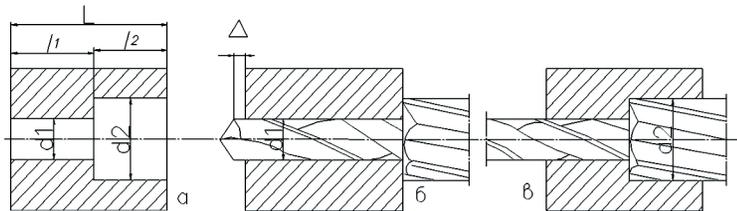


Рис. 5. Обработка двухступенчатого отверстия комбинированным инструментом по последовательной схеме.

Таким образом, на участке  $l_4$  сверло работает одно, т.е. имеет место последовательная схема, а на участке  $L-l_4$  резание происходит по параллельной схеме двумя инструментами одновременно.

Время работы сверла по последовательной схеме равно:

$$T_{осв1} = \frac{l_4 + U_{св}}{n \cdot S},$$

где  $U_{св}$  – врезание сверла, мм.

Время работы сверла по параллельной схеме

$$T_{осв2} = \frac{L - (l_4 + \Delta_{св})}{n \cdot S},$$

где  $\Delta_{св}$  – перебег сверла в мм.

$T_{осв2}$  не входит в расчёт суммарного основного времени, так как сверление на участке  $L-l_4$  полностью совмещено с зенкерованием.

Время работы зенкера

$$T_{оз} = \frac{L + U_z + \Delta_z}{n \cdot S},$$

где  $U_z$  – врезание зенкера,  $\Delta_z$  – перебег зенкера, мм.

Суммарное основное время составит

$$T_{ос3} = T_{оз} + T_{осв1} = \frac{L + U_z + \Delta_z}{n \cdot S} + \frac{l_4 - U_{св}}{n \cdot S}.$$

Разница в основном времени при обработке одномерными ( $T_{ос1}$ ) и комбинированными ( $T_{ос3}$ ) инструментами составляет:

$$\begin{aligned} T_1 &= T_{ос1} - T_{ос3} = \\ &= \left( \frac{L + U_{св} + \Delta_{св}}{n \cdot S} + \frac{L + U_z + \Delta_z}{n \cdot S} \right) - \\ &= \left( \frac{L + U_z + \Delta_z}{n \cdot S} + \frac{l_4 + U_{св}}{n \cdot S} \right) = \\ &= \frac{L + U_z + \Delta_z}{n \cdot S} - \frac{l_4 + U_{св}}{n \cdot S}, \end{aligned}$$

т.е. чем меньше длина участка  $l_4$ , на котором сверло работает по последовательной схеме, тем больше выигрыш в основном времени при работе комбинированными инструментами.

Минимальная длина участка  $l_4$  определяется минимальной длиной сверла, которая должна быть не менее  $1,25 d$ , где  $d$  – диаметр сверла, мм.

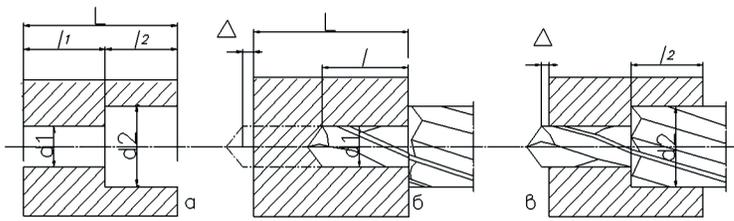


Рис. 6. Обработка двухступенчатого отверстия комбинированным инструментом по комбинированной схеме.

2. Двухступенчатое отверстие (рис. 4а) в сплошном материале может быть обработано как одномерными инструментами, так и комбинированными, типа «сверло-зенкер».

В первом варианте отверстие сначала сверлится (рис. 4б), а затем обрабатывается зенкером (рис. 4в).

Основное время при сверлении определяется по формуле:

$$T_{\text{осв}} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S},$$

где  $U_{\text{св}}$  – врезание сверла,  $\Delta_{\text{св}}$  – перебег сверла, мм.

При обработке зенкером  $T_{\text{оз}} = \frac{\ell 2}{n \cdot S}$  мин.

Суммарное основное время составит:

$$T_{\text{о}_{\Sigma 4}} = T_{\text{осв}} + T_{\text{оз}} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S} + \frac{\ell 2}{n \cdot S} \text{ мин.}$$

Во втором варианте обработка ступенчатого отверстия (рис. 5а) производится комбинированным инструментом типа «сверло-зенкер» по последовательной схеме, т.е. сначала на длине  $(L + \Delta_{\text{св}} + U_{\text{св}})$  работает сверло (рис. 5б), а после окончания сверления происходит зенкерование отверстия на участке  $\ell 2$  (рис. 5в).

Основное время при работе сверла:

$$T_{\text{осв}} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S},$$

где  $L$  – длина отверстия,  $\Delta_{\text{св}}$  – перебег сверла,  $U_{\text{св}}$  – врезание сверла, мм.

Основное время при работе зенкера равно

$$T_{\text{оз}} = \frac{\ell 2}{n \cdot S},$$

где  $\ell 2$  – длина второй ступени отверстия, мм.

Суммарное основное время  $T_{\text{о}_{\Sigma 5}}$  составит  $T_{\text{о}_{\Sigma 5}} = T_{\text{осв}} + T_{\text{оз}} = T_{\text{о}_{\Sigma 4}}$ ,

т.е. нет выигрыша времени по сравнению с обработкой одномерными инструментами.

3. То же отверстие (рис. 6а) может быть выполнено комбинированным инструментом типа «сверло-зенкер», работающим по комбинированной схеме.

В этом случае сверло по последовательной схеме (рис. 6б) работает на длине  $\ell = (L + \Delta_{\text{св}}) + \ell 2$ , где  $\Delta_{\text{св}}$  – перебег сверла, мм.

Затем вместе со сверлом начинает работать зенкер, выполняя зенкерование участка  $\ell 2$ , т.е. происходит резание по параллельной схеме.

Основное время  $T_{\text{осв}1}$  при работе сверла на участке  $\ell$  составляет:

$$T_{\text{осв}1} = \frac{\ell + U_{\text{св}}}{n \cdot S},$$

где  $U_{\text{св}}$  – врезание сверла, мм.

Основное время  $T_{\text{осв}2}$  при работе сверла на участке  $\ell 1$ :

$$T_{\text{осв}2} = \frac{(L + \Delta_{\text{св}}) - \ell 2}{n \cdot S},$$

где  $\Delta_{\text{св}}$  – перебег сверла, мм.

Основное время работы зенкера на участке  $\ell 2$ :

$$T_{\text{оз}} = \frac{\ell 2}{n \cdot S}.$$

Суммарное основное время:

$$T_{\text{о}_{\Sigma 6}} = T_{\text{осв}1} + T_{\text{оз}} = \frac{\ell + U_{\text{св}}}{n \cdot S} + \frac{\ell 2}{n \cdot S}.$$

Основное время работы сверла на участке  $\ell 1$  не входит в расчёт суммарного основного времени, поскольку она на участке  $\ell 1$  полностью совмещена с работой зенкера на участке  $\ell 2$ . Здесь сверло и зенкер действуют одновременно.

Разница в основном времени между обработкой одномерными  $T_{\text{о}_{\Sigma 4}}$  и комбинированным  $T_{\text{о}_{\Sigma 6}}$  инструментами составит:



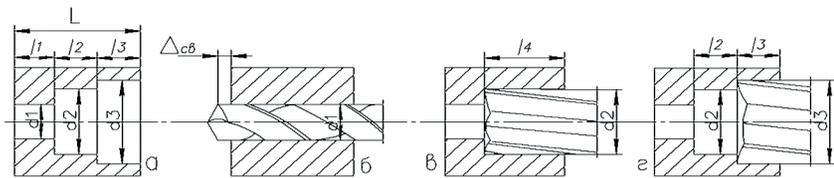


Рис. 7. Обработка трёхступенчатого отверстия одномерными инструментами.

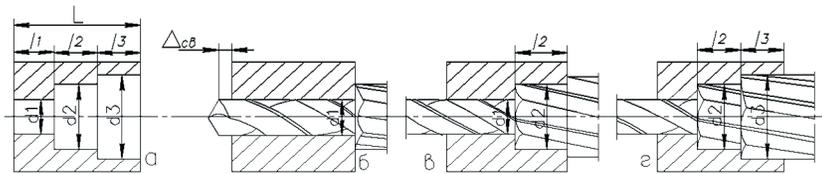


Рис. 8. Обработка трёхступенчатого отверстия комбинированным инструментом по последовательной схеме.

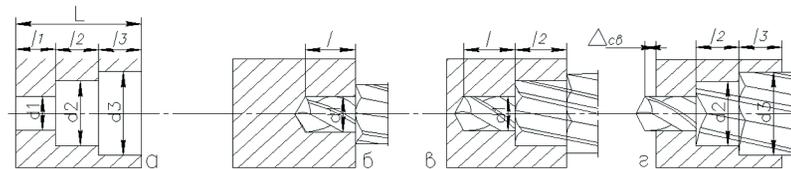


Рис. 9. Обработка трёхступенчатого отверстия комбинированным инструментом по комбинированной схеме.

$$T_{O2} = T_{O_{\Sigma 4}} - T_{O_{\Sigma 6}} = \left[ \frac{L + Y_{св} + \Delta_{св}}{n \cdot S} + \frac{\ell 2}{n \cdot S} \right] - \left[ \frac{\ell + y}{n \cdot S} + \frac{\ell 2}{n \cdot S} \right] = \frac{L + Y_{св} + \Delta_{св}}{n \cdot S} - \frac{\ell + y}{n \cdot S}, \text{ мин.}$$

Отсюда следует, что чем меньше длина участка 1, на котором сверло работает по последовательной схеме (т.е. чем короче сверло), тем больше выигрыш  $T_2$  в основном времени между обработкой одномерными и комбинированным инструментами. Минимальная длина сверла и в этом случае не должна быть меньше  $1,25 d$ , где  $d$  — диаметр сверла.

Плюс к тому: при обработке по комбинированной схеме чем больше длина отверстия, тем больше выигрыш во времени по сравнению с обработкой этого же отверстия одномерными инструментами.

4. Теперь возьмем трёхступенчатое отверстие (рис. 7а). Как и в предыдущих двух случаях, здесь возможна обработка одномерными и комбинированными инструментами.

В варианте с одномерными инструментами сначала отверстие выполняется свер-

лом (рис. 7б), а затем на длине  $\ell 3$  обрабатывается зенкером  $d_2$  (рис. 7в) и зенкером  $d_3$  (рис. 7г).

Основное время при обработке сверлом:  $T_{O_{св}} = \frac{L + Y_{св} + \Delta_{св}}{n \cdot S}$ , где  $Y_{св}$  — врезание сверла,  $\Delta_{св}$  — перебег сверла, мм.

Основное время при операции с зенкером  $d_2$ :  $T_{Oz1} = \frac{\ell 4}{n \cdot S}$ ;

с зенкером  $d_3$ :  $T_{Oz2} = \frac{\ell 3}{n \cdot S}$ .

Суммарное основное время составит:  $T_{O_{\Sigma 7}} = T_{O_{св}} + T_{Oz1} + T_{Oz2} =$

$$= \frac{L + Y_{св} + \Delta_{св}}{n \cdot S} + \frac{\ell 4}{n \cdot S} + \frac{\ell 3}{n \cdot S}, \text{ мин.}$$

5. В случае обработки аналогичного отверстия (рис. 8а) комбинированными инструментами по последовательной схеме отверстие сначала сверлится на всю длину сверлом  $d_1$  (рис. 8б), затем обрабатывается зенкером  $d_2$  на длине  $\ell 2$  (рис. 8в) и после этого одновременно зенкерами  $d_2$  и  $d_3$  (рис. 8г).

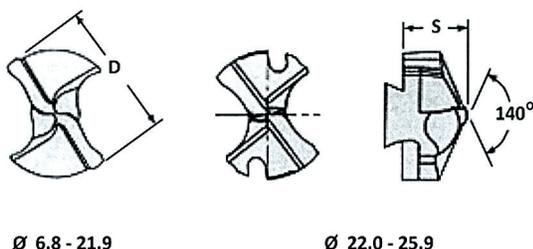


Рис. 10. Сменные сверлильные головки.

Основное время работы сверла:

$$T_{\text{осв}} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S}, \text{ где } U_{\text{св}} - \text{врезание}$$

сверла.

Основное время первого зенкера (d2):

$$T_{\text{оз1}} = \frac{\ell_2}{n \cdot S}.$$

Основное время второго зенкера (d3):

$$T_{\text{оз2}} = \frac{\ell_3}{n \cdot S}.$$

В этом примере на длине L сверло и первый зенкер на длине  $\ell_2$  работают по последовательной схеме одновременно со вторым зенкером, обрабатывающим диаметр d3, поэтому суммарное основное время обработки составляет:

$$T_{\Sigma_8} = T_{\text{осв}} + T_{\text{оз1}} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S} + \frac{\ell_2}{n \cdot S}, \text{ мин.}$$

Разницу в основном времени между обработкой одномерными инструментами и комбинированными инструментами здесь выражает формула:

$$\begin{aligned} T_{\text{оз}} &= T_{\Sigma_7} - T_{\Sigma_8} = \\ &= \left[ \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S} + \frac{\ell_4}{n \cdot S} + \frac{\ell_3}{n \cdot S} \right] - \\ &- \left[ \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S} + \frac{\ell_2}{n \cdot S} \right] = \\ &= \left[ \frac{\ell_4}{n \cdot S} + \frac{\ell_3}{n \cdot S} \right] - \frac{\ell_2}{n \cdot S}. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что чем больше длина второй ступени отверстия, тем меньше разница между временем обработки отверстия, одномерными и комбинированными инструментами, так как вторая ступень работает по последовательной схеме.

6. В заключение вариант обработки того же трёхступенчатого отверстия

(рис. 9а) комбинированными инструментами «сверло-зенкер-зенкер» по комбинированной схеме.

В этом случае сначала идёт сверление отверстия d1 на длину  $\ell$  (рис. 9б), потом отверстия d1 на длину  $\ell + \ell_2$  и зенкерование ступени отверстия d2 на длину  $\ell_2$ , затем одновременное сверление отверстия d1 на длину  $\ell_2 + \ell_3 + \Delta_{\text{св}}$ , зенкерование второй ступени отверстия d2 на длину  $\ell_2 + \ell_3$  и третьей ступени отверстия d3 на длину  $\ell_3$ .

Основное время при работе сверла:

$$T_{\text{осв}} = \frac{L + Y}{n \cdot S}, \text{ где } \ell = (L + \Delta_{\text{св}}) - (\ell_2 + \ell_3),$$

y – врезание сверла, мм.

Основное время при работе первого

$$\text{зенкера: } T_{\text{оз1}} = \frac{\ell_2 + \ell_3}{n \cdot S}.$$

Основное время при работе второго

$$\text{зенкера: } T_{\text{оз2}} = \frac{\ell_3}{n \cdot S}.$$

Ввиду того что зенкерование обоих диаметров d2 и d3 полностью совмещено по времени со сверлением диаметра d1, расчёт суммарного основного времени сводится к формуле:

$$T_{\Sigma_9} = T_{\text{осв}} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S},$$

где  $U_{\text{св}}$  – врезание сверла,  $\Delta_{\text{св}}$  – перебег сверла, мм.

Разница в основном времени с обработкой одномерными инструментами составит:

$$\begin{aligned} T_{\text{оз}} &= T_{\Sigma_7} - T_{\Sigma_9} = \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S} + \\ &+ \frac{\ell_4}{n \cdot S} + \frac{\ell_3}{n \cdot S} - \frac{L + U_{\text{св}} + \Delta_{\text{св}}}{n \cdot S} = \\ &= \frac{\ell_4}{n \cdot S} + \frac{\ell_3}{n \cdot S}, \end{aligned}$$



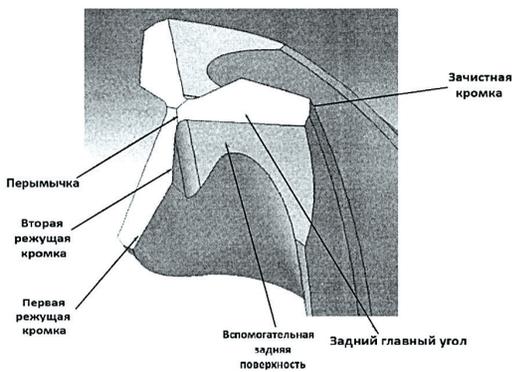


Рис. 11. Трёхкромочное сверло.

где  $L$  – длина отверстия,  $\Delta_{св}$  – перебег сверла,  $У_{св}$  – врезание сверла, мм. При этом  $l_3$  и  $l_4$  – длина ступеней отверстия ( $l_4 = l_2 + l_3$ ).

Отсюда заключение:

1. При работе комбинированным инструментом по комбинированной схеме чем больше число ступеней отверстия и чем больше их длина, тем больше выигрыш в основном времени по сравнению с обработкой одномерными инструментами.

2. Чем меньше длина сверла, тем раньше начнётся процесс совмещённой обработки и больше будет выигрыш в основном времени по сравнению с обработкой одномерными инструментами.

Разумеется, знают специалисты, что комбинированные осевые инструменты имеют и ряд недостатков. К примеру, высокая степень концентрации режущих кромок обеспечивает срезание большей массы металла, но увеличивает конструкцию сил и температуру резания на общем корпусе инструмента, что ухудшает условия его работы.

Увеличение объёма срезаемого металла затрудняет его отвод по стружечным канавкам, а это может привести к пакетированию стружки. Пакетирование стружки происходит также и при наличии уступов на поверхностях стружечных канавок, что имеет место при большой разнице между диаметрами ступеней инструмента. Оно же ведёт к увеличению сил трения, повышению температуры в зоне резания. Рост сил трения создаёт предпосылки к разбивке и шероховатости поверхности отверстия, а иногда и к поломке инструмента.

Подобные недостатки присущи и одномерным инструментам, но у комбинированных они проявляются в большей степени и тем самым порой ограничивают их применение. Однако ситуация меняется, недостатки удаётся сокращать инновационными средствами. В последние годы в инструментальной промышленности наблюдается значительный прогресс, что объясняется как применением новых инструментальных материалов и износостойких покрытий, так и созданием новых конструкций инструментов [14].

Благодаря этому прогрессу появилась возможность:

1. При конструировании осевых комбинированных инструментов, имеющих в своём составе сверло, применять сменные сверлильные головки (рис. 10), с помощью которых можно значительно продлить срок службы инструмента. Такие головки выпускаются с диаметрами от 8 до 25 мм и допускают до трёх переточек.

2. Выпускать осевые комбинированные инструменты с внутренними каналами для подвода охлаждающей жидкости. Внутреннее охлаждение способствует интенсивному теплоотводу и тем самым снимает многие прежние проблемы.

3. В инструментах типа сверло-зенкер число канавок сверла и зенкера должно быть по возможности одинаковым или кратным одно другому. Поэтому в инструментах, где есть трёхкромочные зенкеры, теперь возможно и трёхкромочное сверло (рис. 11) с последующим плавным переходом его канавок в более широкие канавки зенкера. При применении четырёхкромочных зенкеров следует использовать двухкромочные сверла с плавным переходом канавок в совпадающие с ними, но более широкие канавки зенкера.

4. Известно, что при обработке резанием значительная часть тепла уходит в тело инструмента. Поэтому решено корпуса инструментов делать более массивными из сталей, обладающих не только заданными механическими характеристиками, но и хорошей теплопроводностью.

5. При значительном перепаде в диаметрах отдельных ступеней отвод стружки от первой из них рекомендуется осуществлять через внутренние стружечные каналы (от-

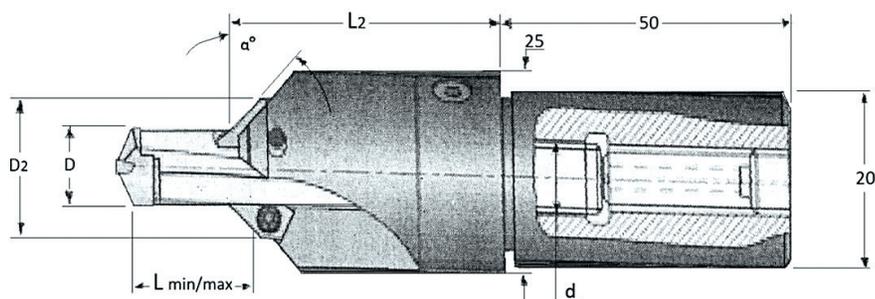


Рис. 12. Комбинированное сверло-зенковка со сменными неперетачиваемыми пластинами.

верстия), выполненные в смежной ступени.

6. Облегчают условия эксплуатации комбинированного сверла-зенковки сменные неперетачиваемые пластины с механическим креплением и износостойким покрытием (рис. 12).

Что касается ещё одной позиции, нуждающейся в усилении – повышенной разбивки отверстий, то она в основном связана с точностью изготовления инструмента и классом металлорежущего станка. К примеру, известны последствия несимметричной заточки сверла и важность предварительной зацентровки центровочным сверлом. После углубления сверла-зенкера на  $1,25-1,5 d$  оно выполняет роль направляющей цапфы и способствует уменьшению разбивки отверстия.

Разумеется, все указанные изменения должны быть согласованы с конфигурацией обрабатываемого отверстия, материалом детали, требованиями к точности отверстия и качеству поверхности.

## ВЫВОДЫ

1. Появление современных инструментальных материалов и износостойких покрытий в конструкциях комбинированных инструментов позволяет значительно расширить сферу их применения.

2. Использование новых вариантов конструкций одномерных инструментов в конструкциях комбинированных инструментов устраняет многие присущие им недостатки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мальшко И. А. Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации). – Донецк: ПКТИ, 1996. – 135 с.
2. Автоматизация процессов машиностроения: Учеб. пособие / Я. Буда, В. Гански, В. С. Вахман и др. / Под ред. А. И. Дашенко. – М.: Высшая школа, 1991. – 480 с.
3. Маслов А. Р. Современные тенденции в конструировании специального режущего и вспомогательного инструмента для автоматизированного производства. – М.: ВНИТЭМПР, 1985. – 48 с.
4. Родин П. Р. Металлорежущий инструмент. – Киев: Вища школа, 1986. – 455 с.
5. Резников А. Н., Яшин Г. Г. Спиральные сверла. НПИЛ / Сб. материалов Всесоюзного совещания по сверлам. – Вильнюс, 1966. – С. 33–38.
6. Шаумян Г. В. Автоматизация производственных процессов и их эффективность. – М.: МВТУ, 1973. – 86 с.
7. Татьянченко А. Г., Лаппо И. Н. Особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий комбинированным осевым инструментом // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Вип. 40. – 2013. – С. 178–183.
8. Иванова М. С. Математическое моделирование процесса обработки отверстий комбинированным осевым инструментом // Вісник НТУ. – 2015. – № 4. – С. 72–75.
9. Гречишников В. А., Уваров Н. А. Комбинированный инструмент с планетарным движением для обработки отверстий сложной формы // НТО. – 2000. – № 1. – С. 13.
10. Бочков Н. К., Сафонова В. Н. Экономия металла в прокатном производстве. – М.: Металлургия, 1997. – 336 с.
11. Татарских Б. Я., Шмунк М. М. Вопросы исследования факторов экономии металла в отечественном машиностроении // Вестник ОГУ. – 2008. – № 8. – С. 50–55.
12. Бармута К. А. Экономические аспекты технического развития производства на предприятиях машиностроения / Автореф. дис... канд. экон. наук. – Ростов-на-Дону, 2001. – 23 с.
13. Ульянов Е., Масленникова О. Инвестиционный рынок России: оценка ситуации // Инвестиции в России. – 2000. – № 12. – С. 10–15.
14. Общий каталог фирмы Taegu Tec, 2011. <http://www.solion.ru/catalog/taegutech/tableofcontents.pdf>. Доступ 13.08.2016.

Координаты авторов: Попов А. П. – pap60@bk.ru, Свириденко Д. С. – d\_sviridenko@mail.ru, Комаров Ю. Ю. – yk5@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 07.09.2016, принята к публикации 13.08.2017.

