

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА В ПАТРОНЕ СТАНКА ПРИ СВЕРЛЕНИИ СТЕКЛОКЕРАМИКИ

В.А. Рогов, М.И. Шкарупа

Кафедра технологии, металлорежущих станков и инструментов
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Приведены результаты исследований алмазного сверления стеклокерамики. Построены диаграммы радиальных отжатий сверла при различном количестве зажимных элементов патрона сверлильного станка. Получена зависимость радиальной жесткости системы патрон—сверло от количества зажимных элементов патрона.

Ключевые слова: инструмент, сверление, патрон, жесткость, шпиндель.

В технологической системе «станок—приспособление—инструмент—деталь» (СПИД) при обработке отверстий в деталях из сверхтвердых материалов корпус алмазного сверла является наиболее слабым звеном. В наибольшей степени это проявляется при обработке отверстий малого диаметра (от 1 до 5 мм). Из схемы сил (рис. 1), возникающих при сверлении, можно сделать вывод, что корпус инструмента воспринимает действия осевой силы P_o , крутящего $M_{кр}$ и изгибающего $M_{и}$ моментов и находится в сложном напряженном состоянии. Поэтому расчет корпуса на прочность необходимо выполнять по приведенному или эквивалентному напряжению $\sigma_{пр}$. Расчетная величина этого напряжения определяется по теориям прочности, соответствующим физико-механическим свойствам материала корпуса сверла.

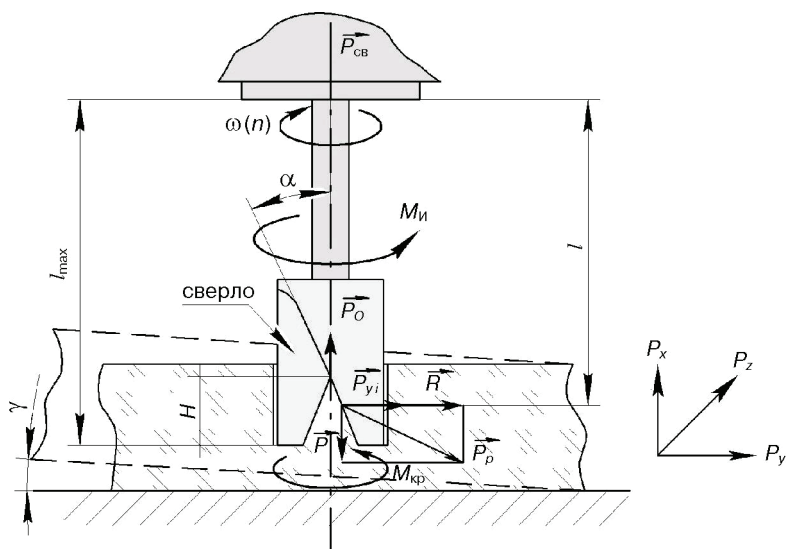


Рис. 1. Схема действия сил и моментов при обработке отверстий алмазными сверлами

Кроме расчетов на прочность, должны быть выполнены расчеты корпусов сверл на продольный изгиб (устойчивость) из условия:

$$\frac{P_O}{F_H} \leq \Psi [\sigma_{сж}], \quad (1)$$

где P_O — осевая сила, Н; F_H — площадь поперечного сечения корпуса с учетом местных ослаблений, м²; $\sigma_{сж}$ — допускаемые напряжения на сжатие, Н/м²; Ψ — коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения сжатого стержня.

Из анализа устойчивости корпуса определяется и предельная длина l_{\max} сверла, зажатого в патроне (рис. 1):

$$l_{\max} \leq \frac{1}{\mu} \lambda \sqrt{\frac{J_{\min}}{F}}, \quad (2)$$

где μ — коэффициент отжатия сверла, зажатого в патроне при сверлении без кондуктора равен 2; λ — коэффициент гибкости корпуса сверла; J_{\min} — наименьшая величина момента инерции поперечного сечения корпуса, Нм; F — площадь поперечного сечения сверла без учета местных ослаблений, м².

При расчетах принимались значения силовых характеристик процесса сверления в следующих пределах: при средней величине подачи $20 \cdot 10^{-5}$ м/с осевая сила P_O равна 7 Н, а крутящий момент $M_{кр}$ — 1,2 Н·м.

Изгибающий момент $M_{из}$, являющийся одной из основных причин возникновения динамических погрешностей обработки, рассчитывается как сумма моментов от радиальной составляющей силы резания P_y , [Н] и реактивной радиальной силы R , [Н] по формуле

$$M_{из} = l \cdot \left[\frac{1}{H} \int_0^H P_y H dH + P_{св} \cdot \text{ctg}(\alpha + \varphi) \right]. \quad (3)$$

Радиальная составляющая P_y силы резания при обработке сверлами с наклонным под углом α продольным пазом для бескернового сверления, может быть представлена как нагрузка, распределенная по закону $P_y(H)$ (где H — эффективная длина паза, мм), вдоль линии контакта внутренней поверхности паза и поверхности керна. Эффективная длина H паза определяется расстоянием от торца сверла до точки 0 (см. рис. 1) пересечения образующей паза с продольной осью сверла. Реактивная радиальная сила R , [Н], создающая дополнительный изгибающий момент, возникает при износе алмазонасного слоя на поверхности и паза, когда устойчивость процесса резания нарушается и происходит скольжение сверла по наклонной поверхности керна (см. рис. 1):

$$R = P_{св} \cdot \text{ctg}(\alpha + \varphi), \quad (4)$$

где $P_{св}$ — сила, приложенная к сверлу, определенная с учетом трения на скосе, [Н]; $\text{tg } \varphi$ характеризует коэффициент трения по наклонной поверхности паза. Величина дополни-

тельного изгибающего момента существенно зависит от угла α наклона паза, так как при малых углах $\alpha = 5\text{—}15^\circ$ величина реактивной силы R превышает осевую силу в 4—10 раз. Следовательно, для уменьшения реактивного момента необходимо увеличивать угол α .

Однако увеличивать угол α можно лишь в определенных пределах, так как в сверлах малого диаметра при увеличении α свыше 25° длина продольного паза становится недостаточной для надежной подачи СОЖ в зону резания (даже при сверлении на малую глубину) и стойкость сверл резко снижается. Исходя из этих требований угол α (для сверл $\varnothing 1\text{—}3$ мм) целесообразно выбирать в пределах $20\text{—}25^\circ$.

Максимально допустимые расчетные по пределу прочности величины изгибающего момента $M_{\text{д}}$ для сверл диаметром 1 мм и 2 мм длиной 30 мм с трубчатым корпусом из нержавеющей стали составляют соответственно 0,01 и 0,08 Н·м.

Для обработки отверстий малого диаметра в деталях из стекла и керамики наиболее эффективно применение бескерновых сверл с глубоким пазом в алмазоносном слое. В случае использования алмазных сверл трубчатой формы диаметром менее 3 мм керн внутри сверла может ломаться. В результате подача СОЖ в зону резания прекращается, и сверление в большинстве случаев становится невозможным из-за перегрева алмазоносного слоя и его поломки.

При обработке отверстий большого диаметра (5—20 мм) оптимальной конструкцией алмазного инструмента является тонкостенное кольцо. Преимущества этой конструкции по сравнению с бескерновыми сверлами заключаются в том, что скорости резания на всех участках алмазоносного слоя равны по величине, алмазы и энергия не расходуются на истирание центральной части обрабатываемого материала — керна, уменьшается осевое усилие, повышается производительность.

Однако соосное расположение наружной и внутренней частей алмазоносного слоя трубчатых сверл может привести к заклиниванию керна, поэтому внутреннюю образующую алмазоносного слоя выполняют эксцентричной относительно наружной поверхности (эксцентриситет порядка 0,1—0,3 мм), что обеспечивает надежное попадание СОЖ в зону резания и предотвращает заклинивание керна.

Жесткость и точность закрепления сверла в патроне определяется жесткостными и демпфирующими свойствами упругой системы «патрон — сверло». Рассмотрим эту систему в поперечном сечении, пренебрегая крутильной жесткостью лепестков цанги и моментом сил сопротивления в контакте «патрон — шпиндель».

В процессе обработки на сверло действует радиальная сила $P_p = (P_y + R)$ (рис. 2) относительно направления действий, которых направление максимального значения радиальных сил зажима от зажимных элементов патрона, характеризуемое углом α_p , при вращении шпинделя постоянно изменяется. Зажимные элементы, количество которых Z конечно, создают силы зажима T , приложенные к сверлу под углами $2\pi/Z$ друг к другу (при равномерном их расположении по окружности).

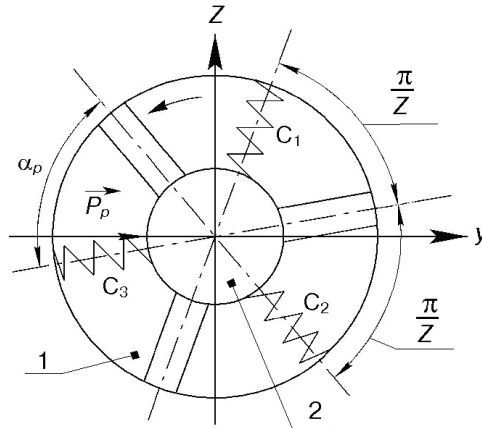


Рис. 2. Расчетная схема для анализа неравномерности радиальной жесткости системы патрон-сверло (П-С) по угловой координате:

1 — цанга; 2 — корпус сверла

В направлении i -го зажимного элемента система «патрон—сверло» характеризуется приведенной жесткостью C_i . Принимаем допущение, что радиальные жесткости в направлении всех зажимных элементов равны $C_1 = C_2 = C_3$ (при $Z = 3$) и закон изменения упругих сил в системе линейный.

Условие $\alpha = 0$ соответствует положению системы, когда сила P_p действует со стороны прорези между элементами в направлении зажимного элемента (см. рис. 2), а при $\alpha_p = \pi/Z$ в направлении прорези между зажимными элементами. В силу осевой симметрии достаточно определить радиальные отжатия в интервале α_p : $[0; \pi/Z]$.

Совместим направление действия силы P_p с осью Oy . Тогда при вращении шпинделя сила будет действовать периодически на зажимной элемент или в направлении прорези между соседними элементами. Такая схема зажима сверла, используемая в цанговых, кулачковых и другого типа патронах с сосредоточенными в определенных направлениях силам зажима, несовершенна с точки зрения равномерности радиальной жесткости по угловой координате.

Если определить суммарную податливость системы «патрон—сверло» в направлении Oy исходя из принятых допущений

$$\varepsilon = \frac{1}{C_1} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{Z} - \alpha_p\right) + \frac{1}{C_2} \cdot \cos\alpha_p + \frac{1}{C_3} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{Z} - \alpha_p\right) \quad (5)$$

или с учетом $C_1 = C_2 = C_3 = C_{\max}$

$$\varepsilon = \frac{1}{C_{\max}} \cdot \left[\cos\left(\frac{2\pi}{Z} - \alpha_p\right) + \cos\alpha_p + \cos\left(\frac{\pi}{Z} - \alpha_p\right) \right]$$

и выполнить действия с тригонометрическими функциями, стоящими в скобках, получим аналитическую зависимость, характеризующую изменение радиальных отжатий системы «патрон—сверло» по угловой координате в виде

$$y = P_p \cdot \varepsilon = P_p \cdot \frac{1}{C_{\max}} \cdot \delta, \quad (6)$$

где $d = \cos\left(\frac{p}{Z} - \delta_p\right) \left(2 \cos \frac{p}{Z} + 1\right)$ — коэффициент изменения жесткости.

На основании (5) изменение жесткости системы «патрон—сверло» по угловой координате описывается зависимостью

$$C(Z, \alpha_p) = \frac{C_{\max}}{\delta}. \quad (7)$$

Теоретические полярные диаграммы (рис. 3) радиальных отжатий системы «патрон—сверло» при различном количестве зажимных элементов, построенные на основании зависимости (5), характеризуют несовершенство систем закрепления с сосредоточенными силами зажима.

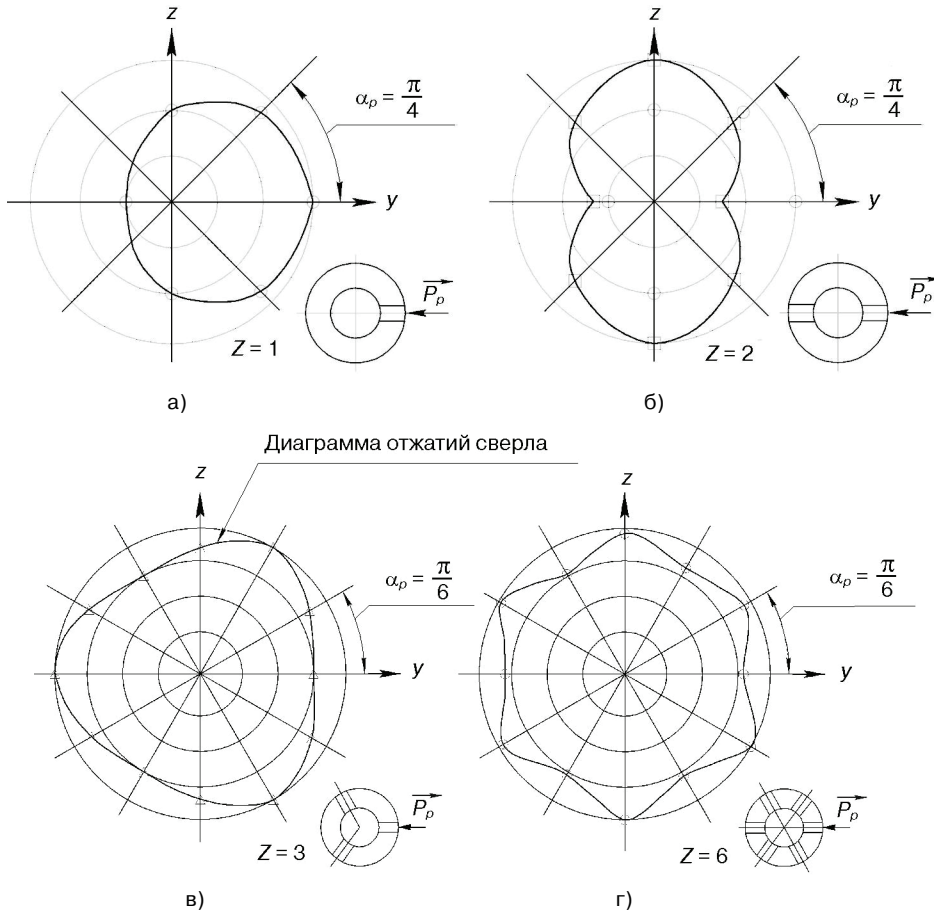


Рис. 3. Теоретические полярные диаграммы радиальных отжатий сверла при различном количестве Z зажимных элементов патрона сверлильного станка

При обработке сверлом, зажатым в разрезной втулке ($Z = 1$), диаграмма радиальных отжатий (см. рис. 3 а) близка к окружности, смещенной в направлении противоположном силе P_p . Наиболее неблагоприятный случай при $Z = 2$ (см. рис. 3 б), когда коэффициент, характеризующий неравномерность радиальной жесткости по угловой координате, принимает максимальное значение $\lambda_\delta = 2$ (рис. 4). Поэтому двухлепестковые цанги или патроны других конструкций с двумя зажимными элементами применять нецелесообразно, кроме того, такие патроны не обеспечивают надежного зажима:

$$\lambda_\delta = \frac{2(\delta_{\max} - \delta_{\min})}{\delta_{\max} + \delta_{\min}}.$$

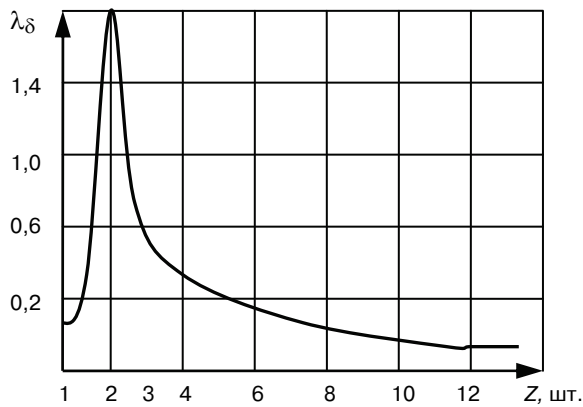


Рис. 4. Зависимость коэффициента неравномерности радиальной жесткости системы патрон—сверло λ_δ от количества зажимных элементов Z патрона сверлильного станка

В наиболее распространенном в практике случае $Z = 3$, диаграмма радиальных отжатий трехлепестковой цанги (см. рис. 3 в) имеет явно выраженную трехгранную форму. При дальнейшем увеличении количества зажимных элементов коэффициент неравномерности λ_δ уменьшается, диаграммы приобретают более плавный характер (см. рис. 3 г).

Симметрия форм теоретических диаграмм обеспечивается принятым допущением $C_1 = C_2 = C_3$, однако это условие в цанговых зажимных механизмах выполняется редко. Переменная составляющая радиальной жесткости возникает, кроме того, вследствие крутильной податливости зажимных элементов и изменения условий их контактирования со шпинделем и корпусом сверла в процессе резания. С учетом перемещений, обусловленных указанными факторами, уточнялись полярные диаграммы отжатий, что позволило сделать их качественное сравнение с экспериментальными.

Несимметричная форма экспериментальных диаграмм, наряду с условием для реальных систем $C_1 \neq C_2 \neq C_3$ объясняется тем, что отжатия системы «шпиндель — опоры» при действии силы P_p , суммируясь с отжатиями системы «пат-

рон—сверло», изменяют форму полярных диаграмм радиальных отжятий сверла. Поэтому при установке в шпиндель станка, например, цанговых патронов, последние необходимо ориентировать по угловой координате таким образом, чтобы направления наибольшей податливости системы «патрон—сверло» не совпадали с такими направлениями в системе «шпиндель—опоры», а суммарные отжатия системы «шпиндель — патрон — сверло» были минимальными во всех направлениях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Резников А.Н.* Абразивная и алмазная обработка материалов. — М.: Машиностроение, 1977.
- [2] *Семко М.Ф., Грабченко А.И.* Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. — Харьков: Вища школа, 1980.
- [3] *Ногарев М.В., Дзема Н.В., Рогачев Л.Н., Шкарупа М.И.* Отчет № 17 «Разработка прогрессивных технологических процессов механической обработки деталей специального назначения из стекла и керамики». — Обнинск: Технология, 2007.
- [4] *Петруха П.Г., Марков А.И.* Технология обработки конструкционных материалов. — М.: Высшая школа, 1992.

THE EFFECT OF THE STRENGTH OF TOOL CLAMPING IN THE CHUCK ON THE PROCESS OF GLASS CERAMICS DRILLING

V.A. Rogow, M.I. Shkarupa

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The results of the investigations of glass ceramics diamond drilling are given in the paper. The diagrams of radial drill deflection for a chuck drill with a different number of clamping elements are plotted. The dependence of radial strength of the chuck-drill system on the number of clamping elements in the chuck is shown.

Key words: the tool, drilling, a cartridge, rigidity, a spindle.