

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕНОСНЫХ УСТРОЙСТВ

© 2010 В.Г. Голдобина

Белгородский государственный технологический университет

Поступила в редакцию 31.03.2010

Рассмотрена технология совместной обработки отверстий во фланцевых соединениях крупногабаритного оборудования при ремонте с использованием переносных устройств. Установлена зависимость точности обработки отверстий от сил резания и жесткости технологической системы таких устройств. Теоретические вычисления подтверждают закономерность изменения формы отверстия по его длине с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *отверстие, точность обработки, переносные устройства*

В промышленности строительных материалов, химической и других отраслях работает крупногабаритное оборудование, которое при эксплуатации подвергается различным внешним воздействиям, под влиянием которых их надежность снижается, что требует периодической замены быстро изнашиваемых деталей. Это касается, например, мельниц, применяемых для помола сырья, которые имеют непрерывный цикл работы. Поэтому основной задачей ремонта является сокращение его сроков. Важным условием снижения сроков и стоимости ремонта является его механизация и специализация. В большинстве своем узлы крупногабаритного оборудования имеют фланцевые соединения, скрепляемые болтами. При замене узлов основным техническим условием является совмещение во фланцах отверстий под болты. Это обеспечивается совместной обработкой отверстий в соединяемых деталях. Во фланцах мельниц, применяемых в цементной промышленности, четвертая часть болтов от общего количества являются прецизионными. На прецизионные болты приходится основная нагрузка мельницы, и они работают на срез, поэтому особое внимание при ремонте уделяется обработке отверстий под них.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований в НИЛ настоящего вуза разработана технология совместной обработки отверстий фланцевых соединений крупногабаритного оборудования

с использованием переносных устройств и станков. В настоящей работе рассматривается влияние сил резания и жесткости технологической системы на точность обработки отверстий с использованием переносных устройств с подвижной сверлильной головкой.

При обработке отверстий сверлением, зенкерованием, развертыванием возникают упругие отжатия технологической системы, вызывающие разбивку и изменение формы отверстия в поперечном и продольном сечениях. Акцент в работе сделан на сверление – как процесс, при котором возникают наибольшие силы резания и наибольшая неточность обрабатываемого отверстия. На систему «станок – инструмент» действуют [1] сила подачи, вызывающая равнодействующую силу P_0 – осевое усилие, крутящий момент, оказывающий влияние на тангенциальные составляющие режущих кромок сверла R_{z1} и R_{z2} , и неуравновешенная радиальная сила $\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}$. Отжим конца сверла и системы в целом происходит именно под влиянием силы ΔP_y , смещающей режущие кромки сверла относительно оси вращения, что является причиной увеличения диаметра (разбивки) и изменения формы отверстия при сверлении. Появлению такой силы являются неравномерность главных режущих кромок, смещение поперечной режущей кромки и различные углы в плане у сверла. По экспериментальным данным, полученным на переносных устройствах, приближенное значение неуравновешенной радиальной силы можно определить следующей зависимостью:

$$\Delta P_y \approx 0,0185(1-f)P_0, \quad (1)$$

Голдобина Валентина Григорьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: tmrk@intbel.ru

где f – отношение осевого усилия, действующего на поперечную кромку спирального сверла к усилию подачи ($f \approx 0,5$).

Осевое усилие P_0 также оказывает влияние на изгиб сверла. Его можно рассчитать по формуле:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot d \cdot s^y \cdot K_p \cdot K_0,$$

где C_p – коэффициент; q, y – показатели степени; d – диаметр сверла, мм; s – подача, мм/об; K_p – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала заготовки; K_0 – коэффициент, зависящий от влияния режущих кромок и ленточек.

Технологическую систему переносного устройства с подвижной сверлильной головкой (ПСГ) можно представить как двухпролетную балку разных сечений по длине (рис. 1.).

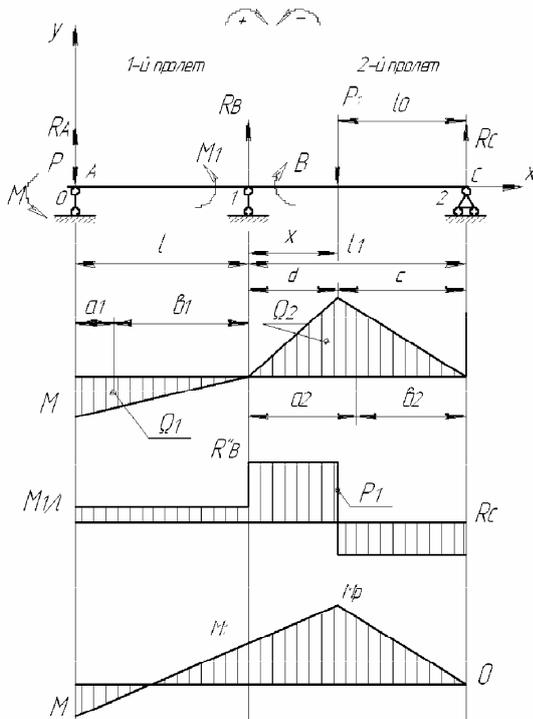


Рис. 1. Схема для определения прогиба в системе с ПСГ

Такая система является один раз статически неопределимой [2]. Опоры нумеруются следующим образом: опора в точке A – опора 0; в точке B – опора 1; в точке C – опора 2. Участок AB – первый пролет, участок BC – второй пролет. Начало координат в точке A . Входные данные технологической системы следующие: $P = \Delta P_y$ – неуравновешенная радиальная сила; P_1 – сосредоточенная сила – вес подвижной сверлильной головки (ПСГ); M

– момент на режущих кромках от осевого усилия, $M = P_0 d / 2$, где P_0 – осевое усилие, d – диаметр режущего инструмента; l – длина вылета режущего инструмента от шпинделя; l_1 – расстояние между опорами направляющих; x – переменная величина перемещения равная длине обработки, то есть толщине заготовки – $x_{max} = H$. Величина x изменяется от правого положения в левое к опоре 1 с значения $x_{max} = H$ к $x = 0$, то есть $x \rightarrow 0$.

Для пролетов строятся эпюры моментов и сил (рис. 1.). Так как данная система является один раз статически неопределимой, то уравнение трех моментов записывается один раз для промежуточной опоры 1 [2]:

$$M_0 \cdot l + 2M_1(l + l_1) + M_2 \cdot l_1 = -6 \left(\frac{\Omega_1 a_1}{l} + \frac{\Omega_2 \cdot b_2}{l_1} \right), \quad (2)$$

где Ω_1 – площадь эпюры от заданной нагрузки на первом пролете: $\Omega_1 = M l / 2$, Ω_2 – площадь эпюры на втором пролете: $\Omega_2 = P_1 l_0 x / 2$, a_1 и b_2 – расстояние центров тяжести указанных площадей от левой и правой опор своего пролета: $a_1 = l / 3$ и $b_2 = (2l_1 - x) / 3$

$$M_0 = M_A = -M, \quad M_2 = M_C = 0.$$

После подстановки в выражение (2) приведенных данных оно примет вид:

$$-M \cdot l + 2M_1(l + l_1) = -6 \cdot \left(\frac{\frac{1}{2} M l \cdot \frac{1}{3} l}{l} + \frac{\frac{1}{2} P_1 \cdot l_0 \cdot x \cdot \frac{1}{3} (2l_1 - x)}{l_1} \right) \quad (3)$$

Из выражения (3) определяется момент в опоре 1:

$$M_1 = -\frac{P_1 \cdot l_0 \cdot x (2l_1 - x)}{2 \cdot l_1 (l + l_1)}$$

Для построения окончательных эпюр M и Q для каждого пролета выполнены расчеты (здесь они опущены), которые имеют следующие значения:

$$R_A = \frac{M + M_1}{l} - P$$

$$M_A(0) = -M, \quad M_A(l) = R_A \cdot l + P \cdot l - M = M_1.$$

$$R_B = \frac{P_1 \cdot l_0}{l_1} - \frac{M_1(l + l_1)}{l \cdot l_1} \quad R_C = \frac{P_1 x + M_1}{l_1}$$

$$M_P = \frac{P l_0 (l_1 - l_0) + M_1 \cdot l_0}{l_1}$$

Для составления дифференциального уравнения упругой линии системы необходимо определить изгибающий момент технологической системы, который можно представить следующим выражением [2]:

$$M(x) = R_A(l+l_1) - M(l+l_1)^0 - P(l+l_1) + R_B(l_0+x) + M_1(l_0+x)^0 - P_1 l_0 \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение упругой линии системы имеет вид:

$$\frac{dy^2}{dx^2} = \frac{1}{E_u \cdot J_u} (R_A(l+l_1) - M(l+l_1)^0 - P(l+l_1)) + \frac{1}{E \cdot J} (M_1(l_0+x)^0 + R_B(l_0+x) - P_1 \cdot l_1) \quad (5)$$

где E_u – модуль упругости режущего инструмента; J_u – момент инерции инструмента; E – модуль упругости направляющих, по которым перемещается сверлильная головка; J – момент инерции направляющих. Проинтегрировав выражение (5) дважды, получится уравнение упругой линии системы следующего вида:

$$y(x) = y_0 + \Theta \cdot x + \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left[\frac{R_A(l+l_1)^3}{6} - \frac{M(l+l_1)^2}{2} - \frac{P(l+l_1)^3}{6} \right] + \frac{1}{E \cdot J} \left[\frac{M_1(l_0+x)^2}{2} + \frac{R_B(l_0+x)^3}{6} - \frac{P_1 \cdot l_0^3}{6} \right] \quad (6)$$

Начальные параметры прогиба y_0 и угла поворота Θ можно определить по первому пролету. Дифференциальное уравнение пролета 1 имеет вид:

$$y(x) = \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left[\frac{P_0 \cdot d \cdot l_1 (l+l_1) \cdot (l_1-l)}{12 \cdot l} - \frac{P l_1 (l+l_1) \cdot (2l-l_1)}{3} - \frac{P_1 \cdot l_0 \cdot x(2l_1-x) \cdot (2l-l_1)}{12 \cdot l} \right] +$$

$$\frac{d^2 y}{dx} = \frac{1}{E_u \cdot J_u} [-MX^0 + R_A X - PX]$$

Данное уравнение интегрируется один раз и получается уравнение угла поворота:

$$\frac{dy}{dx} = \Theta_0(x) = \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left[-Mx + \frac{R_A X^2}{2} - \frac{PX^2}{2} + C \right]$$

Для балки на двух шарнирных опорах прогибы на этих опорах равны нулю: при $X=0$ $y(0) = 0 \Rightarrow y_0 = 0$; при $X=l$ $y(l) = 0 \Rightarrow y_A = y_B = y_C = 0$.

Уравнение прогиба пролета 1:

$$y(l) = \Theta \cdot l + \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left[-\frac{Ml^2}{2} + \frac{R_A l^3}{6} - \frac{Pl^3}{6} \right] = 0 \quad (7)$$

Из этого выражения находится значение Θ_0 :

$$\Theta = \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left(\frac{P \cdot l^2}{3} + \frac{2Ml}{6} - \frac{M_1 \cdot l}{6} \right) \quad (8)$$

Подставив в уравнение (6) значения y_0 и Θ_0 , получится уравнение отжатия технологической системы устройства с ПСГ для любого участка в пределах изменения x :

$$y(x) = \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left(\frac{P \cdot l^2}{3} + \frac{2Ml}{6} - \frac{M_1 \cdot l}{6} \right) (l+l_1) + \frac{1}{E_u \cdot J_u} \left[\frac{R_A(l+l_1)^3}{6} - \frac{M(l+l_1)^2}{2} - \frac{P(l+l_1)^3}{6} \right] + \frac{1}{E \cdot J} \left[\frac{M_1(l_0+x)^2}{2} + \frac{R_B(l_0+x)^3}{6} - \frac{P_1 \cdot l_0^3}{6} \right] \quad (9)$$

Уравнение (9) можно преобразовать, введя в него значения M_l , R_A , R_B и M . После преобразования формула отжима технологической системы устройства с подвижной сверлильной головкой имеет вид:

$$+ \frac{P_1 \cdot l_0}{4 \cdot E \cdot J} \cdot \left[\frac{(l_0 + x)^3 \cdot (2l \cdot l_1 + l_1 x - x^2) - 2l_0^2 \cdot l \cdot l_1^2}{3l \cdot l_1^2} \cdot \frac{x(2l_1 - x) \cdot (l_0 + x)^2}{l_1(l + l_1)} \right] \quad (10)$$

По полученной формуле проведены вычисления изменений формы отверстия по длине при сверлении с введением в неё тех же параметров, что и при проведении экспериментов. Эта формула также применима и к переносным сверлильным станкам с подвижной сверлильной головкой.

Эксперименты по исследованию влияния различных факторов процесса сверления на точность отверстия проводились с использованием переносного устройства с подвижной сверлильной головкой типа УСЭ047, разработанного и изготовленного в НИЛ вуза. В результате проведенных экспериментов выявлено отклонение формы отверстия по длине от цилиндричности [3]. Характер изменений формы отверстия по его длине вычисленных по формуле (10) и полученных по результатам экспериментов представлен кривыми (рис. 2).

Как видно по кривым (рис. 2) форма отверстия седлообразная с максимальным диаметром на входном торце и минимальным – на выходном торце и сужением (образованием горловины) к середине длины. Теоретические вычисления подтверждают закономерность изменения формы отверстия по его длине и не занижают погрешность от разбивки по диаметру в сравнение с действительными значениями. По формуле (10) можно также производить расчеты погрешности обработки отверстий при зенкеровании и развертывании, для которых значения сил P и P_0 рассчитываются по соответствующим формулам. Для переносных станков и устройств, имеющих направляющие втулки для инструмента, вылет режущего инструмента в формуле (10) принимается равным расстоянию от выходного торца втулки до поверхности заготовки.

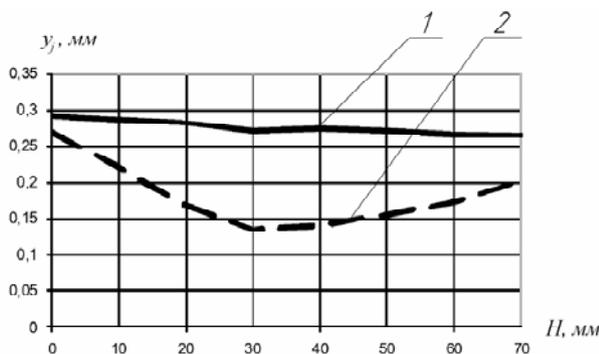


Рис. 2. Кривые формы отверстия в продольном сечении: 1 – теоретическая кривая; 2 – фактическая кривая

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Колев, К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Л.М. Горчаков. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.
2. Биргер, И.А. Сопротивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
3. Голдобина, В.Г. Сверление на переносных установках / В.Г. Голдобина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №11. – Белгород, 2005. – С. 289-291.

ACCURACY OF PROCESSING THE APERTURES WITH THE USE OF PORTABLE DEVICES

© 2010 V.G. Goldobina

Belgorod State Technological University

The technology of joint processing of apertures in butt joints of large-sized equipment at repair with use of portable devices is considered. Dependence of accuracy of processing the apertures on forces of cutting and rigidity of technological system of such devices is established. Theoretical calculations confirm regularity of change of the form of aperture on its length with experimental data.

Key words: aperture, accuracy of processing, portable devices

Valentina Goldobina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Machine Building Technology. E-mail: tmrk@intbel.ru