

УДК 621.95.01  
DOI:10.30987/2223-4608-2021-4-38-42

**М.И. Мышкин**, аспирант  
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29)  
E-mail: maxixam85@mail.ru

## Применение корректировки оси отверстия при сверлении труб различного назначения

*Рассмотрена установка, обеспечивающая управление и контроль параметров режущего инструмента при глубоком сверлении труб различного назначения с целью повышения эффективности обработки глубоких отверстий в деталях типа «труба». Установка позволяет контролировать следующие параметры: вращение инструмента, подачу, вращение детали, биение по наружной поверхности детали и толщину ее стенки.*

**Ключевые слова:** обработка глубоких отверстий; увод оси отверстия; отклонение оси отверстия; коррекция оси.

**M.I. Myshkin**, Post graduate student  
(Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomolsky Avenue, Perm, 614990)

## Application of hole axis alignment at drilling pipes of different purpose

*A plant ensuring control of cutter parameters during deep drilling pipes of a different purpose to increase effectiveness of deep hole machining in parts of “pipe” type is considered. The plant allows controlling the following parameters: tool rotation, feed, parts rotation, runout on the outer surface of a part and its wall thickness.*

**Keywords:** deep hole machining; hole axis moving away; hole axis deviation; axis correction.

При соотношении диаметра отверстия к его длине в десять и более раз отверстие называют глубоким. При обработке отверстий погрешности обработки образуются уже при показателе равным четырем [1]. Характерные погрешности при такой обработке – «разбивка отверстия», «увод оси» и др. Главной задачей при обработке является обеспечение по всей длине требуемой точности диаметра отверстия, его формы, равностенности, качества поверхности и прямолинейности [2].

Чтобы обеспечить заданную прямолинейность требуется максимально исключить увод оси отверстия от оси вращения детали. Для чего применяют следующие решения:

- отвод стружки из зоны резания и самого отверстия и подача под давлением смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ);
- стабилизация инструмента/детали;
- снижение вибраций станка и детали;
- управление режущим инструментом.

Перечисленные методы способны снизить увод оси отверстия в определенном сечении детали, но при увеличении длины сверления избежать увода оси не удастся.

На сегодняшний день наиболее эффективным и современным способом борьбы с уводом является применение режущего инструмента, способного производить корректировку увода от оси вращения детали, на основе которого построена рассматриваемая установка управляемого сверления глубоких отверстий (установка УГС).

Данную установку УГС предполагается применять на операциях обработки отверстий в стальных цилиндрических заготовках для изготовления труб различного назначения.

Установка УГС при осевой обработке заготовки позволит обеспечить следующие параметры:

- в режиме обеспечения равностенности («равностенность») при кривизне заготовки до 1,5 мм на 1 м длины разностенность детали составит не более 1 мм;
- в режиме обеспечения прямолинейности («прямолинейность») увод оси отверстия от оси вращения заготовки составит не более 0,5 мм;
- возможность обрабатывать отверстия в деталях длиной до 16 м при односторонней

обработке, либо 24 м с переворотом детали;

– обеспечить на 1 м длины обрабатываемой детали отклонение от оси отверстия при не более 1,5 мм.

Система управления установкой УГС позволяет производить обработку по заданным режимам, а также в ручном режиме, т.е. с возможностью оператору непосредственно вмешиваться в процесс обработки.

Установка УГС может быть смонтирована на любое оборудование, предназначенное для обработки глубоких отверстий. При этом она не меняет алгоритмы работы станка. Установка УГС позволяет обрабатывать отверстия в различных вариациях вращения инструмента и детали.

Глубина обработки отверстия зависит лишь от габаритных размеров применяемого оборудования и борштанги.

### Описание применяемой конструкции

При разработке установки УГС был применен станок вертлюжного типа и схемой сверления со встречным вращением инструмента и заготовки (рис. 1). Вращение заготовки обеспечивается шпинделем, инструмент (режущая головка и стембель) за счет стемблевой «бабки», и за счет нее же осуществляется осевая подача инструмента.

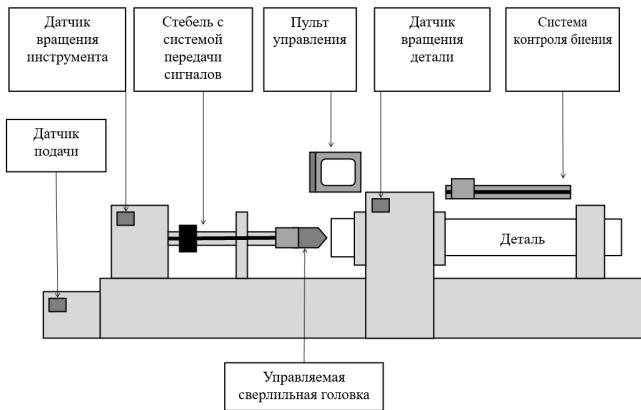


Рис. 1. Схема станка с применением установки УГС

Для выполнения центрирования и направления через кондукторную втулку режущей головки маслоприемник перемещается к торцу детали, также через него подается СОЖ между обрабатываемым отверстием и стемблем. При сверлении под давлением СОЖ и стружка отводится через полый стембель. Соответственно внешняя поверхность стембля должна проходить через люнеты при этом должна быть обеспечена герметичность уплотнений, а

внутренний диаметр стембля должен быть максимально возможного размера (для отвода стружки), но с обязательным соблюдением требований по жесткости и прочности.

Для построения системы рассматриваемой установки УГС была применена сверлильная головка (СГ), позволяющая выставлять резец от оси вращения, т.е. управляемый режущий инструмент (рис. 2).

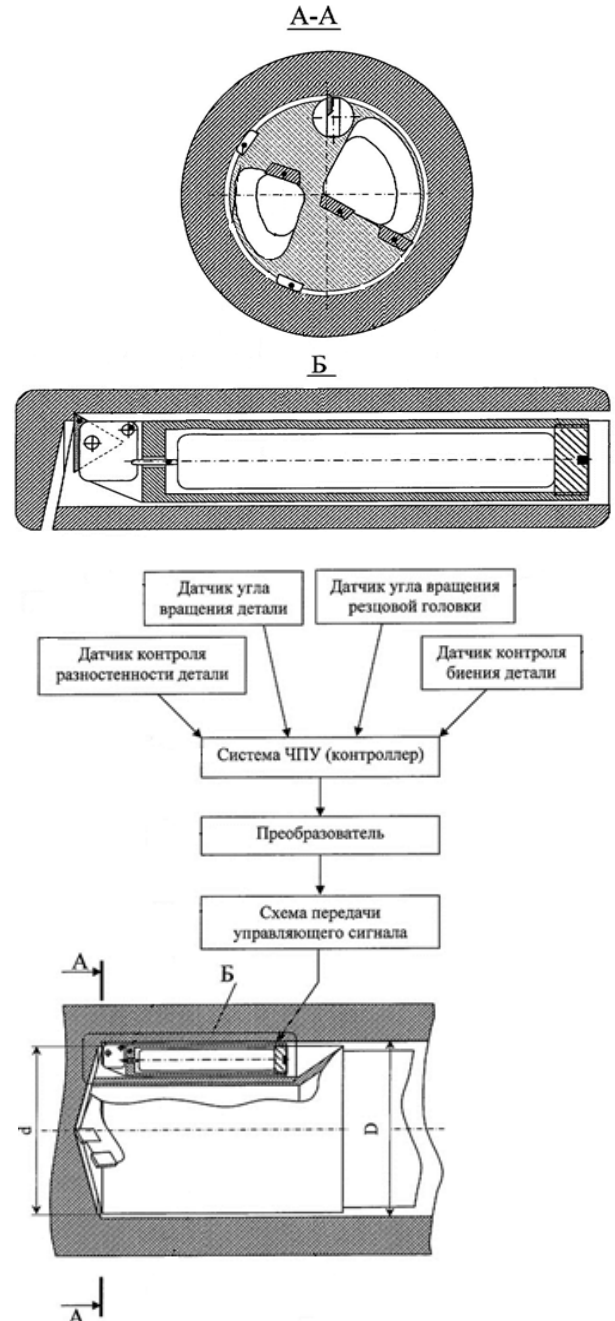


Рис. 2. Сверлильная головка

Данный режущий инструмент для сверления или растачивания отверстий состоит из режущей головки с направляющими со встроенным устройством (привод), обеспечивающим перемещение резца в радиальном на-

правлении от привода. Привод в свою очередь по схеме передачи управляющего сигнала и преобразователь подключен к системе числового программного управления станка (ЧПУ). Датчики контроля биения детали, контроля разностенности детали, угла вращения резцовой головки и угла вращения детали также подключены к системе ЧПУ. Привод выполнен в виде линейного и установлен на резцовой головке. Вся описанная система позволяет обеспечить возможность коррекции обрабатываемых отверстий в процессе сверления или

расточивания. А также повысить точность их обработки.

Схема работы установки УГС представлена на рис. 3. Установка УГС позволяет определять следующие параметры:

- позиционирование СГ – определения начала коррекции оси отверстия и ее окончания;
- позиционирование детали – определения радиального перемещения СГ;
- глубина обработки отверстия – для обеспечения перемещения датчиков биения детали и измерения толщины стенки.

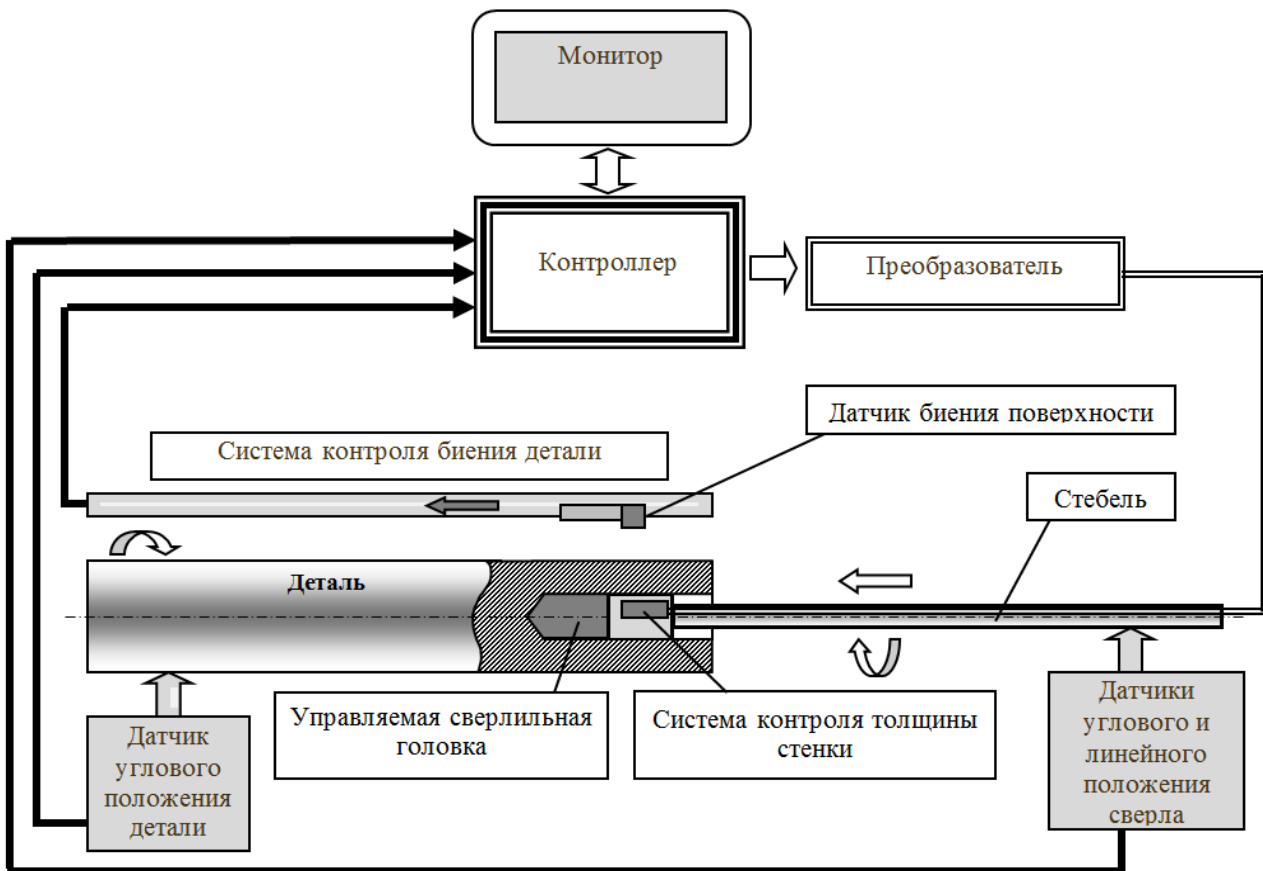


Рис. 3. Схема работы установки УГС

На основании этих параметров контроллер при необходимости корректирует осевое положение СГ в зависимости от режима работы, направляя управляющий сигнал. Контроллер определяет форму сигнала и время начала и завершения цикла коррекции. Сигнал идет в преобразователь, а после силовой импульс по проводке в стержне поступает непосредственно в СГ. Выбор режимов работы установки УГС и контроль процесса сверления отображается на сенсорном мониторе.

Система контроля перемещения режущего

инструмента установки УГС осуществляет свою работу по следующей схеме:

1. Для выполнения требований по равенности при обработке отверстия необходимо перемещать датчик (ультразвуковой толщиномер) измерения толщины стенки совместно со СГ. Толщиномер размещен на линейной направляющей. Для корректной работы толщиномера требуется предварительно подготовить поверхность детали, для ультразвукового контакта;
2. Для выполнения требований по прямо

линейности датчики биения поверхности и измерения толщины стенки тоже нужно перемещать совместно со СГ. Этот режим позволяет замерять значения соответствующих параметров в соотношении к положению детали при ее вращении.

Датчик биения поверхности располагается на каретке направляющей вдоль заготовки. Каретка за счет привода имеет возможность перемещать датчик по направляющей.

При работе установки УГС потребуется применение специальной СГ и стебля, который будет передавать электрические сигналы управления отклонением СГ.

Общая длина стебля в рассматриваемой установке УГС составляет 12 метров (состоит из двух секций), так как длина стебля должна быть больше глубины сверления на 4 метра (необходимо учесть зону размещения стеблевых люнетов и маслоприемника) и максимальная длина одной секции стебля равна 6 метров. Такая конструкция позволит сверлить отверстия длиной 8 метров с одной стороны и 16 метров с переворотом с двух сторон.

### Экспериментальные исследования

Опытное опробование со следующими исходными данными:

- схема сверления: заготовка неподвижна, режущий инструмент вращается;
- скорость подачи СГ  $S = 0,05$  мм/об;
- скорость вращения СГ  $n = 315$  об/мин;
- инструмент: управляемая сверлильная головка диаметром 90 мм;
- оснастка: стебель с проведенными коммуникациями (проводка);
- заготовка: предварительно обработанный прокат, сталь 40ХГНМ, диаметром 166 мм, длиной 3 м;
- выверка заготовки по биению отверстия: не более 0,1 мм;

– используемая аппаратура: блок микроконтроллера и преобразователь управления приводом СГ в соотношении к угловому положению инструмента.

Измерения, расчеты и опробование проводились по следующей методике:

1. Сверление детали проводилось поэтапно:  
 – на 500 мм – без коррекции оси отверстия;  
 – 500...1500 мм – сверление проводится при максимальной коррекции оси отверстия в направлении точки 2 (рис. 4);

– 1500...3000 мм – сверление проводится при максимальной коррекции оси отверстия в направлении точки 4 (см. рис. 4).

2. После чего во всех точках (см. рис. 4) выполнен ряд замеров толщины стенок полученной детали и биение по наружной поверхности трубы.

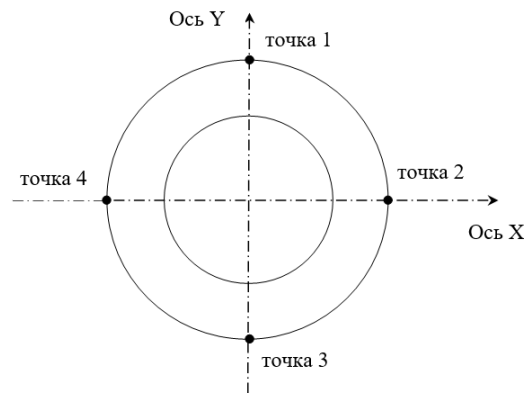


Рис. 4. Торец детали

Отклонения осей отверстия и вращения детали рассчитаны по следующим формулам:

$$\Delta X = \frac{(b_2 + t_2) - (b_4 + t_4)}{2} \quad (1)$$

$$\Delta Y = \frac{(b_1 + t_1) - (b_3 + t_3)}{2} \quad (2)$$

где  $\Delta X, \Delta Y$  – отклонения;  $b_i$  – биение;  $t_i$  – толщина стенки.

Результаты указанных измерений и расчетов приведены в табл. 1.

### 1. Отклонения оси отверстия в зависимости от глубины сверления

Ось	точка	Глубина сверления 500 мм			Глубина сверления 1500 мм			Глубина сверления 2000 мм			Глубина сверления 2500 мм			Глубина сверления 3000 мм		
		бие-ние	тол-щина	откло-нение	бие-ние	тол-щина	откло-нение	бие-ние	тол-щина	откло-нение	бие-ние	тол-щина	откло-нение	бие-ние	тол-щина	откло-нение
X	2	0,19	37,7	-0,445	4,75	41,1	5,550	5,15	41,9	6,455	3,21	41,2	4,73	0,12	40,4	2,450
	4	0,38	38,4		0,05	34,7		0,04	34,1		0,05	34,9		0,02	35,6	
Y	1	0,54	38,4	0,845	2,65	38,0	0,535	2,20	37,7	-0,325	1,45	38,0	0,045	0,01	37,1	-1,005
	3	0,05	37,2		1,98	37,6		2,45	38,1		1,56	37,8		0,12	39,0	

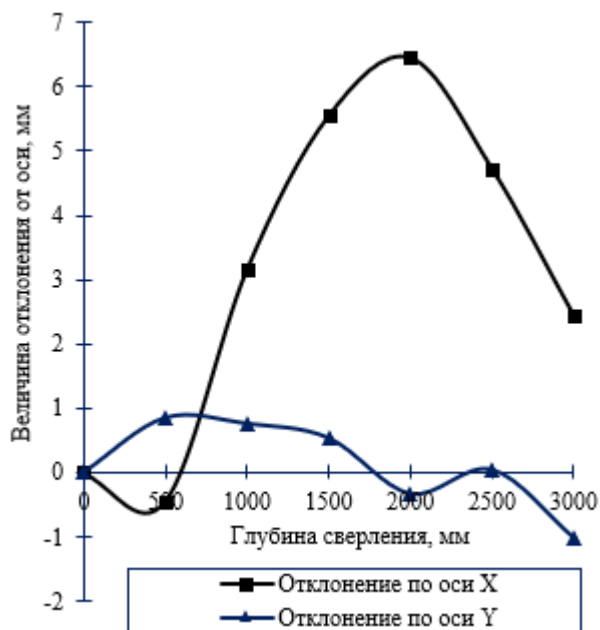


Рис. 5. График отклонения оси просверленного отверстия от оси вращения по плоскостям

На основании данных табл. 1 построен график отклонения оси обработанного отверстия от оси вращения (рис. 5). График наглядно отражает, что применение коррекции СГ в направлении точки 2 при сверлении отверстия на длине 500...2000 мм позволяет сместить ось отверстия на величину отклонения в пределах  $-0,445...+6,455$  мм. А в направлении точки 4 величина отклонения изменяется в пределах  $+6,455...+2,45$  мм.

### Заключение

Проведя успешный эксперимент и доказав работоспособность рассматриваемых управляемой сверлильной головки и всей установки управляемого глубокого сверления в целом можно сделать вывод о том, данная система позволяет непосредственно в процессе сверления корректировать ось отверстия, а соответственно позволит сократить описанные проблемы по уводу оси отверстия от оси вращения детали.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уткин, Н.Ф., Кижняев, Ю.И., Плужников, С.К. Обработка глубоких отверстий. – Л.: Машиностроение, 1988. – 269 с.
2. Горелова, А.Ю., Пешаков, А.А., Кристаль, М.Т. Методы повышения точности обработки глубоких отверстий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Вып. 7. – Ч. 2. – 2013. – С. 363 – 370.

### REFERENCES

1. Utkin, N.F., Kizhnyayev, Yu.I., Pluzhnikov, S.K. *Deep Hole Machining*. – L.: Mechanical Engineering, 1988. – pp. 269.
2. Gorelova, A.Yu., Pleshakov, A.A., Kristal, M.T. Methods for accuracy increase in deep hole machining // *Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences*. – Issue 7. – Part 2. – 2013. – pp. 363-370.

Рецензент д.т.н.  
Михаил Владимирович Песин

