

УДК 621. 923. 5

И.М. Буюкли, В.М. Колесник

Одесский национальный политехнический университет

**РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ**

*Розглянута ефективність схем процесу зняття припуску, при хонінгуванні глухих отворів інструментами, які забезпечують сталість розмірного зносу різючих елементів по їх довжині, або компенсаційні переміщення різючих елементів з урахуванням нерівномірності їх зносу по довжині. На цій основі з метою підвищення ефективності процесу обробки глухих отворів, розроблено новий спосіб хонінгування і конструкція для його реалізації.*

*Ключові слова:* хонінгування; глухі отвори; точність форми; компенсація зносу; сталість зносу.

*Рис. 4. Табл. 1. Форм. 2. Літ. 6.*

И.М. Буюкли, В.М. Колесник

**РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ**

*Рассмотрена эффективность схем процесса съема припуска, при хонинговании глухих отверстий инструментами, обеспечивающими постоянство размерного износа режущих элементов по их длине, либо компенсационные перемещения режущих элементов с учетом неравномерности их износа по длине. На этой основе с целью повышения эффективности процесса обработки глухих отверстий, разработан новый способ хонингования и конструкция для его реализации.*

*Ключевые слова:* хонингование; глухие отверстия; точность формы; компенсация износа; постоянство износа.

I.M. Boukli, V.M. Kolesnik

**DEVELOPMENT OF A NEW METHOD AND A TOOL FOR HONING BLIND HOLES**

*Efficiency of schemes stock removal process, for honing blind holes tools ensures constant dimensional wear of the cutting elements along their length, or compensatory movement of the cutting elements, taking into account their uneven wear length. On this basis, in order to increase the efficiency of the processing of blind holes, a new method of honing and design for its implementation.*

*Keywords:* honing, blind holes, the accuracy of the form; wear compensation; constancy wear.

Известно, что при хонинговании глухих отверстий имеет место неравномерный размерный износ по длине режущих элементов в связи с тем, что в подавляющем большинстве случаев в зоне дна обрабатываемого отверстия невозможно обеспечить оптимальный перебег инструмента. Это обуславливает появление на рабочей части инструмента геометрической погрешности в виде конусности, которая трансформируется в соответствующую продольную геометрическую погрешность на хонингуемом отверстии изделия.

Существует множество направлений повышения точности обработки глухих отверстий в продольном сечении.

В данной работе рассматриваются следующие основные направления:

– нивелирование неравномерности темпа размерного износа по длине режущих элементов, например, за счет варьирования шириной режущих элементов (применения режущих элементов трапецидальной формы) [1], либо за счет варьирования величиной концентрации алмазных зерен по длине режущих элементов [2] и т.д.;

– компенсация неравномерности темпа размерного износа по длине режущих элементов посредством реализации радиальной подачи за счет поворота режущих элементов вокруг собственных фиксированных осей, либо за счет управления величиной радиальной подачи по средством двух приводов разжима.

На рис. 1 и в таблице 1 представлены, соответственно, конструкция бруска трапецидальной формы и результаты экспериментальной проверки его исправляющей способности при хонинговании глухих отверстий [1].

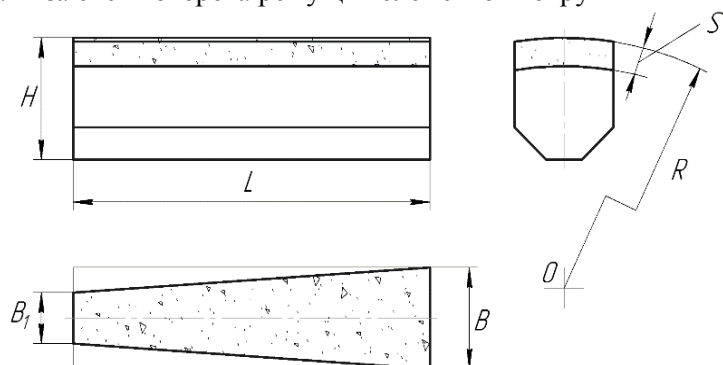


Рис. 1. Конструкция трапецидального бруска

Экспериментальные данные получены при хонинговании глухих отверстий в образцах из термически необработанной стали 45 ( $d_{\text{отв}} = 40$  мм;  $l_{\text{отв}} = 150$  мм) с исходной конусообразностью 0,03 ... 0,04 мм брусками АСР 125/100 – М1 – 100 с суммарной площадью режущей части алмазоносного слоя F (при числе брусков  $z = 4$ ). Установлено, что степень исправления конусообразности отверстия зависит от отношения оснований трапеции:

$$\varepsilon = B_1/B. \quad (1)$$

Таблица 1. Геометрическая точность отверстий при хонинговании трапецеидальными брусками

Форма бруска	Данные бруска					Средние показатели, мКм	
	$L$	$B$	$B_1$	$\varepsilon$	$F$	конусообразности	овальности
	мм				мм <sup>2</sup>		
Прямоугольная	50	10	10	1,0	2000	+130	10
Трапецеидальная	50	10	5	0,5	1500	+74	5
Трапецеидальная	50	10	3	0,3	1300	-62	5

В каждом конкретном случае оптимальное значение  $\varepsilon$  следует подбирать опытным путем. Как видно из таблицы 1, для данного конкретного случая, эффективное исправление конусности достигается при значениях  $\varepsilon = 0,4 \div 0,5$ .

В технической литературе приведены рекомендации по выбору конструктивных параметров призматических брусков применительно для хонингования сквозных отверстий. Оптимальное значение одного из этих параметров, а именно, значение суммарной ширины брусков, при котором процесс хонингования наиболее эффективен, определяется в соответствии с формулой [3]:

$$Bz = (0,25 \div 0,35) \pi d_{\text{отв}} \quad (2)$$

Варьирование же шириной брусков по их длине в соответствии с таблицей 1 (более чем в два раза) приведет к тому, что хонингование существенно большей частью рабочей поверхности брусков будет осуществляться в неоптимальном режиме. Это неизбежно отразится на эффективности процесса съема припуска, удельного износа алмазоносного слоя, качестве обработанной поверхности и т.д.

Суть в следующем. При алмазно-абразивной обработке, при съеме припуска, параллельно протекают два основных процесса: процесс микрорезания и процесс пластического поверхностного деформирования (механического истирания). Соотношение этих двух процессов характеризуется величиной, которая численно равна отношению толщины срезаемой стружки единичным зерном к радиусу закругления вершины этого зерна ( $a/\rho$ ) [3]. При  $a/\rho < (0,2 \div 0,3)$  микрорезание практически отсутствует, т.е. доминирует процесс пластического поверхностного деформирования (механического истирания). При  $a/\rho > (0,2 \div 0,3)$  начинается процесс микрорезания, а при дальнейшем увеличении значения  $a/\rho$  процесс микрорезания доминирует в большей степени. Однако, при увеличении  $a/\rho$  синхронно возрастают усилия резания, т.е. интенсифицируется процесс износа алмазоносного слоя (процесс вырывания алмазных зерен из связки). Следовательно, существует оптимальное значение  $a/\rho$ , которое соответствует процессу съема припуска в оптимальном режиме.

Процесс съема припуска брусками трапецеидальной формы, либо брусками с переменной концентрацией алмазных зерен по длине неизбежно обуславливает обработку с изменяющейся в широких пределах (почти в два раза) величиной  $a/\rho$ .

Отсюда следует теоретический вывод о том, что величины оснований  $B$  и  $B_1$  трапецеидальных брусков не должны существенно отличаться.

В работе [3] представлена схема хонингования глухих отверстий, в который радиальная подача режущих элементов реализуется посредством двух идентичных разжимных конусов рис. 2а (поз. 5 и 6). Каждый из разжимных конусов связан с автономным независимым приводом радиальной подачи. В процессе хонингования, при условии равенства скоростей осевого перемещения разжимных конусов, режущие элементы перемещаются только радиально.

При рассогласовании скоростей осевого перемещения разжимных конусов имеет место соответствующее рассогласование скоростей радиальных подач по длине режущих элементов. Величина и знак необходимого рассогласования скоростей определяются в соответствии с данными активного контроля текущего диаметрального размера в верхней и в нижней части хонингуемого отверстия (рис. б и в; поз. 7). Т. е., имеет место, система управления углом поворота режущих элементов с обратной связью. Эта схема и инструмент, реализующий эту схему, предназначены для определения и последующего исправления исходной конусности хонингуемого отверстия. Порядок величин исходной конусности – это микроны и десятки микронов.

Если, в данном инструменте, выполнить соответствующую модернизацию (удлинить в нижней части колодки с алмазосносным слоем так, чтобы корпус и игла разжима не касались дна отверстия в крайнем нижнем положении инструмента), то появится возможность использования его для обработки глухих отверстий. Если, при этом, за счет рассогласования скоростей радиальных подач, попытаться реализовать компенсацию неравномерности размерного износа по длине режущих элементов, то, по нашему мнению, это проблематично. Суть в том, что необходимо измерять и компенсировать сравнительно малые величины, порядок которых исчисляется долями микронов, тогда, как конструкция инструмента рассчитана на существенно больший порядок величин (как указывалось выше на микроны и десятки микронов). Дополнительно заметим, что описанный инструмент характеризуется конструктивной сложностью, что предопределяет недостаточную точность обработки и надежность в процессе эксплуатации.

В работе [4] приведена конструкция инструмента в которой компенсация неравномерности темпа размерного износа по длине режущих элементов осуществляется посредством реализации радиальной подачи за счет поворота режущих элементов вокруг собственных фиксированных осей, рис. 3.

В работе [5], выполнен анализ работоспособности этой конструкции, в результате которого установлено, что характерной особенностью конструкции является то, что величина радиальной подачи и величина компенсационного угла поворота режущих элементов функционально взаимозависимы. Согласование этих величин, с целью обеспечения условий оптимального процесса хонингования проблематично. Соответствующие расчеты, приведенные в этой работе, показали, что при согласованных величинах радиальной подачи и величины компенсационного угла поворота (а именно – согласованных т. о., чтобы, за время цикла, имел место, производительный сьем припуска всеми

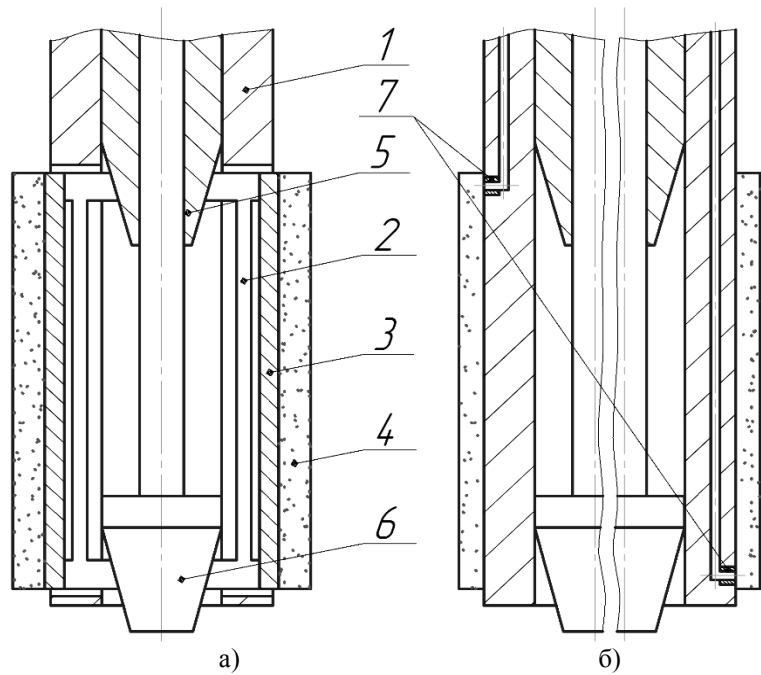


Рис. 2. Схема конструкции инструмента с двумя независимыми разжимными конусами

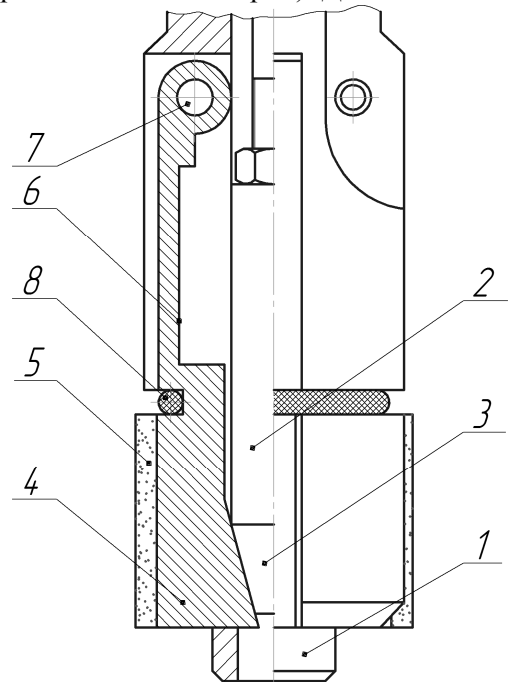


Рис. 3. Схема конструкции инструмента с фиксированными осями поворота режущих элементов

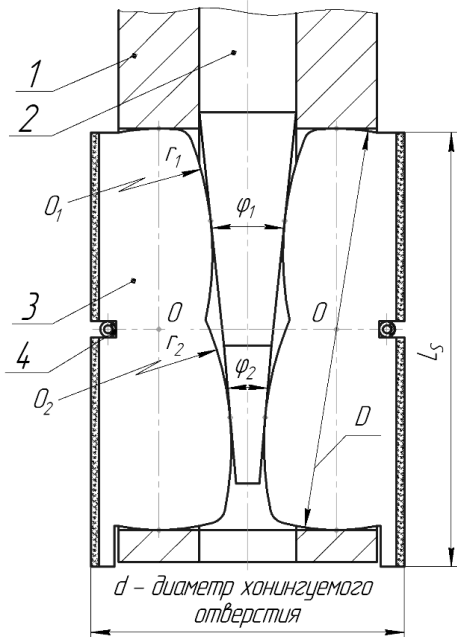
режущими зернами по длине режущих элементов), величина радиуса поворота режущих элементов должна быть не менее нескольких сотен метров, что конструктивно неприемлемо.

Отсюда следует вывод, что существующие конструкции для обработки глухих отверстий, описанные выше, не обеспечивают требуемой точности и эффективности обработки.

Целью данной работы является создание более совершенной схемы и конструкции инструмента для хонингования глухих отверстий.

На основе анализа приведенных выше конструкций разработана конструктивная схема инструмента [6], представленная на рис. 4.

Инструмент состоит из корпуса 1, в продольных радиальных пазах которого установлены подвижно и с возможностью контактирования с иглой разжима, подпружиненные пружиной 4 режущие элементы 3.



**Рис. 4. Схема конструкции разработанного инструмента с двойным конусом разжима и с подвижными осями поворота режущих элементов**

Каждый режущий элемент выполнен с двумя, разнесенными по длине, опорными (например, цилиндрическими с радиусами кривизны  $r_1$  и  $r_2$  и центрами радиусов кривизны  $O_1$  и  $O_2$ ) поверхностями и установлен с возможностью радиального перемещения и поворота (например, вокруг оси  $O$ ). Соосно корпусу, установлена с возможностью продольного перемещения посредством механизма радиальной подачи станка (на фиг. не изображен) игла разжима 2. Рабочая часть иглы разжима выполнена с двумя разными по величине конусности (либо, по величине угла клина) и разнесенными по длине рабочими опорными частями, каждая из которых контактирует с соответствующей опорной поверхностью режущих элементов.

**Работа инструмента.**

До начала обработки, определяют положение иглы разжима (положение режущих элементов), соответствующее требуемому диаметральному размеру отверстия в хонингуемых изделиях. Это может быть осуществлено, например, по эталонной детали. Затем переводят инструмент в исходное положение.

В исходном положении инструмент находится вне хонингуемого отверстия; игла разжима 2 находится в крайнем верхнем положении (по фиг.) и, соответственно, режущие элементы 3 сжаты пружиной 4. Инструмент вводится в обрабатываемое отверстие, и посредством соответствующих приводов осуществляется возвратно-поступательное, вращательное и ускоренные радиальные перемещения режущих элементов 3. В момент достижения контакта режущих элементов с обрабатываемой поверхностью ускоренное радиальное перемещение режущих элементов системой управления станка переключается на рабочую подачу и осуществляется съём припуска. При этом съём припуска сопровождается соответствующим радиальным износом режущих элементов, который в связи с асимметричностью перебега характеризуется большей интенсивностью в нижней части режущих элементов по отношению к верхней части режущих элементов. По окончании съёма припуска, инструмент выводится из отверстия в исходное крайнее положение.

Однако, при осевом перемещении иглы разжима ее верхняя опорная часть перемещает радиально верхние части режущих элементов с меньшей скоростью, чем ее нижняя опорная часть нижние части режущих элементов. То есть, имеет место одновременно радиальная подача и дополнительный поворот режущих элементов вокруг осей  $O$  в продольных радиальных пазах корпуса. Дополнительный поворот выбирается таким образом, чтобы компенсировать разность износов соответственно верхней и нижней части режущих элементов. Это исключает формирование геометрической погрешности хонингуемого отверстия в виде конусности, то есть повышается точность обработки.

Требуемый дополнительный поворот  $\varphi$  определится из уравнения

$$\varphi = \arctg(\Delta_2 - \Delta_1)/l, \quad (3)$$

где  $l$  — длина режущих элементов;

$\Delta_2$  и  $\Delta_1$  соответственно величин средних радиальных износов по краям режущих элементов в продольном направлении.

В конкретных условиях хонингования параметр  $\varphi$  можно определить экспериментально. Для этого, достаточно обработать аналогичным известным инструментом (с углом  $\varphi_1$  при вершине рабочей части иглы разжима) партию пробных деталей. Затем непосредственно измерить величины радиального износа в крайних по длине режущих элементов точках  $\Delta'_1$  и  $\Delta'_2$ . Если  $\Delta'_1$  и  $\Delta'_2$  разделить на размер партии, то получим усредненные величины радиального износа в крайних точках по длине режущих элементов за время съема припуска на одной детали. То есть, получим соответственно величины  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ . Подставив значения этих величин и значение величины  $l$  в приведенную формулу, определим величину угла  $\varphi$ .

Обеспечение поворота на угол  $\varphi$  осуществляется за счет выполнения рабочей части иглы с углами при вершинах конусов на рабочей части  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . При этом, при фиксированном значении угла  $\varphi_1$ , геометрически рассчитывают значение  $\varphi_2$  таким образом, чтобы за время съема припуска, при хонинговании глухого отверстия, режущие элементы радиально перемещаясь, повернулись бы на требуемый компенсационный угол  $\varphi$ .

Погрешность при определении экспериментальных величин  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , соответственно, величины  $\varphi$  может привести к формированию при хонинговании остаточной конусности на обрабатываемом отверстии. Однако, величина этой конусности существенно меньше (на порядок и более), чем в случае обработки без компенсационного поворота режущих элементов на угол  $\varphi$ . Это остаточная конусность может быть устранена за счет незначительной корректировки величины перебега режущих элементов в зоне, противоположной дну обрабатываемого отверстия.

#### **Выводы.**

1. На основе анализа съема припуска известными схемами и конструкций инструментов для реализации этих схем, разработана более совершенная схема и конструкция инструмента для хонингования глухих отверстий.

2. Отличительным признаком разработанной схемы является то, что предусмотрена возможность радиального перемещения осей поворота режущих элементов, что обеспечивает возможность реализации в широком диапазоне сочетания величин радиальной подачи и компенсационного поворота режущих элементов. Это позволяет реализовать схему хонингования при которой режущие зерна по длине режущих элементов участвуют в процессе резания полностью от начала и до конца съема припуска.

3. Выполнение рабочей части иглы разжима, в разработанной конструкции, с двумя разными по величине конусности (либо, по величине угла клина) и разнесенными по длине рабочими опорными частями конструктивно ограничивает величину суммарного хода иглы. Этот недостаток легко устраняется за счет наличия комплекта игл разжима с рабочими частями отличными по диаметру и длине и с идентичными углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . В этом случае возможно полное использование алмазоносного слоя.

1. Хонингование: справочное пособие / С.И. Куликов, В.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев – М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.
2. А. с. 1437205 СССР, МКИ<sup>3</sup> В24 D 17/00. Способ изготовления абразивного инструмента/ Л.И. Мастюгин, А.П. Якимиха, В.В. Минец, С.В. Амазов, И.П. Филонов (СССР). – №4160477/40–08; заявл. 21.10.86; опубл. 15.11.88, Бюл. № 42.
3. Пат. 2233216 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 24В 33/06. Способ хонингования/ А.М. Фирсов, Андреев М.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технологический университет И.И. Ползунова. – № 2003110903/02; заявл. 16.04.2003; опубл. 27.07.2004, Бюл. № 21
4. Андреев М. Повышение производительности хонингования глухих отверстий путем оптимизации режимов обработки и конструктивных параметров инструмента: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.08 / Андреев Михаил Витальевич. – Бийск, 2005 – 159 с.
5. Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2013. – Вип. 2(41). – 373 с.
6. Рішення про видачу патенту України на винахід №30063/3А/13 від 10.12.2013 за заявкою а201207667 від 22.06.12. МПК В24В 33/00. Спосіб хонінгування глухих отворів та інструмент для його здійснення/ І.М. Буюклі, В.М. Колеснік, П.А. Лінчевський.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2014.

© *И.М. Буюкли, В.М. Колесник*