

УДК 621.923.5

**Э.Ш. Джемилов, канд. техн. наук***Республиканское высшее учебное заведение «Крымский инженерно-педагогический университет»**ул. Севастопольская, 21, пер. Учебный, 8, г. Симферополь, Украина, 95015**E-mail: csepu@gala.net***ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА С ДЕТАЛЬЮ ПРИ АЛМАЗНОМ ХОНИНГОВАНИИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ**

*В статье рассматриваются процессы контактного взаимодействия рабочей поверхности инструмента с деталью при алмазном хонинговании конических отверстий.*

**Ключевые слова:** алмазное хонингование, конические отверстия, контактное давление, ширина контакта инструмента с деталью.

Для получения деталей с высокими классами чистоты и качеством поверхности удаление слоя ведется с низкими скоростями резания и весьма малыми сечениями среза (хонингование, суперфиниш, доводка, притирка и др.), что существенно снижает температуру контакта и тем самым исключает ее влияние на структурные превращения, деформацию поверхностных слоев детали, возникновение внутренних напряжений и других поверхностных дефектов.

Разрушение деталей машин при их эксплуатации обычно начинается в верхних слоях рабочих поверхностей, так как эти слои находятся в наиболее неблагоприятных условиях. Следовательно, характеристика этих слоев значительно влияет на динамическую и коррозионно-механическую прочность, стабильность размеров и формы в процессе эксплуатации, контактную прочность, сопротивление усталости и другие свойства детали.

Для заданных условий эксплуатации существует оптимальное сочетание свойств поверхности (шероховатость, наклеп, остаточные напряжения, структура), обеспечивающее наиболее благоприятные эксплуатационные характеристики деталей машин. Достижение такого сочетания возможно не только технологическими решениями, к которым в первую очередь можно отнести обоснованное назначение методов и режимов финишной обработки деталей, но и конструкторскими (обоснованный выбор элементов конструкции и материала, назначение требований к точности и качеству поверхностей).

Конические соединения используют для обеспечения сопряжений, при которых требуется частая разборка и сборка при хорошем центрировании сопрягаемых деталей. Типичным случаем наиболее частого применения конусов является установка режущего инструмента в шпинделе металлорежущих станков.

На качество конических соединений влияют погрешности углов и отклонения формы сопрягаемых поверхностей. Для повышения точности центрирования, нагрузочной способности, износостойкости и герметичности соединений необходимо обеспечивать равномерный контакт по сопрягаемым поверхностям. Наилучший контакт получают притиркой конических поверхностей, однако это весьма трудоемкая операция и при ней нарушается взаимозаменяемость парных конусов.

В связи с изложенным актуальной является научно-техническая проблема, решение которой направлено на создание научных основ технологии обработки точных отверстий, поиск путей повышения эффективности технологического процесса их получения, разработку новых способов управления предшествующей и окончательной обработки отверстий, расширение технологических возможностей оборудования и режущего инструмента.

Работоспособность деталей также во многом зависит от состояния поверхностных слоев. Требования к их качеству непрерывно возрастают по мере интенсификации режимов работы деталей. Еще недавно качество поверхностных слоев характеризовалось в основном твердостью и шероховатостью. Теперь часто необходимо создавать в поверхностных слоях остаточные напряжения определенного знака, не допускать образования отпущенных участков. Установлено, что прижоги при шлифовании снижают предел выносливости на изгиб на 25–30%, а шлифовочные трещины – до трех раз.

Обработка конического отверстия под притирку должна осуществляться прогрессивными методами, которые обеспечивают требуемый угол конусности, прямолинейность образующей, равнозначную и низкую шероховатость поверхности, и, тем самым, повысить точность и снизить трудоемкость взаимной притирки.

С этой целью многие авторы рекомендуют проводить обработку конических отверстий методом алмазного хонингования.

Выполнен значительный объем научных исследований процессов алмазной обработки, позволивший оптимизировать их для разных условий и методов обработки. Изготовление точных конических отверстий является сложным технологическим процессом. Известные операции, которые

формують конічні отвори, не забезпечують стабільне качество оброблених поверхностей. Одним із перспективних напрямків в області дослідження і наукового прогнозування підвищення качества алмазної обробки является изучение вопросов механики контактного взаємодія алмазного інструмента с деталлю.

Алмазне хонінгування является одной із високопродуктивних операцій, які забезпечують качество обробки конічних отворів. Процес алмазного хонінгування супроводжується малими швидкостями різання і низкими температурами в зоні різання, що позитивно відображається на качестве оброблюваної поверхності. Висока стійкість алмазних брусків забезпечує стабільність обробки і підвищує продуктивність процесу. Однак процес алмазного хонінгування конічних отворів малоизучен.

При изучении данного процесса обробки обнаружено, что переменная ширина контакта рабочей поверхности інструмента с деталлю приводит к неравномерному сьому матеріалу (рисунок 1). Изменение ширины контакта брусків зависит от угла конуса оброблюваного отвору і длины хода інструмента [1].

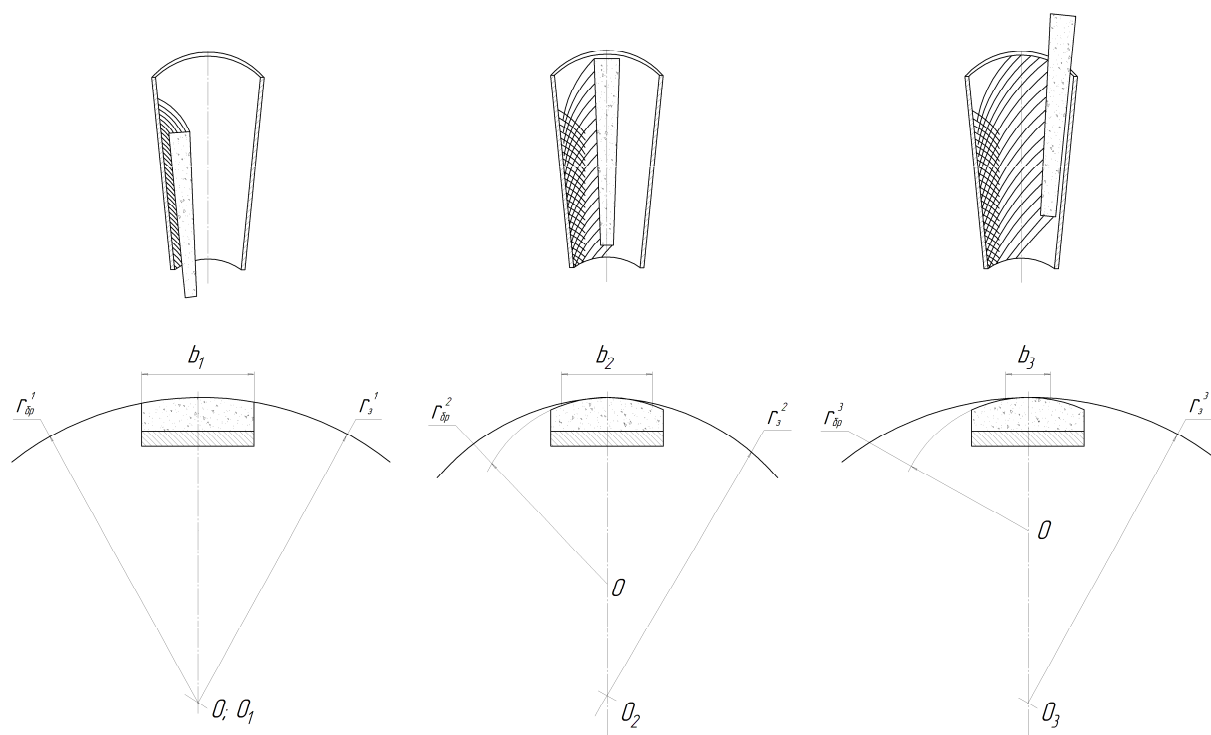


Рисунок 1 – Схема изменения ширины контакта рабочей поверхности інструмента с деталлю

Проведены исследования контактного взаимодействия рабочей поверхности інструмента промышленной конструкции с деталлю и установлено, что с уменьшением ширины контакта увеличивается контактное давление. На основе полученных результатов предложена конструкция хонинговальной головки, обеспечивающая выравнивание контактных давлений и равномерный сьем матеріала [2]. Расчетные и экспериментальные результаты распределения контактных давлений вдоль рабочей поверхности алмазного бруска АС6 500/400-М5-01-100% при осевой нагрузке  $P_y = 72$  Н представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения контактных давлений на поверхности бруска

| Длина образующей (L), мм | Давление ( $q_y^{\max}$ ), МПа |           |                      |           |
|--------------------------|--------------------------------|-----------|----------------------|-----------|
|                          | Промышленная колодка           |           | Предлагаемая колодка |           |
|                          | Экспериментальное              | Расчетное | Экспериментальное    | Расчетное |
| 1                        | 2                              | 3         | 4                    | 5         |
| 5                        | 1,04                           | 1,25      | 0,52                 | 0,57      |

Продолжение таблицы 1

| 1  | 2    | 3    | 4    | 5     |
|----|------|------|------|-------|
| 15 | 1,08 | 1,18 | 0,50 | 0,45  |
| 25 | 0,75 | 0,78 | 0,35 | 0,33  |
| 35 | 0,44 | 0,73 | 0,34 | 0,24  |
| 45 | 0,47 | 0,55 | 0,23 | 0,16  |
| 55 | 0,10 | 0,35 | 0,19 | 0,09  |
| 65 | 0,15 | 0,20 | 0,18 | 0,04  |
| 75 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,014 |

В таблице 1 расчетные значения контактных давлений определялись по формуле, представленной в работе [3, с.62]:

$$q_y^{\max} = \beta \cdot \omega \cdot k_d^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta_{\max}^2, \quad (1)$$

где  $\beta$  – коэффициент, зависящий от формы режущего зерна;  $\omega$  – коэффициент, учитывающий отличие формы зерна от формы пирамиды Виккерса;  $k_d$  – коэффициент динамики, учитывающий уменьшение глубины внедрения зерна при резании (устанавливается экспериментально);  $HV$  – твердость обрабатываемого материала по Виккерсу;  $\bar{N}$  – количество зерен, участвующих в резании;  $\delta_{\max}$  – максимальное внедрение режущего зерна.

По полученным значениям контактных давлений построены зависимости распределения контактных давлений вдоль рабочей поверхности бруска (рисунок 2).

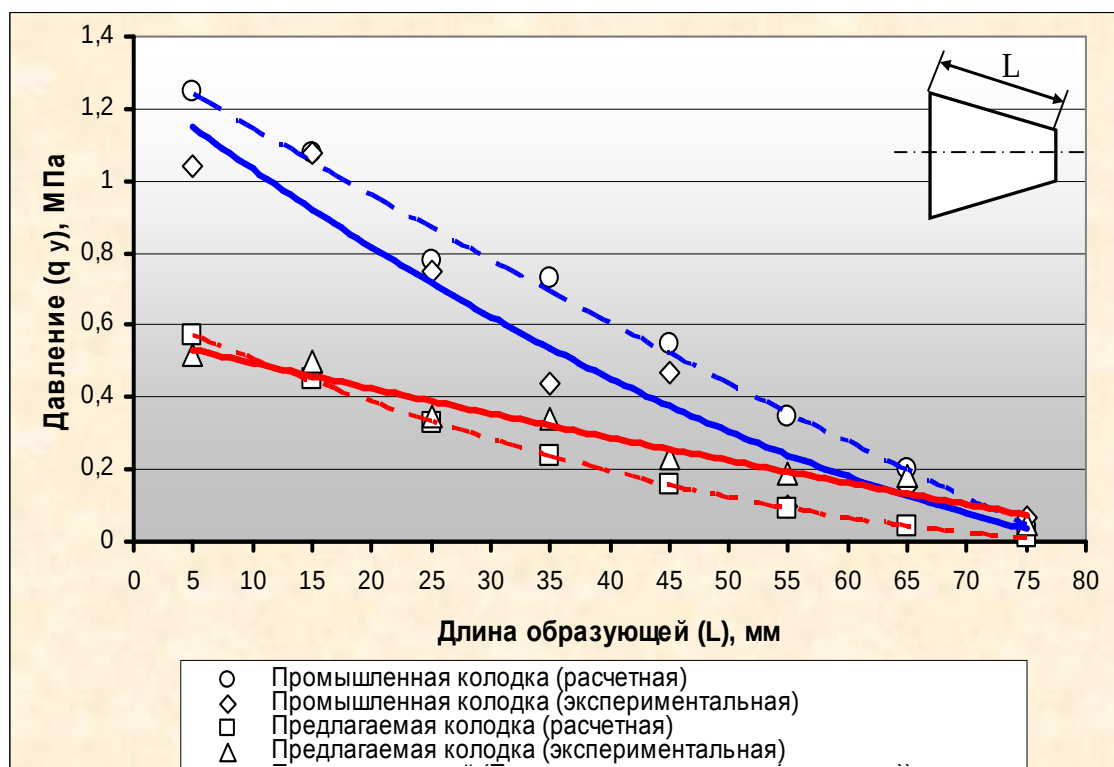


Рисунок 2 – Распределение контактных давлений при взаимодействии рабочей поверхности инструмента с деталью

Для визуализации процесса хонингования конических отверстий с помощью программы SolidWorks построена модель контактного взаимодействия инструмента с деталью с применением колодки промышленной и предлагаемой конструкций (рисунок 3) [3, с. 99].

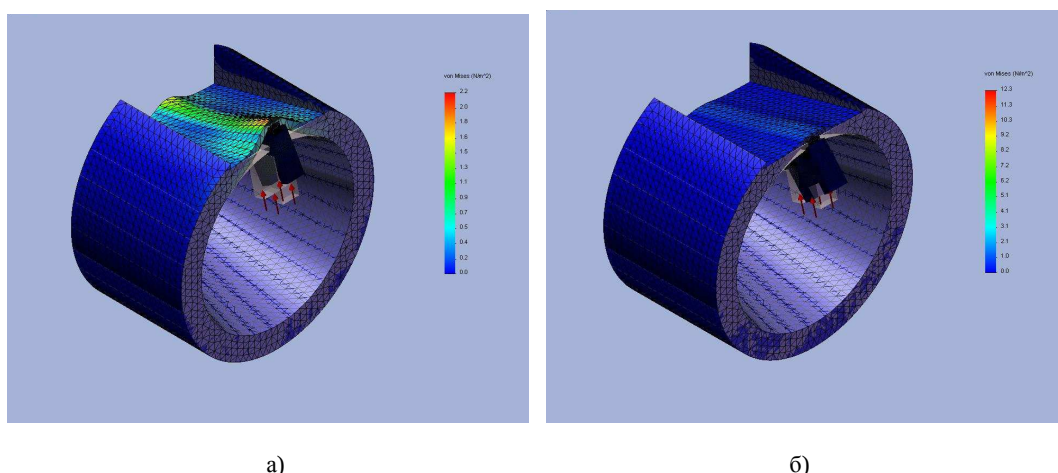


Рисунок 3 – Модель контактного взаимодействия инструмента с поверхностью конического отверстия детали: а – промышленная; б – предлагаемая

При построении модели входные параметры соответствовали параметрам, использованным в ходе проведения экспериментов (материал детали и инструмент, их габаритные размеры, приложенная нагрузка).

Программа SolidWorks позволяет отображать сложный процесс контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой деталью и создать конструкцию колодки, выравнивающую контактные давления. По деформированному состоянию поверхности детали на длине контакта с колодкой определяется эффективность принятой конструкции инструмента и самого процесса хонингования.

Необходимо отметить, что, используя возможности программы SolidWorks, можно создать модели конструкций колодок для обработки конических отверстий, имеющих различную длину и угол конуса.

Полученные результаты проведенных исследований контактных давлений позволяют выработать рекомендации по конструированию инструмента, обеспечивающего качество обработки конического отверстия.

Величина контактного давления зависит от ширины контакта алмазного бруска с поверхностью конического отверстия  $b_k$ . Проведены расчеты ширины контакта алмазного бруска AC6 500/400-M5-01-100 % с поверхностью конического отверстия по формуле [3, с. 49]:

$$b_k = 2\sqrt{2} \sqrt{\frac{r_d \cdot r_{dp}}{r_d - r_{dp}}} \cdot \delta_{\max}, \quad (2)$$

где  $r_d$  и  $r_{dp}$  – соответственно радиус конического отверстия детали и радиус бруска в определенном поперечном сечении;  $\delta_{\max}$  – максимальная глубина внедрения алмазного зерна.

Для уточнения формулы (2) экспериментально определена ширина контакта. Расчетные и экспериментальные значения ширины контакта приведены в таблице 2.

Такое различие экспериментальных и расчетных результатов ширины контакта бруска с образующей конического отверстия связано с тем, что в формуле (2) не учитываются процессы упруго-пластической деформации.

Используя полученные результаты, можно определить коэффициент  $k_{def}$ , учитывающий деформацию, введение которого в формулу (2) позволит более точно установить ширину контакта бруска с образующей конического отверстия заготовки  $b_k$ . Значение  $k_{def}$  зависит от механических свойств материала, размеров и формы обрабатываемой детали, а также от характеристики бруска и конструкции колодки. Определяется  $k_{def}$  как отношение экспериментальной и расчетной ширины контакта в определенном поперечном сечении. В таблице 3 приведены значения коэффициентов деформации для условий контакта, приведенных в таблице 1.

По полученным результатам построены зависимости ширины контакта алмазного бруска вдоль образующей конического отверстия, которые представлены на рисунке 4.

Таким образом, формула ширины контакта  $b_k$  примет следующий вид:

$$b_k = 2\sqrt{2} \cdot k_{def} \cdot \sqrt{\frac{r_d \cdot r_{dp}}{r_d - r_{dp}}} \cdot \delta_{\max}. \quad (3)$$

Таблица 2 – Значения ширины контакта алмазного бруска АС6 500/400-М5-01-100% по длине образующей конического отверстия детали

| Длина образующей<br>( $L$ ), мм | Глубина<br>внедрения зерен<br>( $\delta$ ), мкм |                         | Ширина контакта ( $b_k$ ), мм |           |                      |           |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------|----------------------|-----------|
|                                 | Промышленная<br>колодка                         | Предлагаемая<br>колодка | Промышленная колодка          |           | Предлагаемая колодка |           |
|                                 |                                                 |                         | Экспериментальная             | Расчетная | Экспериментальная    | Расчетная |
| 5                               | 9,65                                            | 5,27                    | 6,86                          | 3,1       | 5,57                 | 2,29      |
| 15                              | 8,57                                            | 4,40                    | 7,11                          | 3,08      | 5,64                 | 2,21      |
| 25                              | 7,45                                            | 3,62                    | 7,26                          | 3,08      | 6,05                 | 2,15      |
| 35                              | 6,31                                            | 2,92                    | 7,19                          | 3,1       | 6,12                 | 2,107     |
| 45                              | 5,12                                            | 2,31                    | 7,17                          | 3,14      | 6,36                 | 2,11      |
| 55                              | 3,89                                            | 1,79                    | 7,33                          | 3,3       | 6,48                 | 2,22      |
| 65                              | 2,64                                            | 1,35                    | 7,49                          | 3,7       | 6,82                 | 2,65      |
| 75                              | 1,39                                            | 0,82                    | 7,58                          | 3,9       | 6,85                 | 2,97      |

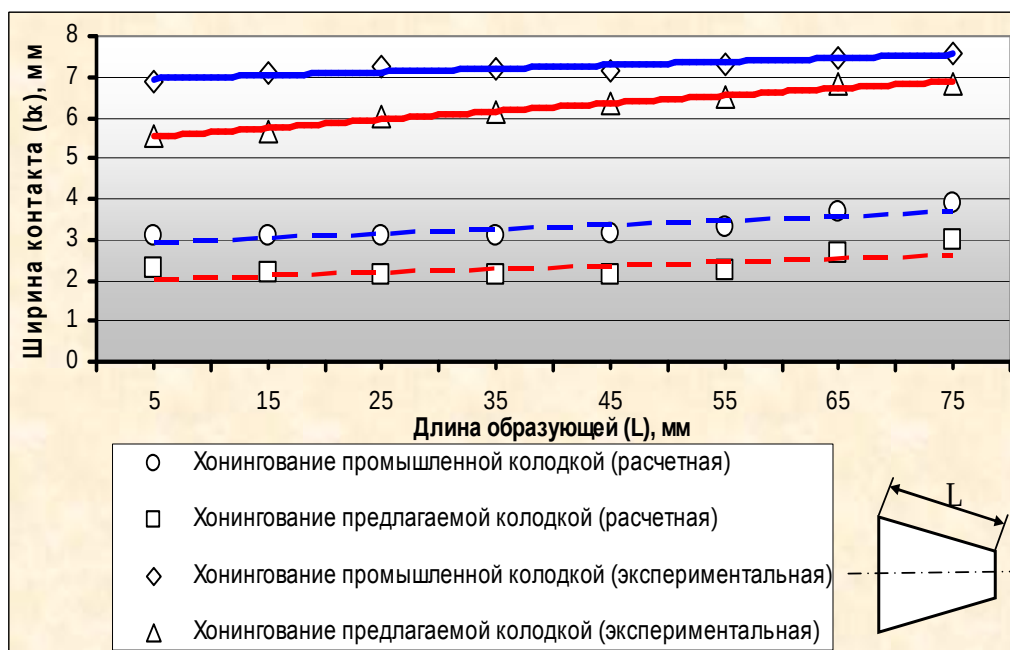


Рисунок 4 – Зависимость ширины контакта бруска вдоль образующей конического отверстия

Таблица 3 – Значения коэффициентов деформации  $k_{\text{деф}}$

| Длина образующей ( $L$ ), мм               |                      | 5    | 15   | 25   | 35   | 45   | 55   | 65   | 75   |
|--------------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Коэффициент деформации<br>$k_{\text{деф}}$ | Промышленная колодка | 2,21 | 2,31 | 2,36 | 2,32 | 2,28 | 2,22 | 2,02 | 1,94 |
|                                            | Предлагаемая колодка | 2,43 | 2,55 | 2,81 | 2,9  | 3,01 | 2,92 | 2,57 | 2,31 |

Проведенные исследования показали, что выравнивание контактных давлений на рабочей поверхности инструмента способствует равномерному внедрению режущих зерен вне зависимости от ширины контакта.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Джемилов Э.Ш. Определение контактных давлений при хонинговании конических отверстий / Э.Ш. Джемилов, Н.А. Иззетов, Ю.А. Цеханов, Ф.Я. Якубов // Научный журнал ВАК «Вісник Хмельницького національного університету». — Хмельницк, 2006. — Вып. 6. — С. 14–17.
2. Джемилов Э.Ш. Повышение качества конических отверстий на основе исследования взаимодействия инструмента и детали при алмазном хонинговании / Э.Ш. Джемилов, М.Л. Шабдинов // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: НТУ "ХПИ", 2010. — Вып. 78. — С. 42–45.
3. Джемилов Э.Ш. Повышение качества обработки конических отверстий алмазным хонингованием на основе исследования контактного взаимодействия инструмента с деталью: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Эшреф Шевичевич Джемилов. — Симферополь, 2010. — 161 с.

*Поступила в редакцию 3.03.2011 г.*

**Джемілов Є.Ш. Дослідження контактної взаємодії робочої поверхні інструменту з деталлю при алмазному хонінгуванні конічних отворів**

У статті розглядаються процеси контактної взаємодії робочої поверхні інструменту з деталлю при алмазному хонінгуванні конічних отворів.

**Ключові слова:** алмазне хонінгування, конічні отвори, контактний тиск, ширина контакту інструменту з деталлю.

**Dzhemilov E.Sh. Research on the contact interaction between the working surface of the instrument and a part at diamond honing of conical openings**

The processes of contact interaction between the working surface of the instrument with a part at diamond honing of the conical openings are considered in the article.

**Keywords:** diamond honing, conical openings, contact pressure, width of contact of instrument with a detail.