

УДК 621.923.5

## ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ ИЗ СТАЛИ 40Х АЛМАЗНЫМ ХОНИНГОВАНИЕМ

**Э. Ш. ДЖЕМИЛОВ, Р. И. СУЛЕЙМАНОВ**

*Крымский инженерно-педагогический университет,  
г. Симферополь*

**ALPER UYSAL**

*Yildiz Technical University, Turkey, Istanbul*

**Ключевые слова:** алмазное хонингование, контактные давления, отклонение от круглости, отклонение от прямолинейности, шероховатость.

### **Введение**

Изготовление точных конических отверстий является сложным технологическим процессом. Известные операции, которые формируют конические отверстия, не обеспечивают стабильное качество обработанных поверхностей.

При внутреннем шлифовании конического отверстия обрабатываемую деталь необходимо устанавливать с выверкой биения по индикатору, что приводит к снижению производительности процесса. Образование погрешностей формы конического отверстия связано с вибрацией и упругим отжатию шлифовального круга, устанавливаемого консольно. Высокие скорости при шлифовании и высокие температуры в зоне резания приводят к появлению прижогов на обрабатываемой поверхности и изменению структуры поверхностного слоя материала, снижая качество обработки.

При зенкерование конических отверстий форма инструмента копируется на обрабатываемой поверхности. Основными причинами погрешностей обработки является низкая стойкость инструмента из-за выкрашивания и сколов на режущей части зенкера [1].

Одной из высокопродуктивных операций, обеспечивающих качество обработки конических отверстий, является алмазное хонингование, при изучении которого были отмечены его особенности:

- переменная ширина контакта рабочей поверхности инструмента с деталью приводит к неравномерному съему материала;
- значения параметров шероховатости обработанной поверхности изменяются по длине отверстия.

В связи с этим возникает необходимость создания условий, которые повышают качество обработки конических отверстий, на основе управления процессом контактного взаимодействия инструмента с деталью. Решение данной научно-технической задачи имеет актуальность для науки и практики [2].

Цель исследования – повышение качества обработанной поверхности конических отверстий алмазным хонингованием за счет равномерного обеспечения контактных давлений при взаимодействии инструмента с деталью и применения прогрессивных СОЖ.

### **Методы исследования**

Экспериментальные исследования выполнены на основе научных положений теории резания материалов, механики контактного взаимодействия при алмазно-абразивной обработке и проектировании режущих инструментов. По результатам исследований даны рекомендации, позволяющие повысить качество обработки конических отверстий алмазным хонингованием.

По полученным данным построены графические зависимости, характеризующие отклонение от круглости и прямолинейности, шероховатости обработанных конических отверстий.

**Основная часть**

На основе аналитических и экспериментальных исследований особенностей процесса хонингования конических отверстий была определена зависимость для определения контактного давления ( $q_y$ ) в любой точке бруска при взаимодействии рабочей поверхности инструмента с деталью [2]:

$$q_y = \beta \omega k_d^2 HV \bar{N} \delta^2,$$

где  $\beta$  – коэффициент, зависящий от формы конического 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 Викерсу;  $\bar{N}$  – число зерен, участвующих в резании;  $\delta$  – глубина внедрения зерна.

Экспериментальные исследования, проводимые по разработанной методике [2], показали неравномерность распределения контактных давлений по длине бруска, из чего можно заключить, что процесс резания сопровождается неравномерным съемом материала. Связано это с тем, что при хонинговании конических отверстий ширина контакта бруска с заготовкой постоянно изменяется, а глубина внедрения режущих зерен с уменьшением ширины контакта увеличивается. Следовательно, возникают отклонения от круглости и прямолинейности образующей конического отверстия, неравномерность шероховатости обработанной поверхности, что нежелательно для сопрягаемых деталей или последующей операции притирки, которая является весьма трудоемкой.

В связи с этим возникла необходимость создания инструмента, обеспечивающего на поверхности бруска при его взаимодействии с деталью равномерно распределенную контактную нагрузку.

Была разработана колодка (составляющий элемент инструмента), позволяющая выравнивать контактные нагрузки на рабочей поверхности бруска (рис. 1).



Рис. 1. Колодка инструмента для хонингования конических отверстий:  
 а – промышленная (традиционная): 1 – корпус; 2 – подложка; 3 – алмазный брусок;  
 б – экспериментальная: 1 – корпус; 2 – подложка; 3 – алмазный брусок;  
 4 – опорная планка

По полученным расчетным и экспериментальным результатам (см. таблицу) построены графические зависимости (рис. 2), из которых видно, что конструкция экспериментальной колодки позволяет выравнивать контактные давления на рабочей поверхности бруска при его взаимодействии с поверхностью конического отверстия.

С помощью программы SolidWorks была создана модель для наглядного представления контактного взаимодействия инструмента (в среднем положении) с обрабатываемой деталью при хонинговании конического отверстия (рис. 3). При построении модели входные параметры соответствовали параметрам, использованным в ходе проведения экспериментов (материал детали и инструмент, их габаритные размеры, приложенная нагрузка).

## Значения контактных давлений на поверхности бруска

Длина образующей $L$ , мм	Давление $q_y$ , МПа			
	Промышленная (традиционная) колодка		Предлагаемая колодка	
	Экспериментальное	Расчетное	Экспериментальное	Расчетное
5	1,04	1,25	0,52	0,57
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

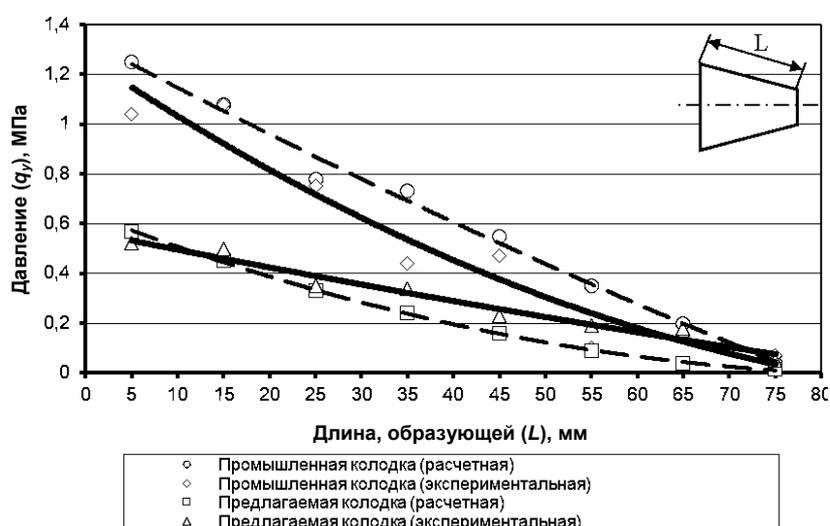


Рис. 2. Распределение контактного давления  $q_y$  вдоль бруска при использовании промышленной (традиционной) и экспериментальной колодок

Напряженное состояние поверхности детали, отражающее контактное взаимодействие процесса хонингования, показывает эффективность применения экспериментальной колодки.

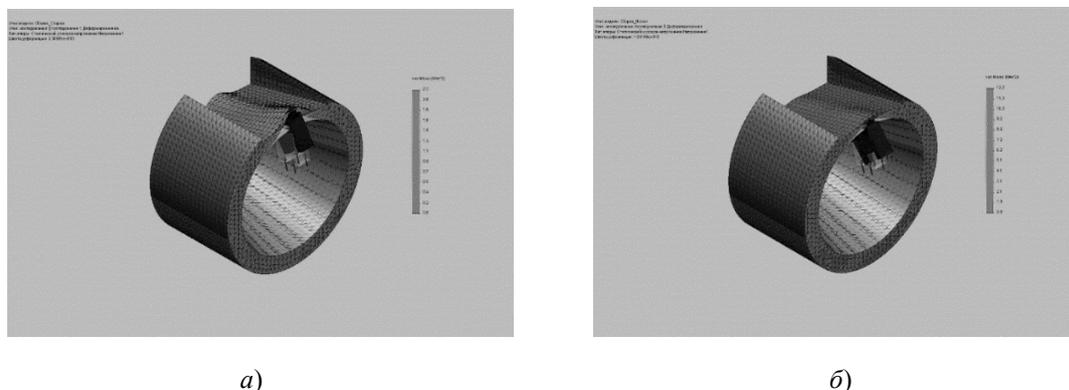


Рис. 3. Модель контактного взаимодействия колодки с поверхностью конического отверстия детали (в среднем положении относительно детали): *а* — промышленная (традиционная) колодка; *б* — экспериментальная колодка

Возможности программы SolidWorks позволяют создать модели конструкций колодок для обработки конических отверстий, имеющих различную длину и угол конуса.

Полученные результаты позволили продолжить исследования, направленные на формирование качества обработанной поверхности.

Для проведения экспериментов в качестве материала была использована сталь 40Х улучшенная (HRC 42–52) по ГОСТ 4543–71. Обработка проводилась на радиально-сверлильном станке модели 2К522. Установленные режимы резания:  $V_{о.к} = 45$  м/мин;  $V_{в-п} = 10$  м/мин. Алмазные бруски: АС6 500/400-М5-01-100 %. СОЖ: НСК-5 и керосин.

И. Е. Фрагин [3] указывает, что керосин является высокоэффективной СОЖ для процесса алмазного хонингования, так как представляет собой парафиновые углеводороды от C11H24 до C15H32. В керосине от 0,2 до 3 % нафтеновых кислот с числом углеродных атомов 13–15 и более. Нафтеновые кислоты содержат 7,5 % жирных кислот и среди них олеиновую кислоту – эффективные ПАВ. Автор выдвигает также предположение о хемосорбционном взаимодействии ювенильной поверхности металла и органических ПАВ, содержащихся в керосине. В работах [4]–[7] авторами также подтверждается эффективность применения керосина.

Водный раствор концентрата НСК-5 был разработан институтом химии приса-док Академии наук Азербайджанской ССР. В его состав входят следующие компоненты: 30 % – натриевых солей кислого гудрона; 2,5 % – азотнокислого натрия; 2,5 % – тетраборокислого натрия; 15 % – триэтанолamina; остальное вода. Испытания НСК-5 показали, что он обладает хорошими теплоотводящими, смазывающими, антикоррозионными свойствами. В результате внедрения водного раствора НСК-5 стойкость алмазных брусков увеличилась в 2,5 раза, удельный расход алмаза стал ниже, а производительность процесса выше, чем при использовании керосина [8].

После хонингования были проведены измерения параметров точности: отклонений от круглости конического отверстия в поперечном сечении; прямолинейности образующей. По полученным результатам построены круглограммы (рис. 4) и отклонения прямолинейности образующей (рис. 5).

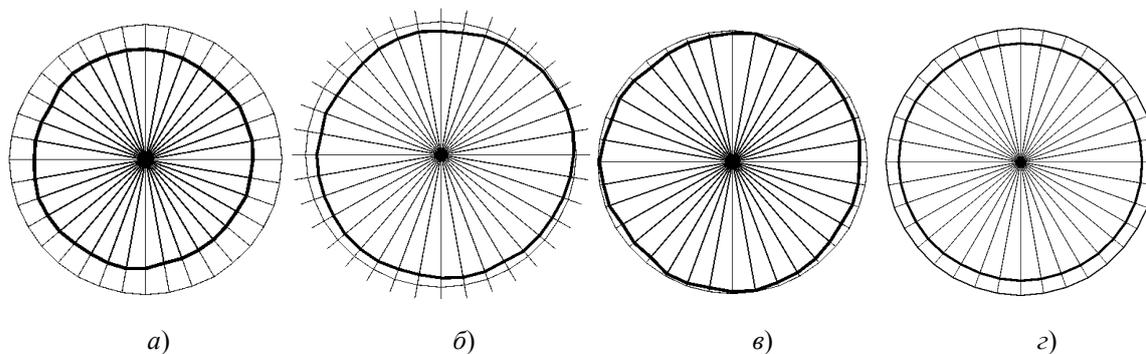


Рис. 4. Круглограммы поверхности конического отверстия после хонингования:

- а – традиционной колодкой: СОЖ–керосин;  $R = 42,719$  мм;  $Td = 20$  мм;
- б – традиционной колодкой: СОЖ–НСК-5 на водной основе;  $R = 42,719$  мм;  $Td = 20$  мм;
- в – экспериментальной колодкой: СОЖ–керосин;  $R = 36,97$  мм;  $Td = 16$  мм;
- з – экспериментальной колодкой: СОЖ–НСК-5 на водной основе;  $R = 36,97$  мм;  $Td = 16$  мм

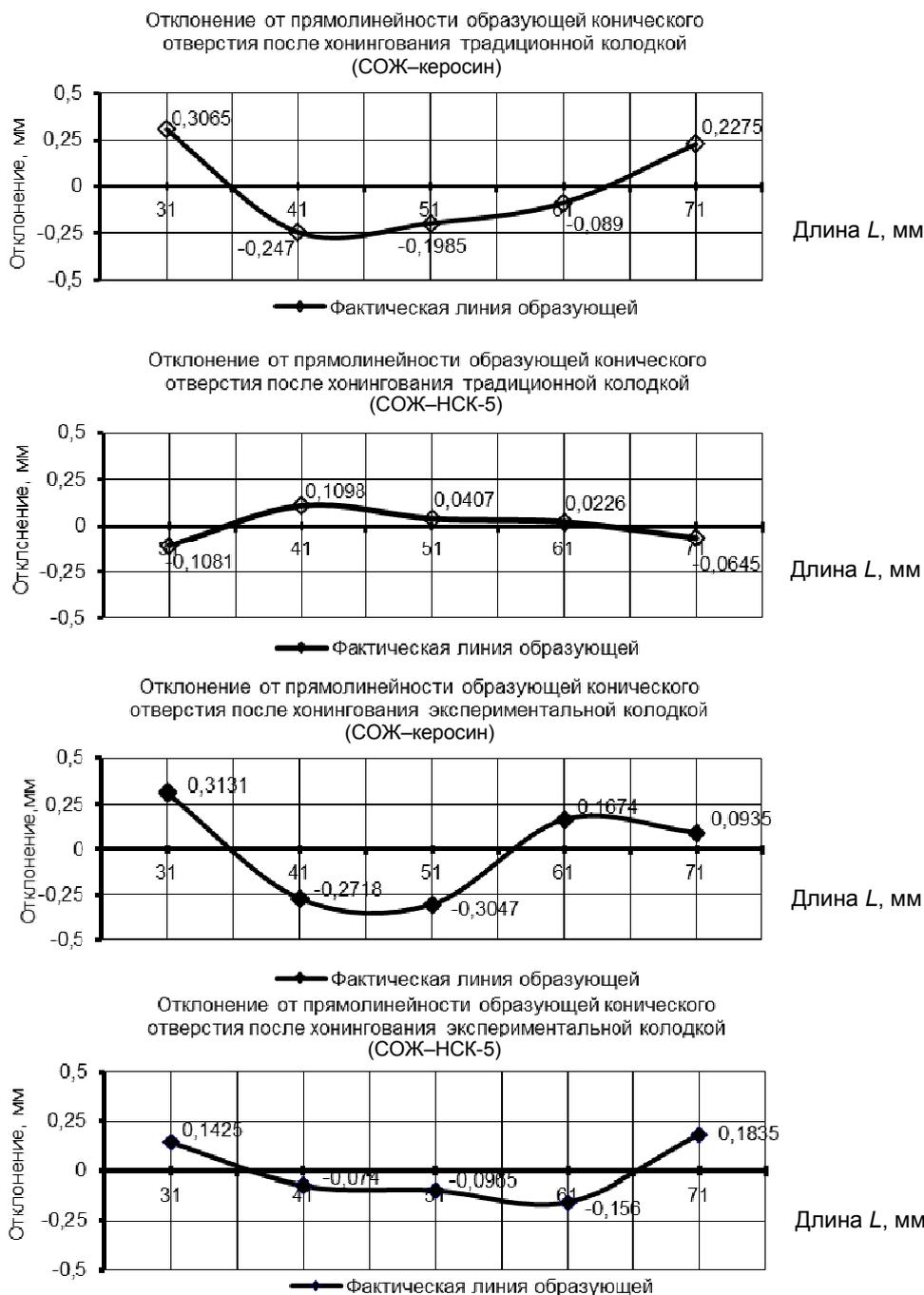


Рис. 5. Отклонения образующей конического отверстия после хонингования

Качество поверхности конического отверстия после хонингования в среде керосина и НСК-5 оценивалось параметром шероховатости.

В процессе исследования микрогеометрии образующей конического отверстия с углом конуса  $25^\circ$  после хонингования с использованием в инструменте как промышленной (традиционной), так и экспериментальной колодки было определено, что параметры шероховатости переменны. Их величина возрастает при перемещении от меньшего диаметра отверстия к большему. Для измерения шероховатости был использован портативный профилометр с программным обеспечением TR200.

На основании полученных данных построены графики шероховатости вдоль образующей конического отверстия (рис. 6).

Результаты шероховатости, представленные на рис. 5, показывают, что экспериментальная конструкция колодки и применение НСК-5 в качестве СОЖ при хонинговании создают благоприятные условия формирования равной микрогеометрии поверхности образующей конического отверстия.

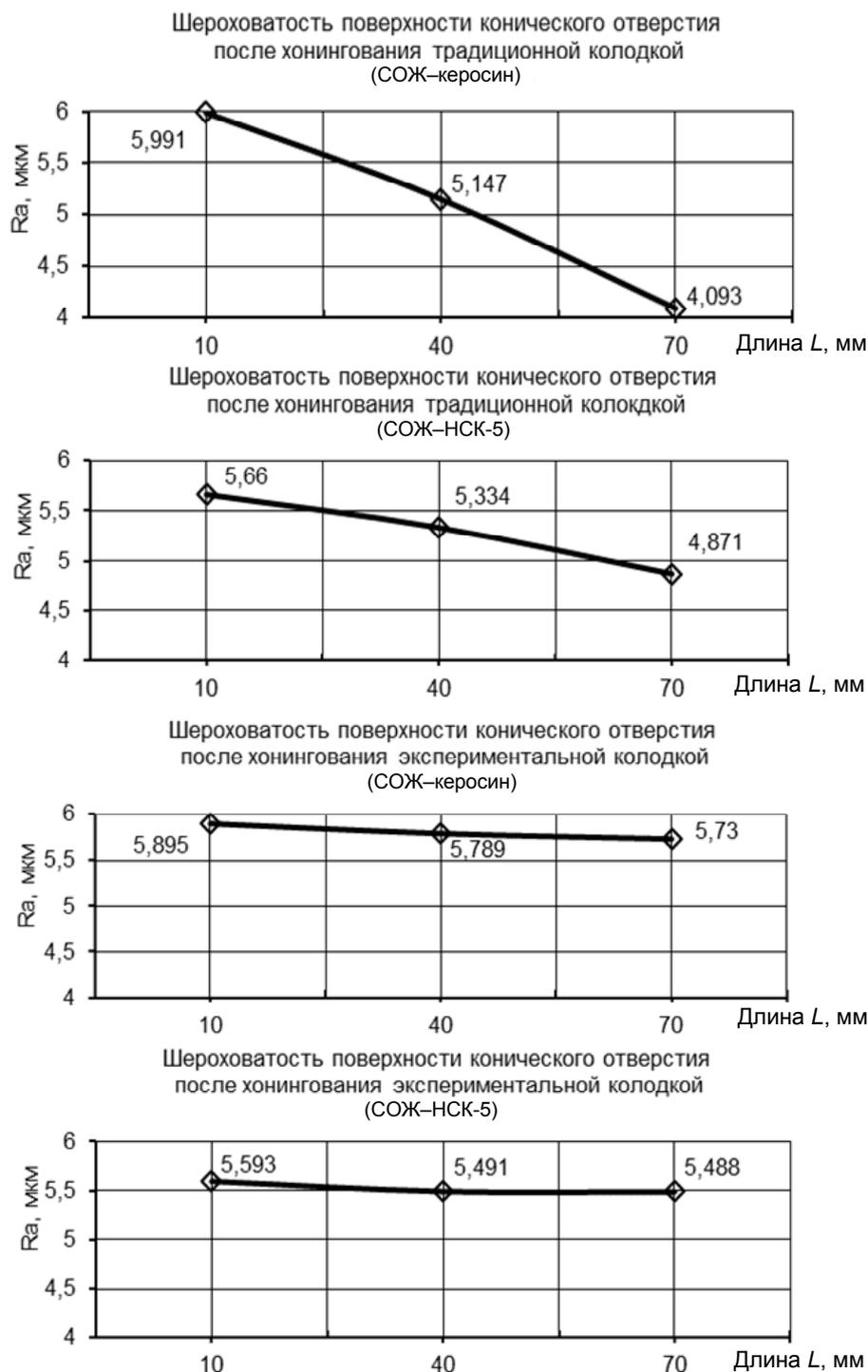


Рис. 6. Шероховатость поверхности образующей конического отверстия после хонингования брусками АС6 500/400-М5-01-100 %

### Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что при хонинговании конических отверстий из стали 40Х в среде водного раствора НСК-5 и бруском с характеристикой АС6 500/400-М5-01-100 %, закрепленным в предлагаемой конструкции колодки, позволило обеспечить равномерную шероховатость обработанной поверхности.

### Литература

1. Иззетов, Н. А. Повышение точности и производительности чистовой обработки конических отверстий алмазным хонингованием : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Н. А. Иззетов. – М., 1987. – 254 с.
2. 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 / Э. Ш. Джемилов. – Харьков, 2010. – 160 с.
3. Фрагин, И. Е. Расчет настройки выхода хона при алмазном и абразивном хонинговании / И. Е. Фрагин. – М. : ОНТЭИ, 1965. – С. 68–79. – (Алмазная обработка деталей машин).
4. Латышев, В. Н. Повышение эффективности СОЖ / В. Н. Латышев. – М. : Машиностроение, 1975. – 88 с.
5. Малиновский, Г. Г. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием / Г. Г. Малиновский. – М. : Химия, 1988. – 187 с.
6. Ребиндер, П. А. Поверхностно-активные вещества / П. А. Ребиндер. – М. : Знание, 1961. – 46 с.
7. Худобин, Л. В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании / Л. В. Худобин. – М. : Машиностроение, 1971. – 211 с.
8. Абразивная и алмазная обработка материалов : справочник / под. ред. А. Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 392 с.

*Получено 19.03.2019 г.*