

УДК 621.9

Э.Ш. Джемилов, канд. техн. наук,**М.Л. Шабдинов, канд. пед. наук**

Республиканское высшее учебное заведение «Крымский инженерно-педагогический университет»,
ул. Севастопольская, пер. Учебный, 8, г. Симферополь, Украина, 95015
csepu@gala.net

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА С ДЕТАЛЬЮ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

В статье рассматриваются процессы контактного взаимодействия рабочей поверхности инструмента с деталью при развертывании и влияние экологически безопасных СОТС на качество поверхности отверстий.

Ключевые слова: *развертывание, контактные нагрузки, прямолинейность образующей, округлость, шероховатость обработанной поверхности.*

Точность обработки поверхностей изделия влияет на его функциональные и эстетические качества. Вопросы оптимизации обработки деталей в течение длительного периода времени привлекают внимание исследователей и производителей. Обработка отверстий занимает важное место в машиностроении и по объему не уступает процессам обработки наружных поверхностей. Кроме того, обработка точных отверстий относится к числу наиболее трудоемких и сложных процессов, что обусловлено более тяжелыми условиями протекания процесса, меньшей жесткостью режущих инструментов. При этом необходимо обеспечивать не только точность размера и формы, но также точность положения оси обрабатываемого отверстия относительно наружной поверхности [1]. Выявление возможностей и необходимых условий по уменьшению технологического наследования исходных погрешностей оказывают решающее влияние на точность, и производительность при чистовой обработке отверстий, а также на последующую надежность работы деталей в узле машины. Проблемные задачи повышения точности, виброустойчивости и производительности обработки отверстий мерными концевыми инструментами решаются путем управления перемещениями инструмента в плоскости, перпендикулярной его оси за счет оптимизации конструктивных параметров, ориентации колебательной системы, режимов резания и применения экологически безопасных СОТС. Последнее тесно связано с размерной точностью, качеством поверхности, себестоимостью и производительностью обработки отверстий [1].

Наибольшее распространение при обработке точных отверстий диаметров получили внутреннее шлифование, протягивание и развертывание. Внутреннее шлифование и протягивание отверстий малых диаметров относятся к числу дорогостоящих операций. Кроме того, эти виды обработки трудно применять при обработке крупных громоздких деталей с глубокими, ступенчатыми и глухими отверстиями. Поэтому, основным методом при обработке точных отверстий малых диаметров, часто применяется операция развертывания, выполняемые в сочетании со сверлением и зенкерованием.

Установившаяся конструкция инструмента, освоенная технология его изготовления, возможности использования на различных станках и различных типах производства, практическая незаменимость при получении глухих и ступенчатых отверстий (особенно малых диаметров) в громоздких деталях и др., предопределили широкое применение процесса развертывания, как финишной операции.

Имеется ряд опубликованных работ [2, 3], посвященных исследованию процесса развертывания отверстий. В этих работах освещены основные положения данной технологической операции, т.е. рассмотрены вопросы резания, явления при стружкообразовании, возникающие усилия, износ и стойкость инструмента, изучено влияние геометрических параметров разверток, их крепление, характеристики применяемых режимов резания, СОТС и их влияние на процесс резания.

Как показал анализ, точность отверстий, обработанных развертками, на многих машиностроительных заводах не удовлетворяет предъявляемым к ним требованиям. При обработке развертками отверстий высокой точности наиболее часто приходится сталкиваться с такими погрешностями:

- 1) некруглость (огранка) отверстий;
- 2) большая шероховатость обработанной поверхности;
- 3) разбивание или усадка отверстий.

Одним из перспективных направлений в области исследования и научного прогнозирования повышения качества обработки развертыванием отверстий является разработка вопросов механики контактного взаимодействия инструмента с деталью.

Анализ существующих моделей, предложенных А.С. Ахматовым, Ф. Лингом, Н.Б. Демкиным, А.П. Соколовским, К.В. Вотиновым и Г.Е. Чихладзе, показал, что изучение контактного взаимодействия

інструмента з поверхністю оброблюваного отвору є актуальною задачею, рішення якої дозволить виробити рекомендації по удосконаленню процесу розвертання і забезпечити якість обробки.

Для визначення контактних навантажень при розвертання отвору використаємо методику [4].

З урахуванням аналізу існуючих вимірних установок і методики дослідження механіки взаємодії інструмента з деталлю в процесі розвертання отворів була визначена схема вимірювання контактних навантажень на робочій поверхності розвертки при її взаємодії з оброблюваною деталлю.

З метою отримання об'єктивних даних і зниження похибок розроблена схема максимально наближена до процесу різання.

Схема установки для вимірювання контактних навантажень, представлена на рисунку 1.

Поверхність режущого лезва розвертки знаходиться в контакті з образуючою отвору досліджуваною деталлю, закріпленою нерухомо. На зовнішній поверхності деталі наклеєні тензорезистори. На розвертку прикладається навантаження P , яка розподіляється на поверхні режущого лезва. Тензорезистори змінюють опір в залежності від деформації поверхні деталі. Це зміння передається на тензометричну станцію ТС-8 і ПК.

Отримана інформація оброблюється спеціальною програмою і потім будується епюра контактних навантажень.

По розробленій схемі була виготовлена експериментальна установка, що дозволяє визначати контактні навантаження на поверхні режущого лезва розвертки при її взаємодії з заготовкою (рисунк 2).

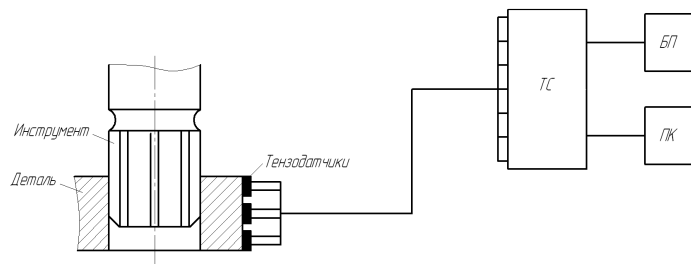


Рисунок 1 – Схема вимірювання контактних навантажень



Рисунок 2 – Установка для визначення контактних навантажень

Для проведення досліджень контактної взаємодії режущої поверхності з циліндричним отвором як обладнання використовувався радіально-сверлильний станок мод. 2К522 (рисунк 3).



Рисунок 3 – Радіально-сверлильний станок моделі 2К522



Рисунок 4 – Розвертка шинная

В качестве материала при проведении экспериментов была использована сталь 45 (НВ 229) по ГОСТ 1050–88.

Применяемый режущий инструмент – развертка машинная из стали Р6М5 (рисунок 4) ($\varnothing 33,4$ мм – для развертывания отверстия в среде минерального масла И-20, $\varnothing 33,6$ мм – для развертывания в среде подсолнечного масла, $\varnothing 33,8$ мм – для развертывания в среде животного жира).

Режимы резания соответствовали производственным для чернового развертывания: частота вращения шпинделя – 500 об/мин, подача шпинделя – 0,32 мм/об.

Для исследования качества цилиндрического отверстия, обрабатываемого методом развертывания, был составлен следующий план проведения экспериментов:

1. По схеме, представленной на рисунке 1, исследовать характер распределения контактных нагрузок на поверхности режущего лезвия развертки при обработке в среде минерального масла И-20, в среде подсолнечного масла и в среде животного жира.

2. Провести обработку полученных результатов и построить эпюры контактных нагрузок.

3. На основе анализа эпюр контактных нагрузок выработать рекомендации к использованию СОТС, способствующих повышению качества обработки отверстий развертыванием.

4. Исследовать влияние СОТС (минерального масла И-20, подсолнечного масла и животного жира) на качество обрабатываемого отверстия (отклонения от круглости, прямолинейности образующей, шероховатость).

Определение контактных нагрузок при взаимодействии режущего лезвия развертки с поверхностью отверстия проводилось следующим образом: сигнал, выдаваемый каждым из 3-х тензодатчиков в зависимости от приложенной нагрузки, поступал на тензостанцию ТС-8 и записывался одновременно.

После обработки сигнала с 3-х тензодатчиков были получены значения контактных нагрузок (таблица 1) и построены эпюры их распределения на поверхности режущего лезвия развертки (рисунок 5 – 7).

Таблица 1 – Значения контактных нагрузок на поверхности режущего лезвия развертки

Обрабатываемый материал	Припуск на диаметр (t), мм	Длина образующей (L), мм	Линейно распределенная нагрузка (p_y), МПа		
			В среде минерального масла И-20	В среде подсолнечного масла	В среде животного (свиного) жира
Сталь 45	0,2	5	21,02757	19,26018	9,122463
		15	64,2558	42,08668	27,00022
		25	-11,1537	-4,7576	-4,28845



Рисунок 5 – Эпюра линейно распределенной нагрузки вдоль режущего лезвия развертки при применении в качестве СОТС минерального масла И-20

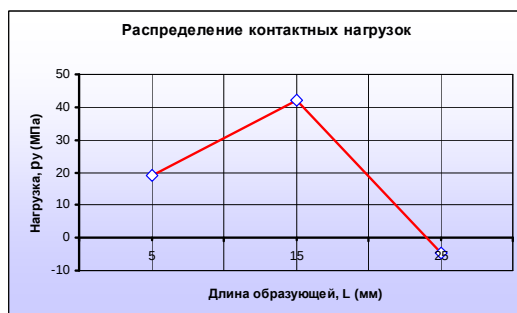


Рисунок 6 – Эпюра линейно распределенной нагрузки вдоль режущего лезвия развертки при применении в качестве СОТС подсолнечного масла



Рисунок 7 – Эпюра линейно распределенной нагрузки вдоль режущего лезвия развертки при применении в качестве СОТС животного (свиного) жира

Из эпюр линейного распределения контактных нагрузок (рисунок 5 – 7) видно, что значения p_y уменьшаются, по отношению к развертыванию в среде минерального масла И-20, при применении подсолнечного масла в 1,5 раза, а животного (свиного жира) – в 2,3 раза.

После развертывания были проведены измерения (таблица 2) отклонений от круглости цилиндрического отверстия в поперечном сечении. По полученным результатам построены круглограммы, характеризующие отклонения от круглости цилиндрических отверстий (рисунок 8).

Таблица 2 – Результаты измерения отклонений от круглости цилиндрического отверстия

Градус, (°)	Исходный диаметр отверстия, мм	Диаметр отверстия после обработки, мм		
		В среде минерального масла И-20	В среде подсолнечного масла	В среде животного (свиного) жира
1	2	3	4	5
0	33,2	33,4	33,6	33,8
10	33,21	33,39	33,6	33,8
20	33,2	33,4	33,59	33,79
30	33,2	33,4	33,59	33,79
40	33,2	33,39	33,59	33,79
50	33,2	33,38	33,59	33,78
60	33,2	33,39	33,58	33,78
70	33,19	33,4	33,58	33,78
80	33,2	33,4	33,59	33,78
90	33,19	33,4	33,58	33,78
100	33,19	33,41	33, 58	33,79
110	33,2	33,42	33,59	33,79
120	33,19	33,42	33,6	33,8
130	33,19	33,42	33,6	33,8
140	33,19	33,41	33,59	33,8
150	33,19	33,41	33,6	33,81
160	33,2	33,41	33,6	33,81
170	33,19	33,41	33,61	33,81
180	33,19	33,42	33,61	33,82
190	33,2	33,42	33,61	33,82
200	33,2	33,4	33,6	33,81
210	33,2	33,4	33,6	33,81
220	33,2	33,4	33,59	33,8
230	33,19	33,41	33,59	33,8
240	33,19	33,4	33,59	33,8
250	33,19	33,41	33,6	33,8
260	33,18	33,42	33,61	33,79
270	33,18	33,42	33,61	33,79
280	33,19	33,42	33,61	33,79
290	33,19	33,4	33,6	33,8
300	33,19	33,41	33,59	33,8
310	33,21	33,41	33,59	33,81
320	33,2	33,42	33,6	33,81
330	33,2	33,4	33,61	33,81
340	33,2	33,41	33,6	33,8
350	33,2	33,4	33,6	33,8

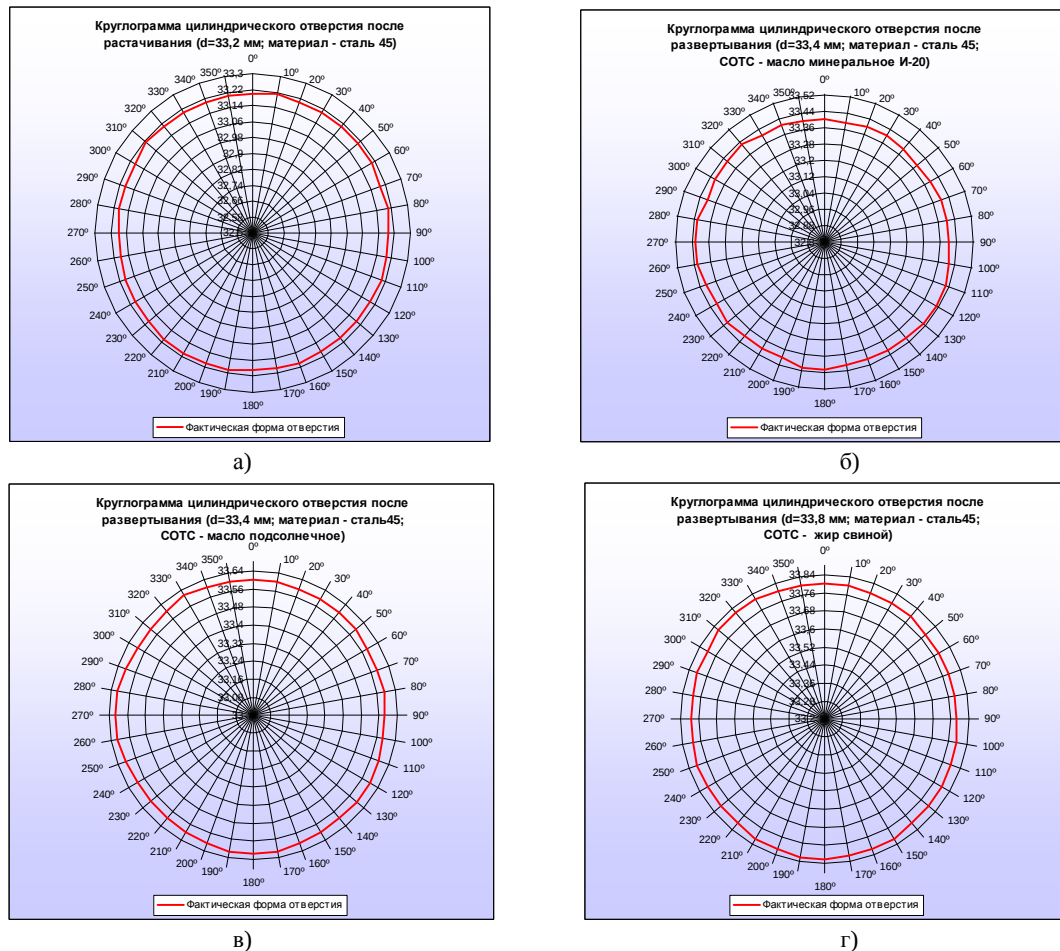


Рисунок 8 – Отклонение от круглости цилиндрического отверстия:

а) после растачивания; б) после развертывания с СОТС – масло минеральное И-20;
в) после развертывания с СОТС – масло подсолнечное; г) после развертывания с СОТС – жир свиной

Круглограммы, представленные на рисунке 8, показывают, что уменьшение величины контактных нагрузок при применения различных СОТС не приводит к изменению точности формы развертываемого отверстия.

Результаты измерений прямолинейности образующей до и после обработки развертыванием в различных условиях приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерения отклонений прямолинейности образующей цилиндрического отверстия до и после обработки развертыванием

Длина образующей, мм	Отклонение, мм			
	После растачивания	После развертывания в среде СОТС		
		Масло минеральное И-	Масло подсолнечное	Жир свиной
5	0	0	0	0
10	0,01	-0,02	0,02	-0,01
15	0	-0,02	0,01	0
20	0,02	-0,01	0,01	0
25	0	-0,02	0	0,01
30	-0,01	-0,01	-0,01	0,01
35	0,01	0	-0,01	0,01

По полученным результатам отклонений прямолинейности образующей, измеренных в 7 точках, с шагом 5 мм, построены фактические линии образующей цилиндрического отверстия (рисунок 9).

Экспериментальные линии прямолинейности образующей показывают, что наилучший результат получен при разворачивании с применением в качестве СОТС свиного жира.

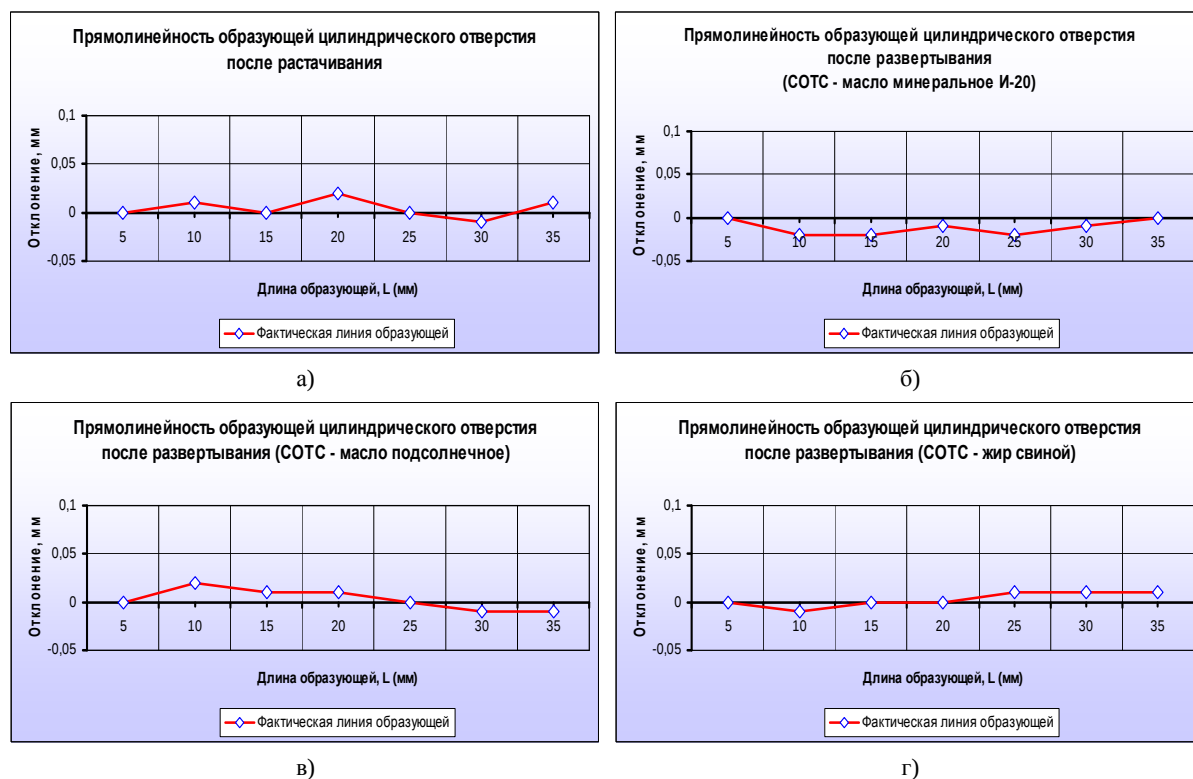


Рисунок 9 – Отклонение прямолинейности цилиндрического отверстия:

- а) после растачивания; б) после разворачивания с СОТС – масло минеральное И-20;
в) после разворачивания с СОТС – масло подсолнечное; г) после разворачивания с СОТС – жир свиной

Параметры шероховатости определялись на портативном профилометре TR200 с программным обеспечением. В таблице 4 приведены результаты проведенных исследований партии деталей из 20 штук. Измерения производились в 4 участках вдоль образующей цилиндрического отверстия: I участок – на расстоянии 5 мм от торца отверстия; II участок – 15 мм; III участок – 25 мм; IV участок – 35 мм.

Таблица 4 – Величина шероховатости вдоль образующей цилиндрического отверстия

Инструмент	СОТС	Шероховатость (Ra), мкм			
		Участок			
		I	II	III	IV
Резец расточной	После растачивания	2,917	2,553	2,384	2,347
Развертка машинная	Масло минеральное И-20	1,419	1,283	1,258	0,923
	Масло подсолнечное	1,254	1,137	1,042	0,852
	Жир свиной	1,093	1,000	0,985	0,831

На основании полученных данных построены графики шероховатости вдоль образующей цилиндрического отверстия (рисунок 10).

Результаты шероховатости, представленные на рисунке 10, показывают, что предлагаемые экологически безопасные СОТС при разворачивании создают благоприятные условия для уменьшения величины микронеровности поверхности образующей цилиндрического отверстия.

По полученным результатам исследований можно сделать следующие **выводы**:

– характер распределения контактных нагрузок на рабочей поверхности развертки показывает, что применение экологически безопасных СОТС при разворачивании приводит к повышению качества поверхности цилиндрического отверстия.

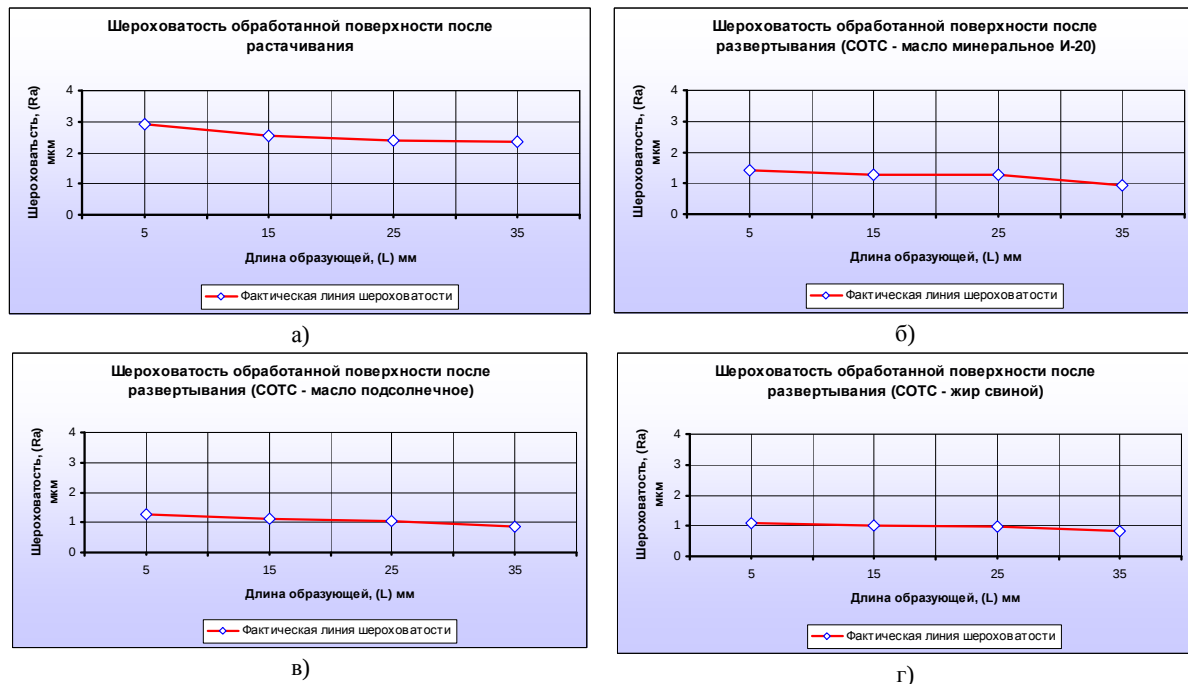


Рисунок 10 – Шероховатость поверхности вдоль образующей цилиндрического отверстия:

а) после растачивания; б) после развёртывания с СОТС – масло минеральное И-20; в) после развёртывания с СОТС – масло подсолнечное; г) после развёртывания с СОТС – жир свиной

– отклонение от круглости не изменяется и находится в пределах допуска, в независимости от применяемого СОТС;

– отклонение прямолинейности незначительно уменьшается при применении в качестве СОТС животного (свиного) жира;

– параметры шероховатости вдоль образующей цилиндрического отверстия составили: с маслом минеральным И-20 – $Ra = 0,923 \div 1,419$ мкм; с маслом подсолнечным – $Ra = 0,852 \div 1,254$ мкм; с животным (свиным) жиром – $Ra = 0,831 \div 1,093$ мкм.

Библиографический список использованной литературы

1. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Ю.П. Холмогорцев — М.: Машиностроение, 1984. — 184 с.
2. Белоус Ю.Д. Исследование процесса развёртывания отверстий в заготовках из мягких углеродистых сталей: дис. ... канд. техн. наук / Ю.Д. Белоус. — УПИ, Свердловск, 1973.
3. Железнов Г.С. Влияние погрешности установки развертки на точность обработки / Г.С. Железнов, С.А. Сингеев // Станки и инструмент. — 1982. — № 9. — С. 25 – 26.
4. Определение контактных давлений при хонинговании конических отверстий / Э.Ш. Джемилов, Н.А. Иззетов, Ю.А. Цеханов, Ф.Я. Якубов // Вісник Хмельницького національного університету: научний журнал ВАК. — Хмельницький, 2006. — Вып. 6. — С. 14–17.

Поступила в редакцию 19.03.2013 г.

Джемілов Є.Ш., Шабдінов М.Л. Дослідження контактної взаємодії інструменту з деталлю при розгортанні отворів

У статті розглядаються процеси контактної взаємодії робочої поверхні інструменту з деталлю при розгортанні і вплив екологічно безпечних МОТС на якість поверхні отвору.

Ключові слова: розгортання, контактні навантаження, прямолінійність утворюючої, округлість, шорсткість обробленої поверхні.

Dzhemilov E.Sh., Shabdinov M.L. The research of the contact interaction of the tool with a part in the deployment of holes

The article considers the processes of contact interaction of the working surface of the instrument with a part in the deployment and the impact of environmentally safe LCTT on the surface holes' quality.

Keywords: deployment, contact load, straightforwardness of generatrix, roundedness, roughness of the trimmed surface.