



GLOBAL JOURNAL OF RESEARCHES IN ENGINEERING: A
MECHANICAL AND MECHANICS ENGINEERING
Volume 20 Issue 2 Version 1.0 Year 2020
Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal
Publisher: Global Journals
Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861

Results of Comparative Experimental Studies to Identify the Effectiveness of the New Design of the End Grinding Wheel

By Hassan Ahmad Husseynov & Chingiz Mirza Mammadov

Azerbaijan Technical University

Abstract- The article presents the results of comparative experimental studies to identify the effectiveness of the new design of the end grinding wheel. The analysis of the obtained empirical models shows that the roughness of surfaces ground with a new design wheel is much lower than that of a standard grinding wheel. This is due to the fact that the creation of discontinuity on the frontal zone of the working end with the profiling of the protrusions along the Archimedean spiral eliminates periodic impacts, increases the number of cutting grains, creates conditions for a relatively uniform distribution of the allowance between them and increases the meticulous capacity of the continuous part of the working end of the wheel.

Keywords: *grinding wheel, roughness, surface quality, empirical model, archimedean spiral, efficiency, cutting conditions.*

GJRE-A Classification: *FOR Code: 091399p*



Strictly as per the compliance and regulations of:



Results of Comparative Experimental Studies to Identify the Effectiveness of the New Design of the End Grinding Wheel

Сравнительные экспериментальные исследования шероховатости поверхности при торцевом шлифовании кругом новой конструкции и стандартным кругом

Hassan Ahmad Husseyinov^α & Chingiz Mirza Mammadov^σ

Abstract- The article presents the results of comparative experimental studies to identify the effectiveness of the new design of the end grinding wheel. The analysis of the obtained empirical models shows that the roughness of surfaces ground with a new design wheel is much lower than that of a standard grinding wheel. This is due to the fact that the creation of discontinuity on the frontal zone of the working end with the profiling of the protrusions along the Archimedean spiral eliminates periodic impacts, increases the number of cutting grains, creates conditions for a relatively uniform distribution of the allowance between them and increases the meticulous capacity of the continuous part of the working end of the wheel.

Keywords: grinding wheel, roughness, surface quality, empirical model, archimedean spiral, efficiency, cutting conditions.

Реферат- В статье изложены результаты сравнительных экспериментальных исследований по выявлению эффективности новой конструкции торцевого шлифовального круга. Анализ полученных эмпирических моделей показывает, что шероховатость поверхностей, шлифованных кругом новой конструкции значительно ниже, чем шлифованных стандартным кругом. Это объясняется тем, что созданием прерывистости на фронтальной зоне рабочего торца с профилированием выступов по архимедовой спирали устраняются периодические удары, увеличиваются число режущих зерен, создаются условия для относительно равномерного распределения припуска между ними и повышается выхаживающая способность сплошной части рабочего торца круга.

Ключевые слова: шлифовальный круг, шероховатость, качество поверхности, эмпирический модель, архимедова спираль, эффективность, режимы резания.

Author α: Doctor of technical Sciences, Professor, Head of the Department of the Azerbaijan Technical University.
e-mail: Baku_tk_xt2001@mail.ru

Author σ: PhD in Technical Sciences, Lecturer at the Azerbaijan Technical University.

I. ВВЕДЕНИЕ

Масштабы применения шлифовальных операций, появление новых машиностроительных материалов и новых алмазно-абразивных инструментов для их обработки вызывает необходимость в более детальном изучении физической сущности этого процесса. Анализ процесса шлифования неуклонно приводит к мысли, что при этом значительная часть механической работы тратится на трение и соответственно приводит к повышенному тепловому воздействию на обрабатываемую поверхность, а в последствии, к ухудшению геометрических параметров шлифованных поверхностей и снижению физико-механических свойств поверхностного слоя обрабатываемой детали.

В качестве примера проведем анализ процесса торцевого шлифования, отличающейся с наибольшей площадью контакта. Идея снижения теплового воздействия на обрабатываемую поверхность посредством усовершенствования шлифовального инструмента, в частности торцевого шлифовального круга, привела к появлению кругов с прерывистыми, эксцентричными, наклонными и др. поверхностями. Этими кругами хотя и удается снижение теплового воздействия на обрабатываемую поверхность, однако, они неуклонно ведут к повышению вибрации в технологической системе из-за ударного воздействия при прерывистом шлифовании и неуравновешенности, при шлифовании с эксцентричными и наклонными кругами. Ударное воздействие и неуравновешенность шлифовальных кругов, в свою очередь, приводит к ухудшению качества шлифованных поверхностей, повышенному износу круга, преждевременному выходу из строя шпиндельного и других узлов станка.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Анализируя работу кругов с прерывистой рабочей поверхностью нетрудно убедиться в том, что работа резания при этом производится в основном зернами, расположенными на фронтальной части

рабочего выступа с высотой величины продольной подачи детали на оборот круга. Этому свидетельствует интенсивное выкрашивание зерен этой зоны из связки[1]. По мере износа происходит само оформление внешнего профиля выступа, образуя некоторый угол атаки к плоскости резания. Указанное явление особенно характерно при глубинном и черновом многопроходном шлифовании.

При этом основным очагом тепловыделения в контактной зоне является фронтальная режущая полоса, а, в последующих, фактически работающие зерна попадая в уже прорезанные царапины производят работу выхаживания. Причем выхаживающие способности условных полос возрастают по мере удаления от фронтальной зоны по убывающей геометрической прогрессии. Таким образом, рабочий торец выступа условно разбивается на две части – первая режущая фронтальная полоса, вторая – последующие выхаживающие полосы. Следовательно, снижение интенсивности тепловыделения в режущей фронтальной части рабочего торца круга, где она имеет доминирующее значение, путем создания прерывистости в этой зоне и устранении очагов возникновения вибраций выполнением выхаживающую часть сплошным, являются наиболее оптимальными решениями повышения эффективности процесса торцевого шлифования.

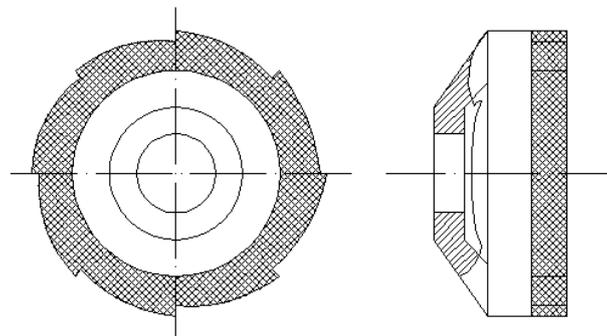


Рис. 1: Торцевой шлифовальный круг свиступами, очерченными по архимедовой спирали

IV. МЕТОДИКА

Для определения эффективности новой конструкции торцевого шлифовального и рациональных условий ее применения были проведены экспериментальные исследования по ортогональному планированию второго порядка. Входные переменные экспериментов были выбраны исходя из степени их воздействия на исследуемый процесс. Рассматривались все существенные факторы процесса торцевого шлифования. Отсев первоначально выбранных факторов был произведен на основе анализа априорной информации и теоретических исследований автора[5]. При отсеке было обращено также внимание на возможности количественной оценки выбранных

III. КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ

Для устранения периодических ударов в прерывистой зоне и тем самым источников вибраций, требуется профилирование режущих выступов прерывистой части рабочего торца шлифовального круга таким образом, чтобы способствовало увеличению количества режущих зерен рабочего выступа и созданию условий для относительно равномерного распределения между ними припуска, приходящего на один выступ прерывистой части фронтальной полосы. Данная проблема решается очертанием профиля режущего выступа по архимедовой спирали, т.е. переход от впадины к выступу в режущей фронтальной полосе выполняется по архимедовой спирали, посредством суммирования двух равномерных движений – поступательного в результате продольной подачи детали и вращательного посредством вращательного движения шлифовального круга. Для реализации вышеизложенных суждений разработана новая конструкция торцевого шлифовального круга, которая была защищена в Государственном комитете по стандартизации метрологии и патентам и получен одноименный патент под № 0183 (Рис.1).

факторов, их управляемости, исходя из технических возможностей станка, точности измерения, назначения необходимого уровня в соответствии со строками матрицы планирования и его поддержки во время опыта. С учетом всех этих требований в качестве входных параметров процесса шлифования были выбраны: скорость круга, скорость детали и подачи на глубину, комбинации которых наиболее воздействуют на шероховатость шлифованной поверхности.

Все входные переменные эксперимента являются независимыми и управляемыми. Совокупность этих факторов совместима и представляет режим шлифования, а их комбинации, в соответствии со

строками матрицы планирования, исходя из технических и технологических возможностей операции торцового шлифования, осуществимы.

В качестве выходных переменных экспериментальных исследований выбраны параметры шероховатости шлифованной поверхности. Теоретические исследования, проведенные в работах [1-3], позволили определить параметры новой

конструкции шлифовального круга, в том числе характеристику архимедовой спирали и оптимальное количество выступов прерывистой зоны. Исходя из степени влияния факторов на величину выходных параметров процесса шлифования и величину ошибки их измерения были определены интервалы варьирования факторов и (Табл.1).

Табл 1: Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровни факторов	Обозначение	V_k , (п в об/мин) м/сек	V_d , м/мин	t , мм
Основной уровень	0	15,7(3000)	3	0,03
Интервал варьирования	∇X_i	1,05	1,5	0,015
Верхний	+1	16,75(3200)	4,5	0,045
Нижний	-1	14,65(2800)	1,5	0,015
Звёздные Верхний	+1,215	16,97575(3536)	4,8225	0,048225
Нижний	-1,215	14,42425(2464)	1,1775	0,011775

Экспериментальные исследования были проведены на универсально-заточном станке мод.ЗА64Д, оборудованном гидравлической продольной подачей. Для сравнительной оценки выходных параметров проведенных опытов, эксперименты были проведены с применением стандартного чашечного круга типа ЧК 100x25x20 с характеристикой 14A40CM1K со сплошной рабочей поверхностью и новой конструкции торцового шлифовального круга с прерывистой режущей частью рабочей поверхности. При этом обеспечивая идентичность всех условий эксперимента, менялся только шлифовальный круг. Опытные образцы заготовок были приняты из стали 40X с твердостью 40 HRC с размерами поперечного сечения 30x20.

Измерение геометрических параметров производилось с использованием нижеперечисленных методов и средств измерений:

1. Шероховатость – среднеарифметическое отклонение профиля- R_{a_r} профилометром-профилографом мод. 130 завода «Калибр» г Москва;

2. Волнистость – высота волн W_B -по волнограммам, снятым на профилограф –профилометре 130 с применением приспособления для измерения волнистости;
3. Погрешности геометрической формы – непрямолинейность- на приборе «Самописец -260» конструкции завода «Калибр» г. Москва.

V. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Опыты были поставлены по составленной матрице планирования (Табл.2) обладающей оптимальными свойствами. На основе априорных данных о характере искомой зависимости установлено, что [1-3] для определения зависимости шероховатости поверхности от скорости круга, скорость детали и подачи на глубину, описания поверхности отклика полиномом первого порядка недостаточно, поэтому для получения адекватной аппроксимации исследуемого процесса воспользовались полиномом второго порядка. Математическая модель второго порядка представляется в виде [4]

$$M\{Y\} = \eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i>j}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

β_0 - свободный член

β_i - коэффициенты при линейных членах

β_{ij} - коэффициенты при взаимодействии факторов.

Кодирование значение факторов произведено с помощью формулы преобразования [4]

$$X_i = \frac{\tilde{X}_i - \tilde{X}_{i_0}}{\Delta\tilde{X}_i} \quad (2)$$

Табл. 2: Ортогональный план второго порядка для к=3

V	X1	X2	X3	X1	X2	X3	R _{ас}	R _{ан}
1	-	-	-	14,65	1,5	0,015	0,49	0,4
2	+	-	-	16,75	1,5	0,015	0,29	0,2
3	-	+	-	14,65	4,5	0,015	0,55	0,4
4	+	+	-	16,75	4,5	0,015	0,41	0,3
5	-	-	+	14,65	1,5	0,045	0,64	0,52
6	+	-	+	16,75	1,5	0,045	0,44	0,35
7	-	+	+	14,65	4,5	0,045	0,7	0,6
8	+	+	+	16,75	4,5	0,045	0,56	0,46
9	-1,215	0	0	14,424	3	0,03	0,6	0,51
10	+1,215	0	0	16,976	3	0,03	0,4	0,38
11	0	-1,215	0	15,7	1,1775	0,03	0,35	0,24
12	0	+1,215	0	15,7	4,8225	0,03	0,65	0,55
13	0	0	-1,215	15,7	3	0,012	0,43	0,31
14	0	0	+1,215	15,7	3	0,048	0,57	0,45
15	0	0	0	15,7	3	0,03	0,5	0,4

Оценка коэффициентов регрессии производится по формулам [4] с учетом численных значений моментов и вспомогательных коэффициентов

$$\left. \begin{aligned}
 b_0 &= \frac{\sum_{v=1}^n r_v \bar{y}_u}{N}; \\
 b_{ii} &= \frac{\sum_{v=1}^n r_v X_{i_v}^2 Y_u}{\sum_{g=1}^N (X_{i_g}^4 - X_{i_g}^2 X_{i_g}^2)}; \\
 b_{ii} &= \frac{\sum_{v=1}^n r_v X_{i_v} \bar{Y}_u}{\sum_{g=1}^N X_{i_g}^2}; \quad i \neq 0 \\
 b_{ii} &= \frac{\sum_{v=1}^n r_v X_{j_v} \bar{Y}_u}{\sum_{g=1}^N X_{i_g}^2 X_{j_g}^2}
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Оценка коэффициента b_0 , входящего в исходную модель производится по формуле [4]

$$b_0 = b_0^1 - \lambda_2 \sum_{i=1}^k b_{ii} \quad (4)$$

где λ_2 - момент второго порядка.

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{g=1}^N X_{i_g}^2}{N}; \quad i = 1, 2, \dots, k$$

где N - общее число опытов; r_v - число повторных опытов в v -й точке плана;

n - число разных точек в плане; v - порядковый номер точки плана;

\bar{Y}_v - средний отклик по r опытам в точке с номером r ; k - число факторов;

\tilde{Y} - оценка математического ожидания отклика $M\{Y\} = \eta$;

X_i - переменная факторы; Y_u - параметр оптимизации, подлежащий изучению;

i - номер повторения испытания; j - номер уровня фактора.

Построчные дисперсии подсчитываются по формуле [4]

$$S_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^r (Y_{v_j} - \bar{Y}_u)^2}{r-1}, \quad (5)$$

объединенная дисперсия параметра оптимизации по формуле [4]

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{j=1}^r (Y_{v_j} - \bar{Y}_u)^2}{r-1}. \quad (6)$$

Дисперсия коэффициента регрессии $S^2\{b_i\}$ при равномерном дублировании опытов по точкам с числом повторных опытов r определяется по формуле [4]

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{Y\}}{nr} \quad (7)$$

Дисперсия адекватности S_{ag}^2 определяется по формуле [4]

$$S_{ag}^2 = \frac{SS_{ag}}{f_{ag}} = \frac{\sum_{v=1}^n (\bar{Y}_v - \hat{Y}_v)^2}{n-m} \quad (8)$$

где m - число коэффициентов в модели; SS_{ag} - сумма квадратов отклонений

f_{ag} - число степеней свободы для дисперсии неадекватности.

Расчет коэффициентов уравнения произведем по формулам(3)

Для стандартного круга

$$b'_0 = \frac{\sum_{v=1}^{15} \bar{Y}_v}{15} = 0,5053$$

$$b_i = \frac{1}{10,954} \sum_{v=1}^{15} X_{iv} \bar{Y}_v; \quad b_1 = -0,084 \quad b_2 = 0,066; \quad b_3 = 0,07$$

$$b_{ij} = \frac{1}{8} = \sum_{v=1}^{15} X_{iv} X_{jv} \bar{Y}_v; \quad b_{12} = 0,015; \quad b_{13} = 0; \quad b_{23} = 0$$

$$b_{ii} = 3,45 \times \frac{1}{45} \sum_{v=1}^{15} X_{iv}^2 \bar{Y}_v; \quad b_1^2 = 0,0748; \quad b_2^2 = 0,062; \quad b_3^2 = 0,062$$

Для круга новой конструкции

$$b'_0 = \frac{\sum_{v=1}^{15} \bar{Y}_v}{15} = 0,4$$

$$b_i = \frac{1}{10,954} \sum_{v=1}^{15} X_{iv} \bar{Y}_v; \quad b_1 = -0,07 \quad b_2 = 0,06; \quad b_3 = 0,073$$

$$b_{ij} = \frac{1}{8} = \sum_{v=1}^{15} X_{iv} X_{jv} \bar{Y}_v; \quad b_{12} = 0,016; \quad b_{13} = -0,00125; \quad b_{23} = 0,01125$$

$$b_{ii} = 3,45 \times \frac{1}{45} \sum_{v=1}^{15} X_{iv}^2 \bar{Y}_v; \quad b_1^2 = -0,062; \quad b_2^2 = 0,058; \quad b_3^2 = 0,065$$

Табл. 2

V	X1	X2	X3	X1	X2	X3	R _{as}	R _{an}
1	-	-	-	14,65	1,5	0,015	0,49	0,4
2	+	-	-	16,75	1,5	0,015	0,29	0,2
3	-	+	-	14,65	4,5	0,015	0,55	0,4
4	+	+	-	16,75	4,5	0,015	0,41	0,3
5	-	-	+	14,65	1,5	0,045	0,64	0,52
6	+	-	+	16,75	1,5	0,045	0,44	0,35
7	-	+	+	14,65	4,5	0,045	0,7	0,6
8	+	+	+	16,75	4,5	0,045	0,56	0,46
9	-1,215	0	0	14,424	3	0,03	0,6	0,51
10	+1,215	0	0	16,976	3	0,03	0,4	0,38
11	0	-1,215	0	15,7	1,1775	0,03	0,35	0,24
12	0	+1,215	0	15,7	4,8225	0,03	0,65	0,55
13	0	0	-1,215	15,7	3	0,012	0,43	0,31
14	0	0	+1,215	15,7	3	0,048	0,57	0,45
15	0	0	0	15,7	3	0,03	0,5	0,4

Оценку коэффициента b_0 , входящего в исходную модель, находим по формуле(4) [4]

$$b_0 = b'_0 - 0,7303(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2)$$

Для стандартного круга

$$b_0 = 0,456$$

для круга новой конструкции

$$b_0 = 0,355.$$

Уравнение регрессии в кодированных переменных будет:
для стандартного круга

$$\hat{Y} = 0,456 - 0,085 X_1 + 0,066 X_2 + 0,071 X_3 + 0,015 X_1 X_2 - 0,0748 X_1^2 + 0,062 X_2^2 + 0,06 X_3^2, \quad (9)$$

для круга новой конструкции

$$Y = 0,355 - 0,07 X_1 + 0,06 X_2 + 0,073 X_3 + 0,016 X_1 X_2 - 0,00125 X_1 X_3 + 0,01125 X_2 X_3 - 0,062 X_1^2 + 0,058 X_2^2 + 0,065 X_3^2. \quad (10)$$

Для проверки достоверности полученных моделей была проведена проверка ряд гипотез: об однородности дисперсий, значимости коэффициентов регрессии и об адекватности модели.

Построчные дисперсии подчитываем по формуле (5)

$$S_v^2 = \sum_{j=1}^r \frac{(Y_{v_j} - Y_v)^2}{r-1},$$

Дисперсию параметра оптимизации $S^2\{Y\}$ подсчитаем на основе данных таблицы по формуле (6):
для стандартного круга

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{v=1}^n S_v^2}{n} = \frac{0,365}{15} = 0,02434,$$

для круга новой конструкции

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{v=1}^n S_v^2}{n} = \frac{0,3801}{15} = 0,02534,$$

где S_v^2 – дисперсия отклика по результатам в v -й точке плана, где производится rv повторных опытов

Проверку значимости каждого коэффициента проводим по t – критерию Стьюдента. При равномерном дублировании опытов по точкам с числом повторных опытов r дисперсия коэффициента регрессии $S^2\{b_i\}$ определяется по формуле

для стандартного круга

$$S^2\{b_i\} = \frac{0,2434}{nr} = \frac{0,2343}{15 \cdot 3} = 0,0005$$

$$S\{b_i\} = 0,023$$

для круга новой конструкции

$$S^2\{b_i\} = \frac{0,2534}{nr} = \frac{0,2434}{15 \cdot 3} = 0,00056$$

$$S^2\{b_i\} = 0,0237$$

Определим значения критерия по формуле

$$t_i = \frac{|b_i|}{s\{b_i\}}$$

для стандартного круга

$$t_0 = 0,456 / 0,023 = 19,8; \quad t_1 = 0,085 / 0,023 = 3,69; \quad t_2 = 0,066 / 0,023 = 2,87;$$

$$t_3 = 0,07 / 0,023 = 3,04; \quad t_{12} = 0,015 / 0,023 = 0,652; \quad t_{11} = 0,0748 / 0,023 = 3,25;$$

$$t_{22} = 0,062 / 0,023 = 2,69; \quad t_{33} = 0,0620 / 0,023 = 2,69$$

для круга новой конструкции

$$t_0 = 0,355 / 0,0237 = 15; \quad t_1 = 0,07 / 0,0237 = 3; \quad t_2 = 0,06 / 0,0237 = 2,5;$$

$$t_3 = 0,073 / 0,0237 = 3$$

$$t_{12} = 0,016 / 0,0237 = 0,675; \quad t_{13} = 0,00125 / 0,0237 = 0,05; \quad t_{23} = 0,01125 / 0,47$$

$$t_{11} = 0,062 / 0,0237 = 2,6; \quad t_{22} = 0,058 / 0,0237 = 2,44; \quad t_{33} = 0,065 / 0,0237 = 2,74$$

Критическое значение $t_{кр}$ находится по таблице работы [4] при $n(r-1)=30$ степенях свободы и заданном уровне значимости $\alpha=5\%$ $t_{кр}=1,697$. Если $t > t_{кр}$, гипотеза отвергается, и коэффициент b_i признается значимым.

Построим доверительный интервал длиной Δb_i :
для стандартного круга

$$\Delta b_i = t_{кр} S\{b_i\} = 1,697 \cdot 5,1 = 8,8$$

для круга новой конструкции

$$\Delta b_i = t_{кр} S\{b_i\} = 1,697 \cdot 0,0237 = 0,04$$

Коэффициент значим если его абсолютная величина больше половины длины доверительного интервала. В модели стандартного круга коэффициенты, b_{23}, b_{33} , в модели круга новой конструкции коэффициенты b_{12}, b_{23}, b_{33} являются незначимыми.

Таким образом, математическая модель зависимости шероховатости шлифованной поверхности от элементов режима шлифования в виде уравнения связи выходного параметра Y и переменных X_i , включающего только значимые коэффициенты получается:

для стандартного круга

$$\hat{Y} = 0,456 - 0,085 X_1 + 0,066 X_2 + 0,071 X_3 + 0,015 X_1 X_2 - 0,0748 X_1^2 + 0,062 X_2^2 + 0,06 X_3^2, \quad (9)$$

для круга новой конструкции

$$Y = 0,355 - 0,07 X_1 + 0,06 X_2 + 0,073 X_3 - 0,062 X_1^2 + 0,058 X_2^2 + 0,065 X_3^2. \quad (10)$$

Для получения уравнения в натуральных значениях элементов режим шлифования вместо x_i поставим их значения из формул преобразования [4]

$$X_1 = \frac{V_k - 15,7}{1,05}; \quad X_2 = \frac{V_d - 3}{1,15}; \quad X_3 = \frac{t - 0,03}{0,015}.$$

Таким образом, получим математическую модель зависимости шероховатости от параметров режима шлифования: скорости круга V_k , скорости детали V_d и глубины резания t в натуральных значениях: для стандартного круга

$$\hat{Y} = -14,337 + 2,025V_k - 0,281V_d - 11,799t + 0,01V_kV_d - 0,068V_k^2 + 0,028V_d^2 + 275,556t^2 \quad (11)$$

для круга новой конструкции

$$Y = -11,69 + 1,6634V_k - 0,288V_d - 12,721t - 0,056V_k^2 + 0,026V_d^2 + 288,889t^2 \quad (12)$$

Статистические данные обработки результатов для стандартного круга и круга новой конструкции были приведены соответственно в таблицах 3 и 4.

Табл. 3

Точки плана v	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_v	S_v^2	\hat{Y}_v	$(\bar{Y}_v^2 - \hat{Y}_v^2)$
1	0,43	0,65	0,39	0,49	0,0196	0,481	0,000081
2	0,43	0,19	0,25	0,29	0,0156	0,28	0,0001
3	0,45	0,45	0,75	0,55	0,03	0,581	0,00096
4	0,6	0,27	0,36	0,41	0,0341	0,4645	0,0029
5	0,54	0,8	0,58	0,64	0,0196	0,6233	0,00028
6	0,37	0,35	0,6	0,44	0,019	0,42255	0,0003
7	0,85	0,6	0,65	0,7	0,0175	0,72355	0,0005
8	0,46	0,74	0,48	0,56	0,0244	0,5865	0,0007
9	0,8	0,5	0,5	0,6	0,03	0,45976	0,0196
10	0,34	0,28	0,58	0,4	0,0252	0,255	0,021
11	0,5	0,23	0,32	0,35	0,0189	0,481	0,017
12	0,53	0,84	0,58	0,65	0,0277	0,641	0,017
13	0,61	0,29	0,39	0,43	0,0267	0,4735	0,00189
14	0,52	0,43	0,76	0,57	0,0291	0,646	0,005776
15	0,69	0,38	0,43	0,5	0,0277	0,46823	0,00095
				7,58	0,3651	7,587	0,089037

Табл. 4

Точки плана v	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_v	S_v^2	\hat{Y}_v	$(\bar{Y}_v^2 - \hat{Y}_v^2)$
1	0,25	0,6	0,35	0,4	0,033	0,37	0,0009
2	0,35	0,1	0,15	0,2	0,018	0,21	0,0001
3	0,6	0,3	0,3	0,4	0,03	0,52	0,0144
4	0,2	0,25	0,45	0,3	0,018	0,33	0,0009
5	0,42	0,72	0,42	0,52	0,03	0,52	0
6	0,55	0,2	0,3	0,35	0,033	0,33	0,0004
7	0,55	0,78	0,47	0,6	0,0259	0,61	0,0001
8	0,36	0,4	0,62	0,46	0,0196	0,5	0,0016
9	0,7	0,41	0,42	0,51	0,0271	0,351	0,0253
10	0,28	0,53	0,33	0,38	0,018	0,16	0,0484
11	0,18	0,14	0,4	0,24	0,0196	0,366	0,0159
12	0,4	0,75	0,50	0,55	0,032	0,51	0,0016
13	0,46	0,21	0,26	0,31	0,018	0,2	0,0121
14	0,4	0,33	0,62	0,45	0,0279	0,383	0,0045
15	0,6	0,3	0,3	0,4	0,03	0,2	0,04
				6,07	0,3801	5,56	0,1662

Проверим полученную модель на адекватность по формуле(8):
для стандартного круга

$$\sum \bar{Y}_v = 7,58; \quad \sum \hat{Y}_v = 7,587$$

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{v=1}^n S_v^2}{n} = \frac{0,365}{15} = 0,02434$$

$$S_{ad}^2 = \frac{r}{(n-m)} \sum_{v=1}^n [\bar{Y}_v - \hat{Y}_v]^2 = 0,038$$

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{0,038}{0,02434} = 1,56$$

для круга новой конструкции

$$\sum \bar{Y} = 6,07; \quad \sum \hat{Y} = 5,56$$

$$S_{ad}^2 = \frac{r}{(n-m)} [\bar{Y} - \hat{Y}]^2 = 0,038$$

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{0,038}{0,02534} = 1,499$$

где m -число членов аппроксимирующего полинома(включая свободный член).

Табличное значение критерия Фишера для числа

степеней свободы $f_{ad} = 15 - 10 = 5$, общему числу степеней свободы для объединенной дисперсии $S^2\{Y\}$,

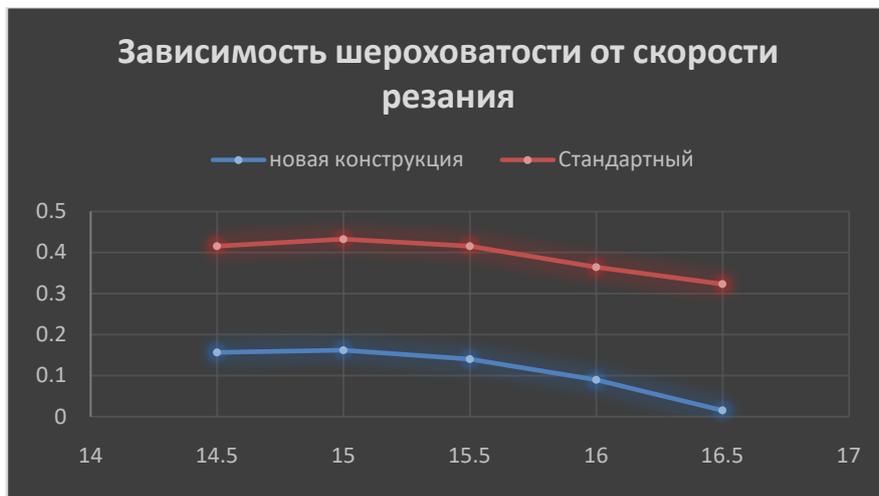
$f_e = 45 - 15 = 30$ и уровня значимости $\alpha = 10\%$

равно $F_{kp} = 1,6$ поскольку для рассмотренных обоих

варианто $F < F_{kp}$, полученные модели шероховатости при шлифовании стандартным чашечным кругом и кругом новой конструкции являются адекватными реальным процессам.

VI. ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

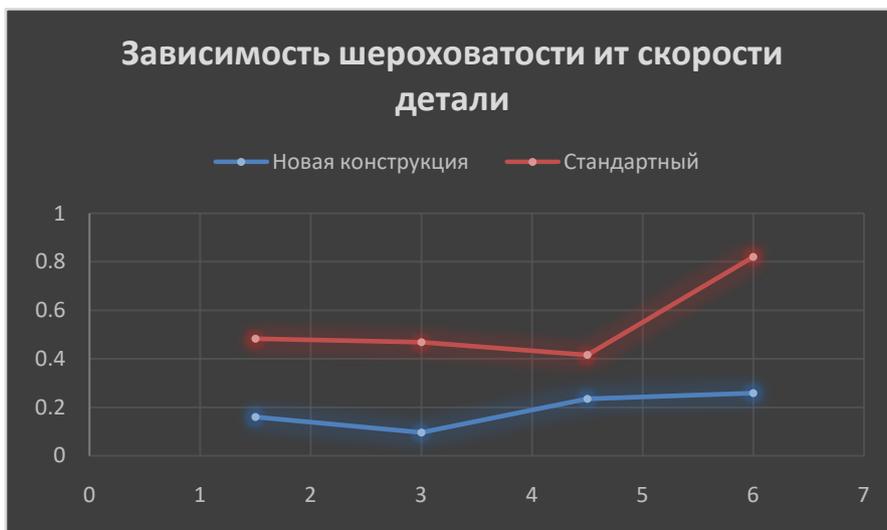
На основе математических моделей (11) и (12) были построены графические зависимости шероховатости поверхности от элементов режима резания при шлифовании со стандартным кругом и кругом новой конструкции (рис.2, а,б,с).



a)



b)



c)

Рис. 2: Графики зависимостей шероховатости от скорости резания V_k (а), глубины резания t (б) и скорости стола V_d (с) при шлифовании со стандартным кругами и кругом новой конструкции.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные модели(11) и (12) позволяют определить эффективность новой конструкции торцевого шлифовального круга с прерывистостью во фронтальной зоне рабочего торца и переходом от впадины к выступу по архимедовой спирали по сравнению со стандартным чашечным кругом. На основе анализа модели (12) можно определить рациональное сочетание элементов режима резания для торцевого шлифовального круга новой конструкции. Анализ графических зависимостей (рис.2а,б,с) показывает, что шероховатость поверхностей, шлифованных торцевым шлифовальным кругом новой конструкции значительно ниже, чем шлифованных стандартным кругом. Это объясняется тем, что созданием прерывистости на фронтальной зоне рабочего торца с профилированием выступов по архимедовой спирали устраняются периодические удары, увеличиваются число режущих зерен, создаются условия для относительно равномерного распределения между ними припуска и повышается выхаживающая способность сплошной части рабочего торца.

VIII. ВЫВОДЫ

1. Разработана новая конструкция торцевого шлифовального круга с прерывистой режущей и сплошной выхаживающей частями рабочей поверхности, с переходом от впадин к выступам по архимедовой спирали. Характеристика архимедовой спирали представляет из себя сумму двух равномерных движений - поступательного в результате продольной подачи детали и вращательного, посредством вращательного движения шлифовального круга и практически обеспечивает постоянство угла атаки зерен, расположенных по всей ее длине. Предложенная конструкция торцевого шлифовального круга была защищена в Государственном комитете по стандартизации метрологии и патентам и получен одноименный патент под № 0183.
2. Установлено, что созданием прерывистости в режущей- фронтальной зоне с переходом от выступа к впадине по архимедовой спирали и выполнением выхаживающей части рабочей поверхности торцевого шлифовального круга сплошным, можно значительно повысить эффективности процесса шлифования, путем:
 - снижения температурного воздействия на обрабатываемую поверхность;
 - снижения шероховатости шлифованной поверхности;

-относительно равномерного распределения припуска на выступ между режущими абразивными зёрнами.

-снижения ударного воздействия на обрабатываемую поверхность и тем самым уменьшения вибраций технологической системы СПИД.

3. Путем реализации ортогонального плана второго порядка были получены математические модели зависимости показателей шероховатости шлифованной поверхности от параметров режима шлифования: скорости шлифования, скорости детали и глубины резания, при шлифовании как стандартным кругом, так и кругом новой конструкции.
4. Сравнительный анализ графических зависимостей полученных на основе эмпирических моделей показывает, что при применении новой конструкции торцевого круга наблюдается значительное(до 30%) уменьшение шероховатости шлифованной поверхности. Применяемый метод экспериментальных исследований позволяет на основе полученных моделей изучить механизм формирования поверхностей, шлифованных кругом новой конструкции и оптимизировать его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Husseinov, H.A.; Mamedov, Ch. M. A. (2010) New Design for End Grinding Wheels. Russian Engineering Research, 2011, Vol.31, 1, p. 37-40.
2. Husseinov, H.A.; Bagirov, S.A.; Krehel, R.; Kociško, M. (2014) The increased production efficiency and optimization terms of stationarity by flat grinding with abrasive circle surface," by. Advancede in Material Science and Technoloji. 108797.
3. Huseynov Hassan¹, Bagirov Sahib¹, Radoslav Krehel² and Marek Kočis²ko² (2 017) Increase of accuracy of geometric forms of surfaces ground by a grinding wheel of various grain sizes. Advances in Mechanical Engineering, 2017, Vol. 9(8) 1–12.
4. Katsev, P. G. (1974) Statistical methods a research of the cutting tool. M.: Mechanical engineering, p. 239.
5. Yakimov A.V. Optimization of the grinding process. M.: Mechanical engineering, 1975.173s.