

К.Т. Шеров^{1*}, Н.Ж. Карсакова², Б.С. Доненбаев³,
С.О. Тусупова⁴, К. Имашева⁵, А.Б. Есиркепова⁶

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан

^{2,3,5,6}Карагандинский технический университет им. А. Сагинова,
Караганда, Казахстан

⁴Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

Экспериментальное исследование влияния режимов резания на шероховатость поверхности при растачивании ступенчатого отверстия

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования выполненные для обеспечения качества обработки ступенчатого отверстия крупногабаритной детали Станина НП8 насоса погружного. Разработана конструкция и изготовлен опытный образец специального комбинированного расточного инструмента. Также изготовлен образец – заготовка из СЧ15 для проведения экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проведены в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» на токарно-винторезном станке 1К625.

В результате экспериментальных исследований влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности при растачивании ступенчатого отверстия установлено, что с увеличением частоты вращения шпинделя и значения глубины резания качество обработанной поверхности улучшается. А увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость обработанной поверхности. Определены оптимальные режимы резания для обработки ступенчатого отверстия Ø295 мм и Ø325 мм детали Станина НП8 насоса погружного: $S=0,26$ мм/об; $n=1250$ об/мин; $t=1,0$ мм.

В результате планирования эксперимента и оценки полученных данных с помощью программы «ANETR-5» была получена зависимость шероховатости поверхности от режимов резания, которая позволит управлять параметрами качества до обработки и определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие высокие параметры качества детали.

Ключевые слова: Крупногабаритные детали, ступенчатое отверстие, комбинированный расточной инструмент, одновременное растачивание, шероховатость, подача.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-265-274

1. Введение

Растачивание отверстий – считается не только одной из наиболее востребованных операций в металлообработке, но также и относится к категории достаточно трудоемких [1,2]. Исследования, проведенные в условиях отечественных машиностроительных заводов, в частности Карагандинского региона показали, что существует проблема обеспечения точности и качества при изготовлении крупногабаритных деталей [3,4,5]. В результате анализа технологических процессов механической обработки этих деталей было

выявлено, что самым сложным и трудоемким является обработка ступенчатых отверстий [3,4,5,6,7]. Для исследования и решения проблемы в качестве объекта была выбрана крупногабаритная деталь Станина НП8 насоса погружного и технология её изготовления, которая производится в условиях ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ (г. Караганда). Результаты исследования технологии изготовления и сущность проблемы обработки ступенчатого отверстия детали Станина НП8 насоса погружного приведена в работе [3].

2. Основная часть

Для обеспечения точности и качества механической обработки ступенчатого отверстия детали Станина НП8 насоса погружного было спроектирован и изготовлен опытный образец специального комбинированного расточного инструмента. На рисунке 1 показан специальный комбинированный расточной инструмент.

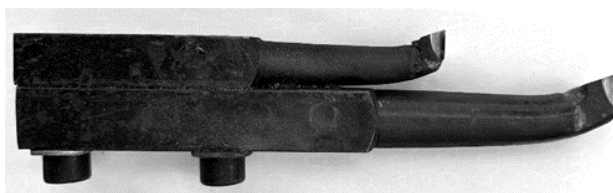


Рисунок 1 - Специальный комбинированный расточной инструмент

Для проведения экспериментальных исследований по обработке ступенчатых отверстий был изготовлен образец – заготовка приближенное по размерам и материалу, а также по расположению отверстий к основной детали Станина НП8 насоса погружного. Образец-заготовка был отлит в условиях ТОО «ТемирПромСтил» (г. Темиртау) из СЧ 15.

На рисунке 2 показана фотография образец – заготовки.



Рисунок 2 – Фотография образец – заготовки (а – отливка; б – вид сверху)

Экспериментальные исследования по обработке ступенчатых отверстий были проведены в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» на токарно-винторезном станке 1К625. На рисунке 3 показана фотография токарно-винторезного станка 1К625.



Рисунок 3 – Токарно-винторезный станок 1К625

Для измерения шероховатости обработанных отверстий использован электронный прибор – портативный измеритель (профилометр) шероховатости TR 100. На рисунке 4 показана фотография электронного прибора.



Рисунок 4 – Электронный прибор

Планирование многофакторного эксперимента. С целью получения зависимостей параметров показателей качества, то есть шероховатости (R_a) и твердости (HB) внутреннего поверхностного слоя детали от режимов резания составлен план эксперимента [8,9,10].

На качественные показатели внутреннего поверхностного слоя влияет большое количество факторов технологического процесса. Согласно проведенным экспериментам и литературному обзору были приняты три основные факторы, характеризующие режимы резания:

- 1) X_1 – глубина резания, мм(t);
- 2) X_2 – продольная подача, мм/об (S);
- 4) X_3 – частота вращения шпинделя, об/мин (n).

Для получения более адекватных зависимостей интервалы варьирования факторов выбирались по паспортным данным станка 1К62 (S и n) таким образом, чтобы получались примерно равные шаги переменных (таблица 1). А также количество переменных должны быть нечетным и начинаться с пяти.

Для уменьшения времени и затрат на испытания был выбран метод рационального планирования экспериментов, который сокращает по сравнению с полным экспериментом число необходимых опытов в $n \cdot m - 2$ раз. Для нашего случая, при $n = 5$, $m = 3$ – число опытов при использовании рационального планирования сокращается в пять раз и становится равным 25.

Таблица 1 – Диапазон изменения факторов

Факторы \ Уровни	1	2	3	4	5
X_1 (t, мм)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
X (S, мм/об)	0,17	0,26	0,34	0,43	0,52
C (n, об/мин)	500	800	1000	1250	1600

План трехфакторного эксперимента с выходными параметрами на пяти уровнях приведен в таблице 2.

Таблица 2 – План трехфакторного эксперимента

Факторы \ Номера опытов	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	0,2	0,17	1000	2,5	197
2	0,2	0,26	1600	1,66	166
3	0,2	0,34	1250	2,87	202
4	0,2	0,43	500	7,5	222
5	0,2	0,52	800	6,66	221
6	0,4	0,17	1250	1,875	191
7	0,4	0,26	500	4	208
8	0,4	0,34	1600	1,563	193
9	0,4	0,43	800	4,511	216
10	0,4	0,52	1000	4,167	213
11	0,6	0,17	1600	1,146	114
12	0,6	0,26	800	3,214	202
13	0,6	0,34	500	4,75	211
14	0,6	0,43	1000	3,5	207
15	0,6	0,52	1250	2,857	204
16	0,8	0,17	800	2,25	196
17	0,8	0,26	1250	1,563	190
18	0,8	0,34	1000	2,361	200
19	0,8	0,43	1600	1,607	195
20	0,8	0,52	500	7,5	219
21	1,0	0,17	500	2,5	197
22	1,0	0,26	1000	1,666	196
23	1,0	0,34	800	2,813	204
24	1,0	0,43	1250	1,812	199
25	1,0	0,52	1600	1,5	197

Здесь $Y_1(Ra)$ – шероховатость обработанной поверхности; $Y_2(HV)$ – твердость обработанной поверхности.

Оценка результатов многофакторного эксперимента осуществлялась по программе «ANETR-5» разработанный профессорами КарГТУ Ермаковым М.А. и Маховым А.А. [10].

Варируя во входном файле параметр «р», который может принимать целые значения от 1 до 4, можем получить различные типы обобщенной формулы с различными параметрами оценивающей адекватность математической модели.

В результате обработки получили следующую зависимость шероховатости поверхности Ra , мкм (Y_1) от режимов резания:

$$Y_1 = 2,6 \cdot \lg(X_1) + 1,35e2,34X_2 + 9,42e-1,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_3 - 3,868;$$

- СКО = 29%, R=0,95.

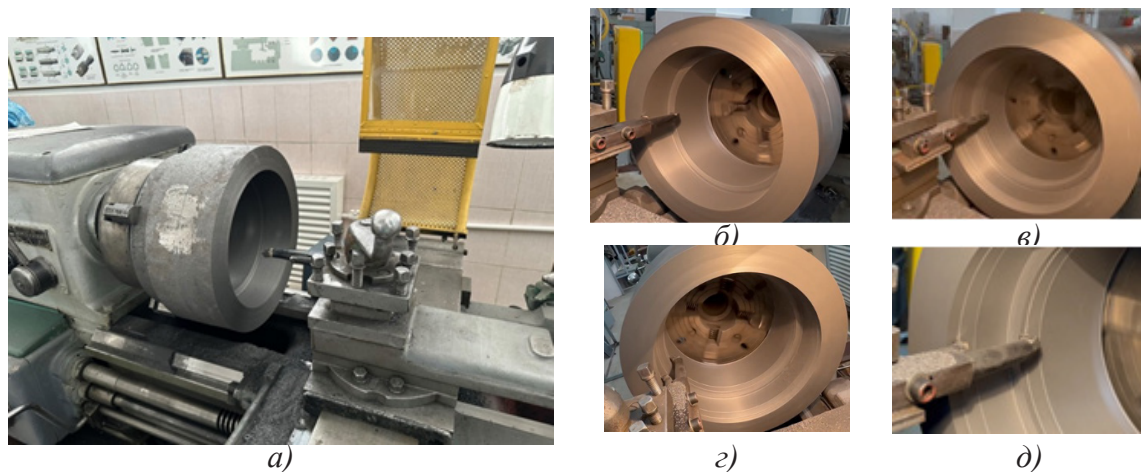
Полученная математическая модель, связывающая шероховатости обработанной поверхности (Ra , мкм) с режимами резания, позволяет управлять параметрами качества до обработки и определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие высокие параметры качества детали.

Экспериментальное исследование. При проведении экспериментальных исследований по одновременной обработке ступенчатых отверстий $\varnothing 295$ мм и $\varnothing 325$ мм были использованы режимы резания, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы резания

Режимы резания	Значение режимов резания				
S , мм/об	0.17	0.26	0.34	0.43	0.52
n , об/мин	500	800	1000	1250	1600
t , мм	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

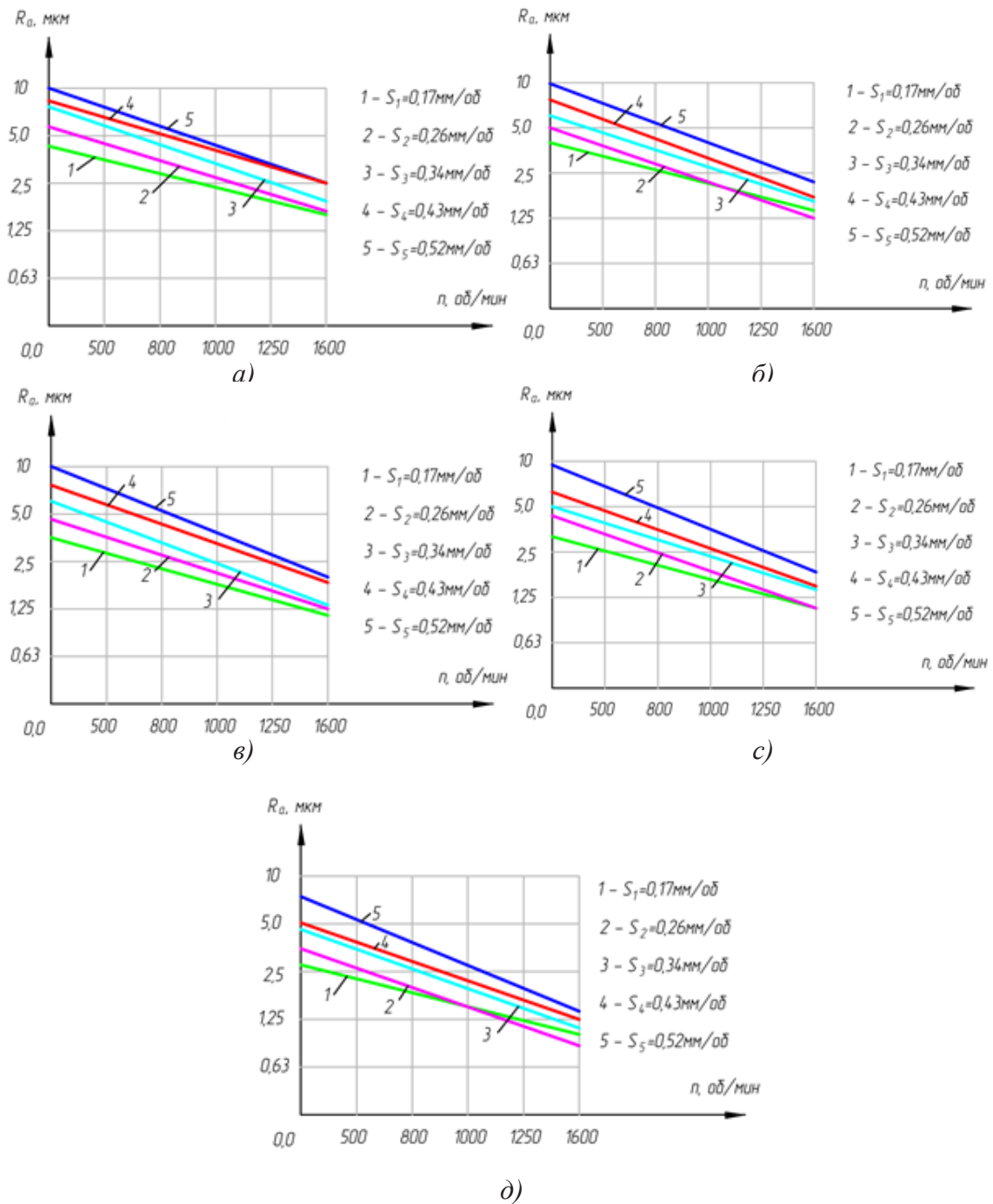
На рисунке 5 показан процесс экспериментального исследования по растачиванию ступенчатого отверстия на различных режимах резания.



a – процесс наладки; *b, c, d* – процесс одновременного растачивания ступенчатого отверстия на различных режимах

Рисунок 5 - Процесс экспериментального исследования по растачиванию ступенчатого отверстия на различных режимах резания

В результате обработки полученных данных были построены графики влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности (Рисунок 6).



а - $t = 0,2 \text{ мм}$; б - $t = 0,4 \text{ мм}$; в - $t = 0,5 \text{ мм}$; с - $t = 0,8 \text{ мм}$; д - $t = 1,0 \text{ мм}$

Рисунок 6 - Графики влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности

3. Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов показал, что при выборе оптимальных режимов резания можно обеспечить высокие показатели качества обработки ступенчатого отверстия. При обработке на различных режимах резания была достигнута шероховатость обработанной поверхности в широких пределах $R_a = 10-0,95$ мкм (см. рис. 6). Согласно рабочему чертежу детали Станина НП8 насоса погружного шероховатость ступенчатого отверстия $\varnothing 295$ мм и $\varnothing 325$ мм, составляет $R_a = 1,25$ мкм [3]. Исходя из этого были определены оптимальные режимы резания: $S=0,26$ мм/об; $n=1250$ об/мин; $t=1,0$ мм.

Анализ результатов влияния режимов резания показали, что с увеличением частоты вращения шпинделя шероховатость обработанной поверхности улучшается (см. рис. 6), однако при этом усиливается риск появления вибрации. А увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость обработанной поверхности (см. рис. 6). Представляет научный интерес характер влияния значения глубины резания t , увеличение которой также положительно сказывается на шероховатость обработанной поверхности (см. рис. 6). Уточнение данного вопроса и исследование возможности появления вибрации требует необходимость проведения дополнительных исследований.

4. Выводы

1. Для одновременной обработки ступенчатого отверстия была разработана конструкция специального комбинированного расточного инструмента и изготовлен опытный образец в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение» «НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова».

2. В результате экспериментальных исследований влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности при растачивании ступенчатого отверстия было установлено, что:

- увеличение частоты вращения шпинделя и значения глубины резания положительно влияют на шероховатость обработанной поверхности;
- увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость обработанной поверхности.

3. В результате планирования эксперимента и оценки полученных данных с помощью программы «ANETR-5» была получена зависимость шероховатости поверхности от режимов резания: $Y_1 = 2,6 \cdot \lg(X_1) + 1,35e2,34X_2 + 9,42e-1,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_3 - 3,868$.

4. Определены оптимальные режимы резания для обработки ступенчатого отверстия $\varnothing 295$ мм и $\varnothing 325$ мм детали Станина НП8 насоса погружного: $S=0,26$ мм/об; $n=1250$ об/мин; $t=1,0$ мм.

Список литературы

1. Бурцев В.М. Технология машиностроения. В 2 т. Т.2. Производство машин: Учеб. для вузов под ред. Г.Н. Мельникова / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 640 с.
2. Kassenov A.Zh., Abishev K.K., Yanyushkin A.S., Iskakova D.A., Absadykov B.N. Research of the stress-strain state of holes with new broach designs. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 2, Number 452 (2022), 89-103. DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X>.
3. Карсакова Н.Ж., Шеров К.Т., Насад Т.Г. Вопросы изготовления детали "станина" насоса погружного. Труды университета. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2022.- №1(86)- С.16-21. DOI https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_1_16
4. Karsakova N., Sherov K., Donenbayev B., Abulkhairov D., Sagynganova I., Usserbayev M., Teliman I., Sherov A., Tussupbekova G. (2023) Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength

with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization. Journal of Applied Engineering Science Vol. 21, No. 1, 2023. P.300-312. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>

5. Шеров К.Т., Сихимбаев М.Р., Габдысалык Р., Бузауова Т.М., Карсакова Н.Ж., Имашева К.И., Сейсенбаев Д.С. Исследование технологических возможностей контрольно-измерительных средств для контроля отверстий крупногабаритных деталей / Научное обозрение. – Москва: Изд-во ИД «Академия Естествознания», 2019. – № 2 -С. 45-49.

6. Donenbaev B.S. Sherov K.T., Sikhimbayev M.R. Absadykov B.N. Karsakova N.Zh. Using ansyswb for optimizing parameters of a tool for rotary friction boring / News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2021, Volume 3, Number 447 (2021), 20-27 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.57>

7. Шеров К.Т., Доненбаев Б.С. Карсакова Н.Ж. Ірі габаритті және корпус тетіктерді даярлауда қойылатын талаптар / Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10), 13-14 июня 2018 г. Часть 3. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2018. – С.102-104.

8. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учеб. пос. – Омск: СибАДИ, 2010.-105 с.

9. Кадыров А.С., Кадырова И.А. Основы научных исследований. –Караганда: КарГТУ, 2015. – 279 с.

10. Ермеков М.А., Махов А.А. Статистико-детерминированный метод построения многомерных моделей с использованием ЭВМ: учеб.пособие. - Караганда, КПТИ, 1988.-70 с.

Сатылы тесікті кеңейтежону кезінде кесу режимдерінің беттің кедір бұдырлығына әсерін эксперименттік зерттеу

К.Т. Шеров^{1*}, Н.Ж. Карсакова², Б.С. Доненбаев³, С.О. Тусупова⁴, К. Имашева⁵,
А.Б. Есиркепова⁶

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

^{2,3,5,6}КА. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

⁴Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада НП8 суасты сорғысының станина тетігінің үлкен өлшемді сатылы тесіктерін өңдеу сапасын қамтамасыз ету үшін жасалған зерттеу нәтижелері келтірілген. Арнайы құрамалы кеңейтежону құралының конструкциясы әзірленді және тәжірибелік үлгісі жасалды. Сондай – ақ, эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін СЧ15-тен үлгі дайындама жасалды.

Эксперименттік зерттеулер «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің» КеАҚ «Машина жасау» жұмысшы кәсіптер орталығы» зертханалық базасы жағдайында 1К625 токарлық-бұрандалы кескіш станогында жүргізілді.

Кесу режимдерінің өңделген беттің кедір-бұдырлығына әсерін эксперименттік зерттеу нәтижесінде сатылы тесіктерді кеңейтежону кезінде шпиндельдің айналу жиілігі мен өңделген беттің кесу тереңдігінің мәні жоғарылаған сайын өңделген беттің сапасы жақсаратыны анықталды. Ал беріліс мәнінің артуы өңделген беттің кедір-бұдырлығына теріс әсер етеді. НП8 суасты сорғысының станина тетігінің өлшемдері Ø295 мм және Ø325 мм сатылы тесіктерін өңдеу үшін оңтайлы кесу режимдері анықталды: S=0,26 мм/айн; n= 1250 айн/мин; t=1,0 мм.

Экспериментті жоспарлау және алынған деректерді «ANETR-5» бағдарламасы арқылы бағалау нәтижесінде беттің кедір-бұдырлығының кесу режимдеріне тәуелділігін сипаттаушы теңдеу алынды, бұл өңдеуге дейінгі сапа параметрлерін басқаруға және тетіктің жоғары сапа параметрлерін қамтамасыз ететін оңтайлы кесу режимдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер. Ірігабаритті тетіктер, сатылы тесік, құрамалы кеңейтежону құралы, бір уақытта кеңейтежону, кедір-бұдырлық, беріліс.

Experimental study of the cutting conditions effect on surface roughness when boring a stepped hole

K.T. Sherov^{1*}, N.Zh. Karsakova², B.S. Donenbaev³, S.O. Tussupova⁴, K. Imasheva⁵,
A.B. Yesirkepova⁶

¹Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, Kazakhstan

^{2,3,5,6} Karaganda Technical University named after. A. Saginova, Karaganda, Kazakhstan

⁴Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

Abstract. The article presents the results of a study carried out to ensure the quality of boring stepped holes of a large part of the NP8 submersible pump bed. A design was developed and a prototype of a special combined boring tool was manufactured. A sample was also made, a blank of SCh15 for carrying out experimental studies.

Experimental studies were carried out in the laboratory base «Center of Working Professions Mechanical Engineering» of A. Saginov Karaganda Technical University NJSC on a screw-cutting lathe 1K625.

As a result of experimental studies of the cutting conditions effect on the roughness of the machined surface when boring stepped holes, it was established that with increasing the spindle speed and the value of the cutting depth, the quality of the machined surface improves. Increasing the feed negatively affects the machined surface roughness. The optimal cutting conditions for machining stepped holes Ø295 mm and Ø325 mm of the NP8 submersible pump bed were determined as follows: $S=0.26$ mm/rev; $n=1250$ rpm; $t=1.0$ mm.

As a result of planning the experiment and evaluating the obtained data using the ANETR-5 program, the dependence of surface roughness on cutting modes was obtained, which will make it possible to control the quality parameters before machining and to determine optimal cutting modes that ensure high quality parameters of the part.

Keywords: Large parts, stepped hole, combined boring tool, simultaneous boring, roughness, feed.

References

1. Burtsev V.M. Tekhnologiya mashinostroyeniya. V 2 t. T.2. Proizvodstvo mashin: Ucheb. dlya vuzov pod red. G.N. Mel'nikova / V. M. Burtsev, A. S. Vasil'yev, O. M. Deyev – M.: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana, 2001. – 640 s.
2. Kassenov A.Zh., Abishev K.K., Yanyushkin A.S., Iskakova D.A., Absadykov B.N. Research of the stress-strain state of holes with new broach designs. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 2, Number 452 (2022), 89-103. DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X>.
3. Karsakova N.ZH., Sherov K.T., Nasad T.G. Voprosy izgotovleniya detali "stanina" nasosa pogruzhnogo. Trudy universiteta. – Karaganda: Izd-vo KarTU, 2022.- №1(86)- S.16-21.
DOI https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_1_16
4. Karsakova N., Sherov K., Donenbayev B., Abulkhairov D., Sagynganova I., Usserbayev M., Teliman I., Sherov A., Tussupbekova G. (2023) Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization. Journal of Applied Engineering Science Vol. 21, No. 1, 2023. P.300-312. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>
5. Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Gabdysalyk R., Buzauova T.M., Karsakova N.ZH., Imasheva K.I., Seysenbayev D.S. Issledovaniye tekhnologicheskikh vozmozhnostey kontrol'no-izmeritel'nykh sredstv dlya kontrolya otverstiy krupnogabaritnykh detaley / Nauchnoye obozreniye. – Moskva: Izd-vo ID «Akademiyi Yestestvoznaniya», 2019. – № 2 -S. 45-49.
6. Donenbaev B.S. Sherov K.T., Sikhimbayev M.R. Absadykov B.N. Karsakova N.Zh. Using ansyswb for optimizing parameters of a tool for rotary friction boring / News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2021, Volume 3, Number 447 (2021), 20-27 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.57>

7. Sherov K.T., Donenbayev B.S. Karsakova N.ZH. Írí gabarittı zháne korpus tetikterdı dayarlauda k,oyylatyn talaptar / Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya №10), 13-14 iyunya 2018 g. Chast' 3. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2018. – S.102-104.

8. Rebrova I.A. Planirovaniye eksperimenta: ucheb. pos. – Omsk: SibADI, 2010.-105 s.

9. Kadyrov A.S., Kadyrova I.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy. – Karaganda: KarGTU, 2015. – 279 s.

10. Yermekov M.A., Makhov A.A. Statistiko-determinirovannyy metod postroyeniya mnogomernykh modeley s ispol'zovaniyem EVM: ucheb.posobiye. - Karaganda, KPTI, 1988.-70 s.

Сведения об авторах:

Шеров К.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, Астана, пр. Женис 62, Казахстан.

Карсакова Н.Ж. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Доненбаев Б.С. – доктор PhD, постдокторант Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Тусупова С.О. – доктор PhD, постдокторант Торайгыров университета, г. Павлодар, ул. Ломова 64, Казахстан.

Имашева К. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Есиркепова А.Б. – доктор PhD, постдокторант Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Sherov K.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 62 Zhenis Ave., Kazakhstan.

Karsakova N.Zh. – senior lecturer of the department of “Technological equipment, mechanical engineering and standardization” of Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Donenbaev B.S. – PhD doctor, postdoctoral student at Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Tussupova S.O. – PhD doctor, postdoctoral fellow at Toraigyrov University, Pavlodar, st. Lomova 64, Kazakhstan.

Imasheva K. – senior lecturer of the department of “Technological equipment, mechanical engineering and standardization” of Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Esirkepova A.B. – PhD doctor, postdoctoral student at Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.