

Алгоритм выбора оптимальных режимов плоского шлифования нежестких заготовок

В.А. Носенко^a, В.Н. Тышкевич^b, А.В. Саразов^c, С.В. Орлов^d

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета,

ул. Энгельса 42а, Волжский, Россия

^anosenko@volpi.ru, ^btubem@mail.ru, ^cmechanic@volpi.ru

Статья поступила 23.11.2016, принята 28.12.2016

Предложен алгоритм выбора оптимальных режимов плоского шлифования периферией круга торцовых поверхностей нежестких заготовок с начальной неплоскостностью базового торца, обеспечивающих получение заданных требований к качеству обработанной поверхности (параметр шероховатости поверхности Ra, отсутствие шлифовочных прижогов, допуск плоскостности торцовой поверхности) при максимальной производительности процесса. Математические модели составляющих силы резания, коэффициента шлифования и шероховатости обработанной поверхности (параметр Ra) получены методом полного факторного эксперимента. Входные факторы (твердость шлифовального круга, глубина шлифования, скорость подачи стола и наработка) являются параметрами оптимизации процесса шлифования. Математические модели выходных факторов предназначены для ограничения области допустимых значений параметров оптимизации. В качестве целевой функции выбрана производительность обработки. Оптимизацию параметров в области допустимых значений осуществляют из условия обеспечения максимальной производительности процесса. Требуемый допуск плоскостности обеспечивается на втором этапе оптимизации режимов управлением величиной упругой деформации. Варьируемыми параметрами при управлении величиной максимальной упругой деформации являются силы резания и притяжения магнитного поля стола станка. Определяются условия обеспечения заданного допуска плоскостности торцовой поверхности заготовки, учитывающие упругую деформацию нежесткой заготовки под действием магнитного поля станка и радиальной составляющей силы резания.

Ключевые слова: упругие деформации; нежесткая заготовка; плоское шлифование; качество обработанной поверхности; оптимизация процесса.

The algorithm of optimal conditions determination for flat grinding of non-rigid workpieces

V.A. Nosenko^a, V.N. Tyshkevich^b, A.V. Sarazov^c, S.V. Orlov^d

Volzhsy Polytechnical Institute of Volgograd State Technical University, 42a, Engels St., Volzhsky, Russia

^anosenko@volpi.ru, ^btubem@mail.ru, ^cmechanic@volpi.ru, ^dmechanic@volpi.ru

Статья поступила 23.11.2016, принята 28.12.2016

The algorithm of determining optimal conditions for peripheral grinding of end surfaces of the non-rigid workpieces with initial nonflatness of the mounting face is developed. While ensuring the maximum efficiency of the process, these conditions make it possible to obtain some specified requirements to the quality of machined surface (surface roughness parameter Ra, absence of grinding burns, required flatness tolerance of end surface). The mathematical models of cutting force components, grinding ratio and roughness of the machined surface (Ra parameter) are obtained by the method of a full factorial experiment. The input factors (grinding wheel hardness, grinding depth, table feed speed and operation time) are considered as the optimization parameters of grinding process. The mathematical models of the output factors are used to limit the range of allowable values of the optimization parameters. The resulted efficiency is an objective function. The optimization of parameters in the range of allowable values is carried out with the view of ensuring maximum efficiency of the process. The required allowance of flatness is provided on the second stage of optimization of the modes by controlling the size of elastic deformation. The forces of cutting and attraction of the magnetic field of the machine table are varied parameters in the process of controlling the size of maximum elastic deformation. The terms of providing the required flatness tolerance of workpiece end surface are determined. These terms take into account the elastic deformation of non-rigid workpieces under the magnetic field effect on the machine table and the radial component of grinding force.

Keywords: elastic deformations; non-rigid workpiece; flat grinding; quality of machined surface; process optimization.

При механической обработке нежестких заготовок необходимо учитывать упругие деформации, возникающие от усилий закрепления и резания. Отклонения формы деталей в результате упругих деформаций под действием силы закрепления магнитным полем стола станка и силы резания во многих случаях значительно

превышают погрешности, вызванные биением шпинделей, неточностью установки и другими факторами. Опыт изготовления нежестких колец подшипников показывает, что современная технология шлифовальной обработки не может разрабатываться без учета

жесткости деталей и упругой деформации в процессе обработки [1; 2].

Обеспечение требуемого качества, в частности заданного допуска плоскостности обработанной торцовой поверхности, при шлифовании нежестких заготовок сопряжено с большими сложностями, обусловленными упругими деформациями заготовок при закреплении и шлифовании. Упругие деформации заготовок, нормальные к поверхности стола станка, в свою очередь обусловлены наличием начальных отклонений от плоскостности и изогнутости базового торца после термообработки или предшествующей механической обработки.

При закреплении магнитным полем стола и шлифовании нежесткая заготовка получает упругую деформацию. После прекращения действия силы резания и раскрепления заготовки в результате упругой деформации определенные отклонения от плоскостности торцовой поверхности заготовки возвращаются. Технологические способы устранения возникающих погрешностей формы значительно увеличивают время обработки и стоимость операции [1; 3].

Цель исследований: разработка алгоритма выбора оптимальных режимов плоского шлифования торцовых поверхностей нежестких заготовок, обеспечивающих получение заданного допуска плоскостности торцовых поверхностей и других обязательных требований к качеству обработанной поверхности.

Для примера на рис. 1 приведены нежесткие заготовки кольца авиационного крупногабаритного подшипника и направляющей.

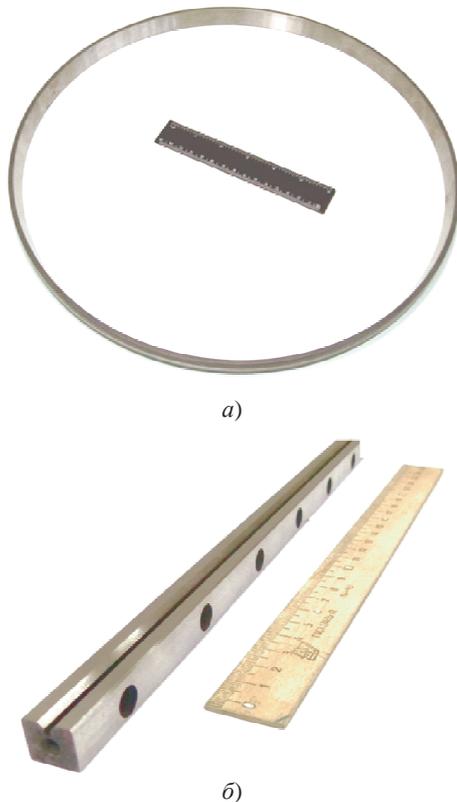


Рис. 1. Образцы нежестких заготовок наружного кольца У-7866А.01 роликоподшипника (а) и направляющей (б)

Предлагаемый алгоритм (рис. 2) предполагает выделение двух этапов оптимизации процесса.

На первом этапе, при выборе оптимальных условий шлифования (режим 1), заготовку кольца рассматривают как абсолютно жесткую, и оптимизацию параметров осуществляют из условия выполнения требований к таким параметрам, как шероховатость, волнистость, отсутствие шлифовочных прижогов, трещин и др.

С использованием математических моделей радиальной и касательной составляющих силы резания, параметра шероховатости и т. д. ($P_y = P_y(x_1, x_2, \dots, x_k)$; $P_z = P_z(x_1, x_2, \dots, x_k)$; $R_a = R_a(x_1, x_2, \dots, x_k)$; ...) (см. рис. 2) определяют области допустимых значений параметров характеристики абразивного инструмента и режимов x_1, x_2, \dots, x_k , обеспечивающих выполнение требований к качеству торцовой поверхности.

Дальнейшая оптимизация параметров в области допустимых значений производится по критерию максимальной производительности процесса $Q_{max}(x_1, x_2, \dots, x_k)$. Эти оптимальные параметры определяют первый режим шлифования (режим 1).

Примеры оптимизации для некоторых показателей качества даны в работах [4–11].

Требуемый допуск плоскостности обеспечивается на втором этапе оптимизации режимов управлением величиной упругой деформации.

Варьируемыми параметрами при управлении величиной максимальной упругой деформации являются силы резания и притяжения магнитного поля стола станка.

По оптимальным параметрам режима 1 определяется оптимальная величина радиальной составляющей силы резания.

Как показывает практика, получение требуемой шероховатости торцовой поверхности заготовки возможно без использования выхаживания.

Выхаживание применяют для обеспечения допуска плоскостности. Основное время обработки с выхаживанием увеличивается в среднем на 40 % [12–14].

Условие обеспечения заданного допуска плоскостности торцовой поверхности кольца без выхаживания при закреплении заготовки магнитным полем определяется неравенством:

$$w_p + w_q + w_m \leq [\Delta], \quad (1)$$

где w_p, w_q, w_m — максимальная упругая деформация заготовки при изгибе и кручении под действием соответственно силы резания, силы притяжения магнитного поля стола станка и массы заготовки; $[\Delta]$ — допустимая упругая деформация заготовки.

Значение $[\Delta]$ с учетом коэффициента запаса точности λ находим по формуле:

$$[\Delta] = \lambda \Delta - \Delta_t,$$

где Δ — допуск плоскостности торцовой поверхности на операции шлифования; Δ_t — допуск плоскостности при шлифовании жесткой заготовки, определяемый из справочной литературы, например [2].

Для обеспечения оптимального режима шлифования с максимальной производительностью с закреплением заготовки магнитным полем стола условие (1) дополняется неравенством:

$$[p_1] \leq p \leq [p_2],$$

где p — удельная сила притяжения магнитного поля стола станка; $[p_1]$ — минимально допустимая удельная сила притяжения из условий отсутствия сдвига, проворота, опрокидывания заготовки кольца, определяемая из справочной литературы, например [14]; $[p_2]$ — максимально допустимая удельная сила притяжения маг-

нитного поля стола станка, определяемая из условия обеспечения заданного допуска плоскостности (1).

Математические модели и алгоритмы определения упругих деформаций для нежестких колец авиационных крупногабаритных подшипников с начальными отклонениями от плоскостности торцовых поверхностей приведены в работах [15–19].

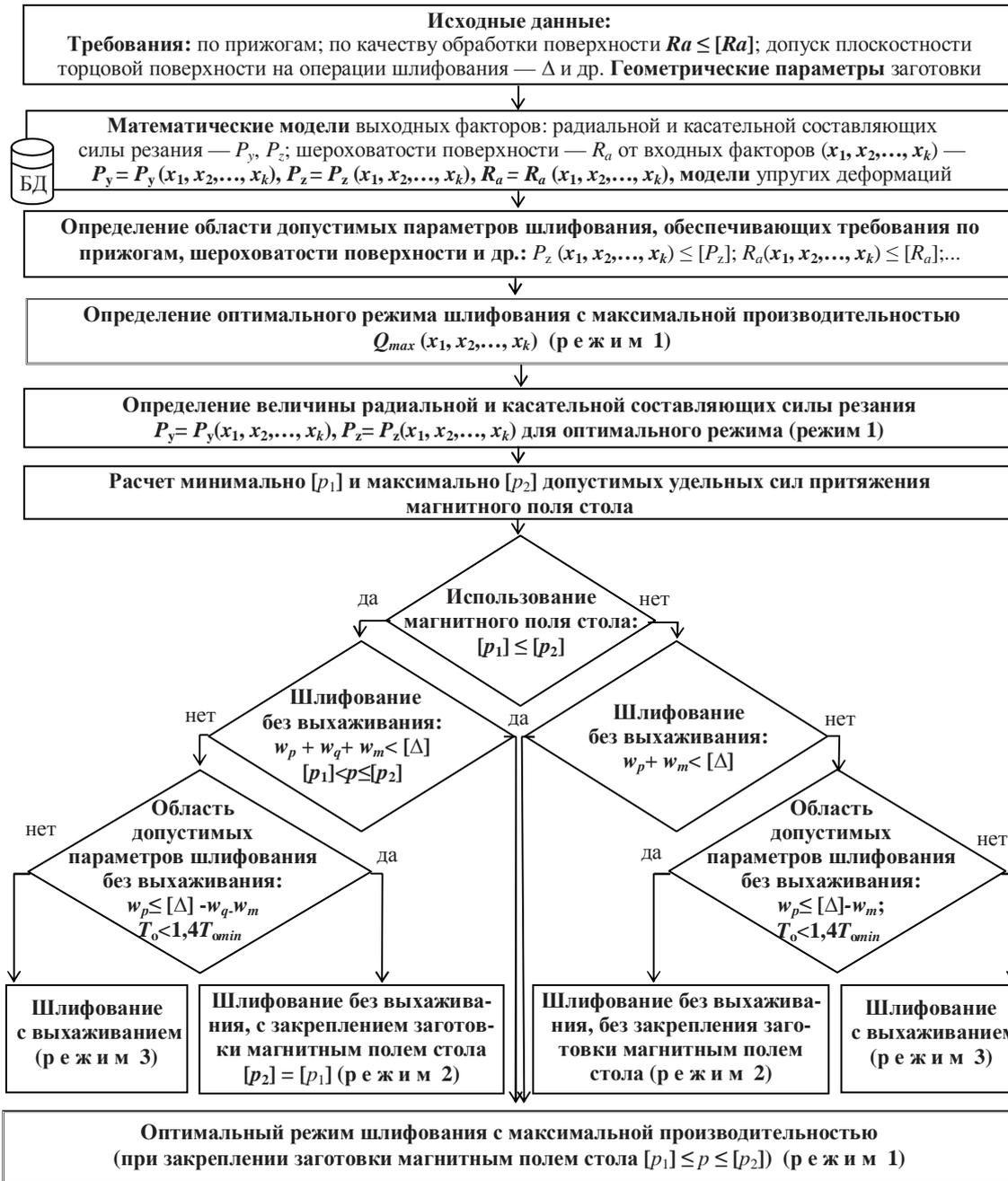


Рис. 2. Алгоритм оптимизации режимов шлифования торцов нежестких заготовок с управлением упругой деформацией

Возможность использования магнитного поля стола станка для закрепления заготовки реализуется при выполнении неравенства:

$$[p_1] \leq [p_2]. \tag{2}$$

Шлифование без выхаживания, с закреплением заготовки магнитным полем стола при $p = [p_1]$ возможно в результате снижения величины P_y за счет соответствующего снижения режимных факторов в ранее опре-

деленной области и поиска в этой же области допустимых значений параметров процесса, при которых возможно выполнение следующих условий:

$$w_p \leq [\Delta] - w_m - w_q; T_o < 1,4 T_{o\ min}, \tag{3}$$

где T_o — основное время шлифования; $T_{o\ min}$ — основное время шлифования без выхаживания при максимальной производительности обработки, параметры

реализации которой были определены ранее (режим 1). При существовании в области допустимых значений параметров процесса, удовлетворяющих условиям (3), дальнейшая оптимизация осуществляется по критерию максимальной производительности.

При невыполнении условий (3) реализуется режим 3 — шлифование с выхаживанием. Параметры процесса шлифования соответствуют режиму 1, но время шлифования возрастает в среднем на 40 %.

При невыполнении условия (2) шлифование первого торца заготовки производится без закрепления магнитным полем стола — заготовку закрепляют с помощью упоров.

Условие обеспечения заданного допуска плоскостности торцевой поверхности заготовки без выхаживания и без закрепления заготовки магнитным полем стола определяется неравенством:

$$w_p + w_m \leq [\Delta]. \quad (4)$$

При выполнении условия (4) шлифование первого торца производится с параметрами режима 1.

Реализация режима 2 без закрепления магнитным полем стола возможна при выполнении условий:

$$w_p + w_m \leq [\Delta]; \quad T_o < 1,4 T_{omin}. \quad (5)$$

Если условия (5) не выполняются, шлифование первого торца заготовки производится без закрепления магнитным полем стола с выхаживанием (режим 3).

На разработанный способ устранения изогнутости торцов колец шлифованием получен патент [20].

Методики и рекомендации, разработанные на основании данного алгоритма, позволили повысить эффективность технологического процесса шлифования торцов жестких колец авиационных крупногабаритных подшипников и жестких призматических направляющих (см. рис. 1).

Заключение

Разработан алгоритм для определения оптимальных режимов плоского шлифования периферией круга на станках с магнитным столом жестких заготовок с начальными отклонениями торцевых поверхностей от плоскостности.

Разработаны условия обеспечения заданного допуска плоскостности торцевой поверхности заготовки.

Оптимальные условия обеспечивают получение заданных требований к качеству обработанной поверхности при максимальной производительности процесса плоского шлифования.

Требуемый допуск плоскостности торцевой поверхности обеспечивается управлением величиной упругой деформации заготовки.

Литература

1. Коротков Б.И., Коротков С.Б., Тышкевич В.Н., Орлов С.В. Исследование процессов шлифования внутренних и наружных конусов деталей класса колец. Волгоград, ВолГТУ, 2007. 133 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя. В. 2 т. / под ред. А.М. Дальского А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 1. 912 с.

3. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Светличная В.В. Определение осевых перемещений при шлифовании торцов подшипниковых колец // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 2. С. 70-74.

4. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. Машиностроение, 2014. Т. 14, № 4. С. 67-78.

5. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Оптимальные условия шлифования торцевых поверхностей колец крупногабаритных подшипников // Вестн. машиностроения. 2015. № 4. С. 60-66.

6. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В. Обеспечение требуемого качества торцевых поверхностей колец подшипников шлифованием // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 3. С. 31-35.

7. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В., Сукочева Е.А. Выбор оптимальных условий плоского шлифования стальных заготовок // Изв. Высш. учеб. заведений. Сер. Машиностроение. 2016. № 6 (675). С. 73-81.

8. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Саразов А.В., Орлов С.В. Обеспечение допуска плоскостности при шлифовании торцов жестких колец подшипников // Механика XXI века. 2016. № 15. С. 173-179.

9. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Выбор оптимальных режимов плоского шлифования заготовок из стали ШХ15 // Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Севастополь-2015: сб. тр. междунар. науч.-технической конф. Севастополь, 2015. Вып. 1. С. 57-61.

10. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Саразов А.В., Орлов С.В. Выбор оптимальных условий шлифования торцов колец крупногабаритных подшипников // Материалы VIII международной научно-технической конференции «Научно-технические технологии на современном этапе развития машиностроения»: сб. науч. тр. М., 2016. С. 148-150.

11. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Саразов А.В., Орлов С.В. Управление упругими деформациями жестких подшипниковых колец при закреплении и механической обработке // Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Севастополь-2016: сб. тр. междунар. науч.-технической конф. Севастополь, 2016. Вып. 3. С. 53-59.

12. Солер Я.И., Казимиров Д.Ю. Стратегия плоского шлифования деталей переменной жесткости // Металлообработка. 2006. № 1. С. 2-7.

13. Солер Я.И., Нгуен В.К. Технологические резервы повышения качества шлифования пластин из быстрорежущей стали повышенной производительности // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Машиностроение, 2016. № 5 (674). С. 59-73.

14. Гордон М.Б., Яношкин А.С. Высокоэффективная электрохимическая обработка твердых сплавов в режиме самозатачивания алмазного круга и одновременного травления поверхности изделий // Вестник машиностроения. 1984. № 3. С. 12-14.

15. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Svetlichnaya V.B. The determination of axial displacements during bearing end face grinding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2010. Vol. 39, № 3. P. 157-160.

16. Копецкий А.А., Носенко В.А., Тышкевич В.Н. Влияние упругих деформаций на погрешность формы при закреплении и обработке колец подшипников // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 2/3 (292). С. 103-107.

17. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Влияние осевых деформаций на отклонение от плоскостности торцевой поверхности кольца подшипника при шли-

фовании // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Машиностроение, 2015. № 9. С. 68-74.

18. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В. Определение допускаемых значений вертикальной составляющей силы плоского шлифования подшипниковых колец малой осевой жёсткости // Справочник. Инж. журн. 2008. № 4. С. 24-32.

19. Kopetskii A.A., Nosenko V.A., Tyshkevich V.N. Influence of Shift of Clamping Forces on Elastic Deformations of the Bearing Ring in a Jaw Gripper // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2014. Vol. 43, № 1. P. 55-59.

20. Орлов С.В., Тышкевич В.Н., Коротков Б.И., Носенко В.А. Способ устранения изогнутости торцов деталей класса колец шлифованием: пат. 2370354 Рос. Федерация. Заявл. 18.03.08; опубл. 20.10.09. Бюл. № 29. 3 с.

References

1. Korotkov B.I., Korotkov S.B., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. The study of the processes of grinding the inner and outer cones of parts class rings. Volgograd, VolgGTU, 2007. 133 p.

2. Reference technologist-mechanical engineer. V. 2 t. / pod red. A.M. Dal'skogo, A.G. Kosilovoi, R.K. Meshcheryakova, A.G. Suslova. M.: Mashinostroenie-1, 2001. T. 1. 912 p.

3. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Svetlichnaya V.B. The determination of axial displacements during bearing end face grinding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2010. № 2. P. 70-74.

4. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Flat grinding of big bearing races end with the demanded quality of a surface // Bulletin of South Ural State University. Series "Mechanical engineering industry", 2014. T. 14, № 4. P. 67-78.

5. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Determination of optimal grinding conditions of end surfaces of races of big bearings // Russian Engineering Research. 2015. № 4. P. 60-66.

6. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. Providing of the required quality of end surfaces of bearing races during grinding // Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making. 2015. № 3. P. 31-35.

7. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V., Sukocheva E.A. The determination of optimal conditions for flat grinding of steel workpieces // Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building. 2016. № 6 (675). P. 73-81.

8. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V., Orlov S.V. Providing flatness tolerance for grinding the ends of non-rigidbearing rings // Mekhanika XXI veku. 2016. № 15. P. 173-179.

9. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. The determination of Optimal Conditions for Flat Grinding of Workpieces of ShKh 15 stell // Sovremennye napravleniya i perspektivy razvitiya tekhnologii obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii. Sevastopol'-2015: sb. tr. mezhdunar. nauch.-tekhneskoi konf. Sevastopol', 2015. Vyp. 1. P. 57-61.

10. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V., Orlov S.V. The determination of Optimal Conditions Grinding of ends of Races of Big Bearing // Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhneskoi konferentsii «Naukoemkie tekhnologii na sovremennom etape razvitiya mashinostroyeniya»: sb. nauch. tr. M., 2016. P. 148-150.

11. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V., Orlov S.V. Control of Elastic Deformations of nonrigidbearing rings when fixing and machining // Sovremennye napravleniya i perspektivy razvitiya tekhnologii obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii. Sevastopol'-2016: sb. tr. mezhdunar. nauch.-tekhneskoi konf. Sevastopol', 2016. Vyp. 3. P. 53-59.

12. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu. The strategy of the flat grinding to details of a variable rigidity // Metalloobrabotka. 2006. № 1. P. 2-7.

13. Soler Ya.I., Nguen V.K. Technological Reserves of Improving Grinding Quality of High Speed Steel Plates with Improved Productivity // Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building, 2016. № 5 (674). P. 59-73.

14. Gordon M.B., Yanyushkin A.S. High-performance electrochemical machining hard metals in the mode of self-sharpening diamond wheel and simultaneously etching the surface of products // Vestnik mashinostroyeniya. 1984. № 3. P. 12-14.

15. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Svetlichnaya V.B. The determination of axial displacements during bearing end face grinding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2010. Vol. 39, № 3. P. 157-160.

16. Kopetskii A.A., Nosenko V.A., Tyshkevich V.N. Influence of Elastic Deformations on Error of Form at Fixing and Treatment of Rings of Bearings // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2012. № 2/3 (292). P. 103-107.

17. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Influence of axial deformations on flatness deviation of end surface of the bearing race during grinding // Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building, 2015. № 9. P. 68-74.

18. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. Determination of permissible values of the vertical component of the forces of flat grinding bearing rings low axial stiffness // Handbook. An Engineering Journal. 2008. № 4. P. 24-32.

19. Kopetskii A.A., Nosenko V.A., Tyshkevich V.N. Influence of Shift of Clamping Forces on Elastic Deformations of the Bearing Ring in a Jaw Gripper // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2014. Vol. 43, № 1. P. 55-59.

20. Orlov S.V., Tyshkevich V.N., Korotkov B.I., Nosenko V.A. Remedy curvature of the ends of parts of classings grinding: pat. 2370354 Ros. Federatsiya. Zayavl. 18.03.08; opubl. 20.10.09. Byul. № 29. 3 p.