

УДК 621.923.4

doi: 10.18698/0536-1044-2022-2-29-37

Оптимизация режимов плоского шлифования деталей малой жесткости типа колец и призматических стержней

В.Н. Тышкевич

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Optimization of Flat Grinding Modes for Low Rigidity Workpieces such as Rings and Prismatic Rods

V.N. Tyshkevich

Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University

Предложены алгоритм и методика оптимизации режимов плоского шлифования деталей малой жесткости типа колец и призматических стержней, обеспечивающие заданное качество обработанной поверхности при максимальной производительности процесса. Требуемый допуск плоскостности обработанной поверхности достигается на втором этапе оптимизации режимов ограничением значения максимальной упругой деформации. Варьируемыми параметрами являются силы резания и притяжения магнитного поля стола станка, жесткость заготовки при изгибе. Приведены математические модели для определения максимальной упругой деформации заготовок при закреплении и механической обработке. Определены условия обеспечения требуемого допуска плоскостности обработанной поверхности заготовки малой жесткости, учитывающие ее максимальную упругую деформацию, возникающую под действием магнитного поля станка и радиальной составляющей силы резания.

Ключевые слова: оптимизация процесса, плоское шлифование, заготовка малой жесткости, призматические стержни, качество обработанной поверхности, упругие деформации

The study introduces an algorithm and method for optimization of flat grinding modes for low-rigidity workpieces such as rings and prismatic rods. The proposed solution ensures the specified quality of the machined surface at the maximum process efficiency. The required flatness tolerance of the machined surface is provided at the second stage of optimization modes by limiting the value of the maximum elastic deformation. The variable parameters are the cutting forces, magnetic field attraction of the machine table, and the bending rigidity of the workpiece. The study introduces mathematical models to determine maximum elastic deformation of workpieces when fixing and machining, outlines the conditions for ensuring the required flatness tolerance of the machined workpiece surface, taking into account the maximum elastic deformation of the low rigidity workpiece under the influence of the magnetic field of the machine tool and the radial component of the cutting force.

Keywords: process optimization, flat grinding, low rigidity workpiece, prismatic bars, surface quality, elastic deformations

Шлифование является одним из самых точных и производительных видов механической обработки изделий, в том числе малой жесткости, рост номенклатуры которых связан со стремлением к снижению их металлоемкости. Большую долю среди изделий малой жесткости составляют детали типа колец малой кривизны и призматических стержней. Наиболее ответственные и дорогостоящие изделия, содержащие такие детали, — крупногабаритные подшипники и рельсовые направляющие качения [1–3].

Особенность механической обработки деталей малой жесткости — возникновение при закреплении и обработке упругих деформаций, значения которых могут превышать требуемый допуск отклонения формы обработанной поверхности (ОП). Обеспечение требуемого допуска значительно увеличивает время и стоимость операции.

Для уменьшения упругих деформаций прибегают к многопроходной обработке деталей на заниженных режимах, введению дополнительных опор в виде люнетов при токарной обработке (в виде подкладок или компенсаторов при шлифовании) и т. д. Все эти технологические приемы увеличивают трудоемкость изготовления деталей малой жесткости [4–7].

При шлифовании торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой жесткости упругие деформации, возникающие в направлении, перпендикулярном поверхности стола станка, усложняют получение требуемого допуска плоскостности ОП.

Для обеспечения требуемого допуска плоскостности ОП при плоском шлифовании заготовки малой жесткости используют большое число переходов и длительное выхаживание [1, 8], увеличивают ее жесткость подкладками или компенсаторами, ограничивая максимальные упругие деформации [2, 8].

Предложенные в работах [1, 2] алгоритмы выбора оптимальных режимов и условий закрепления при плоском шлифовании торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой жесткости необходимо детализировать, уточнив математические модели максимальной упругой деформации и обобщив в единый алгоритм.

Цель статьи — разработка алгоритма и методики оптимизации режимов плоского шлифования торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой

жесткости, обеспечивающих требуемое качество, включая допуск плоскостности ОП, при максимальной производительности процесса шлифования.

Методика исследования, алгоритм, математические модели. Предлагаемые алгоритм и методика выбора оптимальных режимов плоского шлифования торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой жесткости включает в себя два этапа оптимизации процесса.

На первом этапе (рис. 1) заготовку рассматривают как абсолютно жесткую. Оптимизацию осуществляют из условия выполнения требований к таким параметрам ОП, как шероховатость, волнистость, отсутствие шлифовочных прижогов, трещин и др., за исключением допуска плоскостности.

Математические модели радиальной $P_y = P_y(x_1, x_2, \dots, x_k)$ и касательной $P_z = P_z(x_1, x_2, \dots, x_k)$ составляющих силы резания, параметра шероховатости $Ra = Ra(x_1, x_2, \dots, x_k)$ и др. могут быть получены методами планирования эксперимента, взяты из базы данных наработанных математических моделей (см. рис. 1). С помощью этих математических моделей определяют области допустимых параметров характеристики абразивного инструмента и режимов x_1, x_2, \dots, x_k , обеспечивающих выполнение требований к качеству ОП.

Целевая функция оптимизации — максимальная производительность обработки $Q(x)$ при условии расположения в области допустимых значений входных параметров $[x_i]$: $\max Q(x), x \in [x]$. Область допустимых значений $[x_i]$ представляет собой совокупность функциональных и прямых ограничений:

$$\Phi(x_i) = \begin{cases} Ra(x_i) \leq [Ra]; \\ P_z(x_i) \leq [P_z]; \\ \dots \end{cases}$$

$$[x] = \{ \Phi(x_i) \geq 0, x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max} \},$$

где $x_i = \{ \text{характеристики шлифовального круга: твердость, зернистость, структура, абразивный материал, вид связки, ...; режимные параметры: радиальная подача, скорость подачи стола } v_s, \dots \}$; $[Ra]$ — допустимое среднее арифметическое отклонение профиля; $[P_z]$ — допустимая тангенциальная составляющая силы резания, обеспечивающая бесприжоговое шлифование.

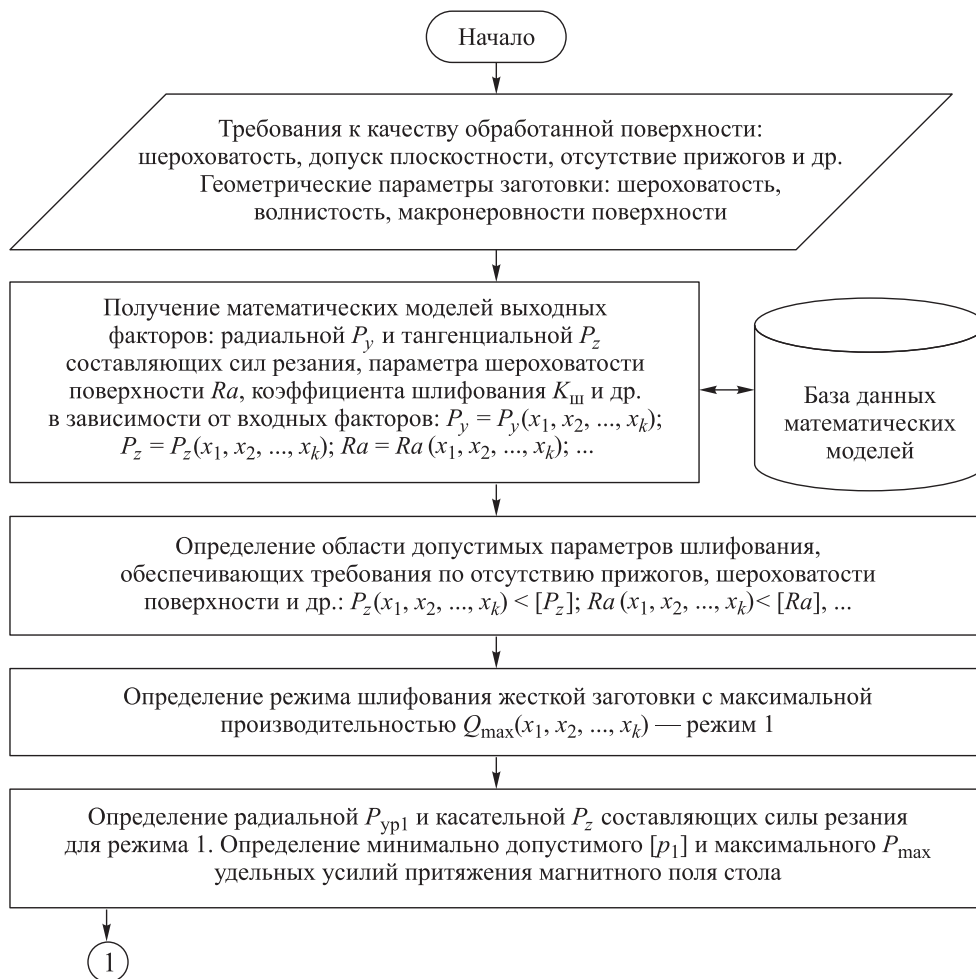


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выбора оптимальных режимов и условий закрепления при плоском шлифовании торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой жесткости, обеспечивающих требуемое качество, включая допуск плоскостности ОП, при максимальной производительности процесса шлифования (*первый этап*)

Полученные оптимальные параметры определяют первый режим шлифования — *режим 1*. Примеры оптимизации некоторых показателей качества ОП для колец из стали ШХ15 приведены в работе [1], для рельсовой направляющей линейного подшипника из цементированной стали 20X — в статье [2].

На *втором этапе* требуемый допуск плоскостности ОП обеспечивают ограничением максимальной упругой деформации заготовки при закреплении и обработке по алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 2. Варьируемыми параметрами являются силы резания и притяжения магнитного поля стола, жесткость заготовки при изгибе.

Условие обеспечения требуемого допуска плоскостности ОП ограничивает максимальную упругую деформацию w_{\max} , возникающую под действием магнитного поля стола станка,

веса заготовки и усилия резания, допускаемой максимальной упругой деформацией $[\Delta]$ [1]:

$$w_{\max} \leq [\Delta] = \lambda \Delta - \Delta_T, \quad (1)$$

где λ — коэффициент точности при проектировании, принятый равным 0,75 [1]; Δ — допуск плоскостности поверхности на операции шлифования; Δ_T — достижимое отклонение от плоскостности ОП при шлифовании жесткой заготовки в рассматриваемых условиях из справочной литературы, например из [9].

Для определения максимальных упругих деформаций при закреплении и шлифовании заготовки необходимы их математические модели, учитывающие контактные деформации поверхностей заготовки и стола, форму поперечного сечения и жесткость заготовки при изгибе и кручении.

Основную долю максимальных упругих деформаций составляют прогибы заготовки в зазорах между соприкасающимися поверхностями заготовки и стола станка. Определение максимальных прогибов заготовки основано на

стержневой теории изгиба, поэтому ее геометрические параметры должны удовлетворять соответствующим ограничениям [1, 2].

При закреплении заготовки магнитным полем стола на нее действует равномерно распре-

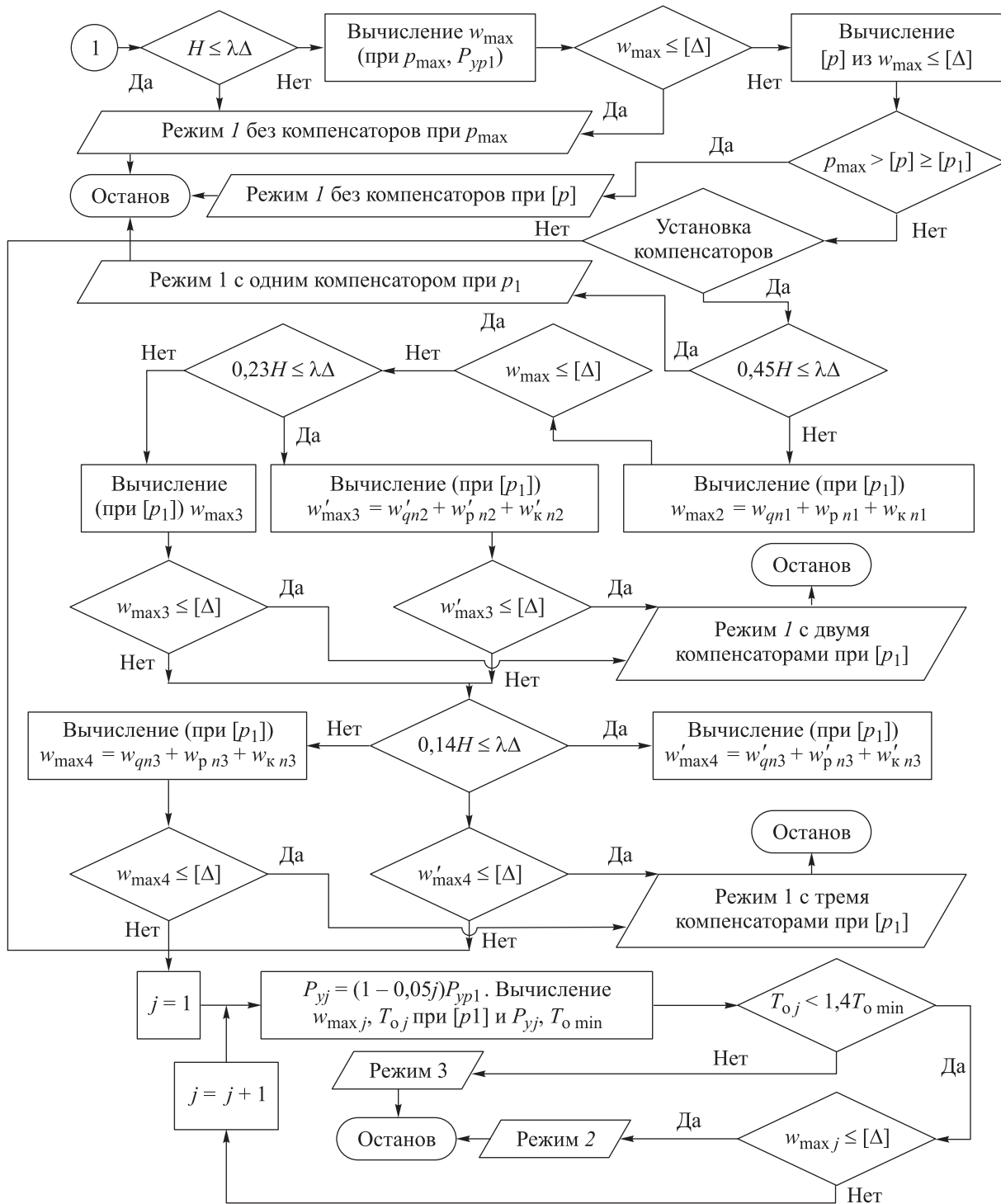


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выбора оптимальных режимов и условий закрепления при плоском шлифовании торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой жесткости, обеспечивающих требуемое качество, включая допуск плоскостности ОП, при максимальной производительности процесса шлифования (второй этап)

деленная нагрузка интенсивностью $q = q_c + q_m$, где q_c — интенсивность равномерно распределенной нагрузки от действия усилия притяжения магнитного поля стола станка; q_m — интенсивность равномерно распределенной нагрузки под действием веса заготовки.

При шлифовании добавляется радиальная составляющая силы резания P_y в сечении, координата которого $x_{\max n}$ определяется из условия максимального прогиба кольца малой кривизны (для заготовок типа колец) или неразрезной балки (для заготовок типа призматических стержней).

При шлифовании на упругое перемещение заготовки под действием силы резания влияет отношение жесткости технологической системы (шпиндель станка — узлы его крепления) j_c к изгибной жесткости заготовки j_{zn} , зависящей от числа пролетов моделируемой неразрезной балки n [2]:

$$c_n = j_c / (j_{zn} + j_c).$$

Математическая модель максимальной упругой деформации заготовки при шлифовании имеет вид

$$w_{\max} = w_{qn} + w_{pn} + w_{kn}, \tag{2}$$

где w_{qn} и w_{pn} — составляющие максимального прогиба, возникающего под действием соответственно усилия притяжения магнитного поля стола станка и радиальной составляющей усилия резания в сечении максимального прогиба; w_{kn} — контактная деформация, зависящая от числа пролетов.

На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что заготовка

получает изогнутость поверхности с выраженными волнами макроотклонений. Контактная деформация гладкой поверхности стола и шероховатой волнистой поверхности заготовки, имеющей макроотклонения от плоскостности, складывается из контактных деформаций вследствие деформации микронеровностей и волнистости. Методика и расчетные формулы для вычисления контактных деформаций приведены в работе [10].

Максимальная осевая упругая деформация кольца малой жесткости при шлифовании торцевой поверхности определяется по алгоритму, приведенному в статье [11], с дополнительным учетом контактных деформаций поверхностей w_{kn} и отношения жесткости технологической системы к изгибной жесткости заготовки c_n .

Макроотклонение поверхности призматической заготовки, соприкасающейся с поверхностью стола станка, моделируют цилиндрической поверхностью с направляющей в виде синусоиды с характерной длиной волны l (рис. 3) [2, 8].

Длина l зависит от конструктивных особенностей заготовки, ее изгибной жесткости, предшествующих шлифованию механической и термической обработки. Если длина заготовки большая, то в ней могут укладываться несколько регулярных волн синусоиды. Удвоенная амплитуда синусоиды y_a принята равной максимальной высоте волн макроотклонений H (рис. 3, а).

Чтобы определить максимальные прогибы заготовки, ее моделируют неразрезной балкой с числом пролетов n , равным числу волн синусоиды на длине заготовки l_3 : $n = l_3/l$ (рис. 3, б).

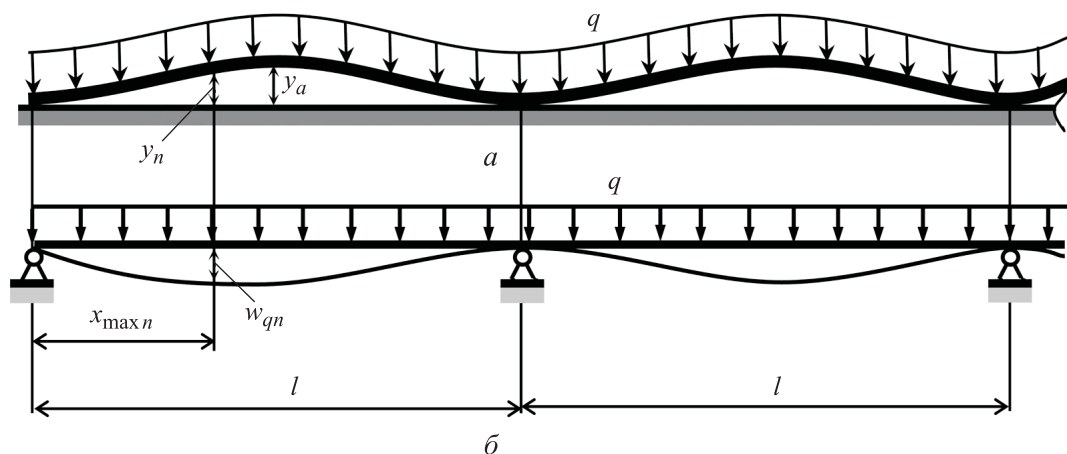


Рис. 3. Расчетная схема призматической заготовки при закреплении магнитным полем стола станка: а — схема заготовки с приложенной нагрузкой; б — расчетная схема неразрезной балки

Для повышения изгибной жесткости заготовок при закреплении магнитным полем стола станка рекомендуется применять компенсаторы, которые следует устанавливать с разбиением характерной длиной l на равные части $l/2$, $l/3$, $l/4$ [2, 8].

При использовании более двух компенсаторов закрытие зазора между поверхностями заготовки и стола станка (касание поверхностей при деформации изгиба) будет происходить последовательно от первого пролета к среднему. Если максимальный прогиб в первом пролете балки будет больше либо равен зазору между поверхностями (точками касания) заготовки и стола, т. е. $w_{qn2} \geq 0,23y_a$, $w_{qn3} \geq 0,14y_a$, а зазор будет меньше либо равен допускаемой максимальной упругой деформации заготовки $[\Delta]$: $0,23y_a \leq [\Delta]$, $0,14y_a \leq [\Delta]$, то дальнейшие расчеты максимального прогиба следует продолжать в среднем пролете балки (см. рис. 2) [8].

Математические модели максимальных прогибов, вызванных действием усилия притяжения магнитного поля стола станка без компенсаторов w_{qn} , с компенсаторами w_{qnk} , в среднем пролете w'_{qnk} и действием радиальной составляющей силы резания без компенсаторов w_{pn} , с компенсаторами $w_{p nk}$, в среднем пролете $w'_{p nk}$, полученные в работе [8], имеют следующий вид:

$$w_{qn} = \frac{a_n q l^4 \cdot 10^{-3}}{EI_z}; \quad w_{qnk} = \frac{a_{nk} q l^4 \cdot 10^{-3}}{EI_z};$$

$$w'_{qnk} = \frac{a'_{nk} q l^4 \cdot 10^{-3}}{EI_z}; \quad w_{pn} = \frac{b_n c_n P_y l^3 \cdot 10^{-3}}{EI_z};$$

$$w_{p nk} = \frac{b_{nk} c_n P_y l^3 \cdot 10^{-3}}{EI_z}; \quad w'_{p nk} = \frac{b'_{nk} c_n P_y l^3 \cdot 10^{-3}}{EI_z},$$

где a_n , a_{nk} , a'_{nk} , b_n , b_{nk} , b'_{nk} — коэффициенты; E — модуль продольной упругости материала

Таблица 2

Расчетные параметры моделей максимальных прогибов при шлифовании призматической заготовки с компенсаторами

Число компенсаторов k	Параметры моделей							
	в первом пролете				в среднем пролете			
	a_{nk}	b_{nk}	$x_{\max nk} l$	$y_{nk} y_a$	b'_{nk}	a'_{nk}	$x'_{\max nk} l$	$y'_{nk} y_a$
1	1,89	0,3340	0,24	0,45	–	–	–	–
2	0,63	0,0842	0,16	0,23	0,428	0,0064	0,500	1,00
3	0,28	0,0251	0,12	0,14	0,198	0,0072	0,371	0,85

Таблица 1

Расчетные параметры моделей максимальных прогибов при шлифовании призматической заготовки без компенсаторов

Число пролетов n	Параметры моделей			
	a_n	b_n	$x_{\max n}$	y_n
1	20,8	13,00	0,500	1,000
2	15,1	5,34	0,469	0,991
3	17,0	6,82	0,481	0,964
4	17,9	6,43	0,486	0,998
5	18,5	6,47	0,490	0,999
6 и более	18,9	6,43	0,492	0,999

заготовки; I_z — осевой момент инерции поперечного сечения заготовки относительно центральной оси z , расположенной перпендикулярно плоскости изгиба.

Расчетные параметры — коэффициенты a_n , a_{nk} , a'_{nk} , b_n , b_{nk} , b'_{nk} , координаты максимальных прогибов $x_{\max n}$, $x_{\max nk}$, $x'_{\max nk}$ и расстояния между точками касания поверхностей заготовки и стола станка y_n , y_{nk} , y'_{nk} (см. рис. 3) [8] — при различных значениях чисел пролетов и компенсаторов приведены в табл. 1 и 2.

Результаты экспериментальной проверки разработанных моделей максимальной упругой деформации для направляющей роликового однорядного подшипника ЛРХ 6/350 приведены в публикациях [2, 8].

При шлифовании заготовки с компенсаторами максимальные упругие деформации в первом пролете вычисляются по формуле (2), в среднем пролете — по выражению

$$w_{\max} = w'_{qnk} + w'_{p nk} + w'_{k nk}.$$

На втором этапе оптимизации проверяют максимальное отклонение от плоскостности

поверхности заготовки H перед чистовым шлифованием (см. рис. 2):

$$H \leq \lambda \Delta. \quad (3)$$

В случае выполнения условия (3) шлифование заготовки проводят без компенсаторов в режиме 1 при максимальном удельном усилии притяжения магнитного поля стола p_{\max} . С помощью выражения (1) по предложенному алгоритму проверяют условие обеспечения требуемого допуска плоскостности ОП заготовки в режиме 1 при p_{\max} .

Режим 1 без компенсаторов при допусковом удельном усилии притяжения магнитного поля стола $[p]$, определяемом из условия (1), реализуется при выполнении условия

$$p_{\max} > [p] \geq [p_1], \quad (4)$$

где $[p_1]$ — минимальное допустимое удельное усилие притяжения магнитного поля стола станка, определяемое из условия отсутствия сдвига, поворота заготовки при шлифовании по справочным рекомендациям, например, [9].

При невыполнении условия (4) и шлифовании заготовок без компенсаторов проверяют условия реализации *режима 2* — шлифования без выхаживания с закреплением заготовки магнитным полем стола при $p = [p_1]$ и уменьшением силы P_y путем соответствующего снижения режимных факторов в области допустимых значений:

$$w_{\max} \leq [\Delta]; \quad T_o < 1,4T_{o \min}, \quad (5)$$

где T_o — основное время шлифования; $T_{o \min}$ — основное время шлифования при максимальной производительности обработки в режиме 1.

При невыполнении условий (5) реализуют *режим 3* — шлифование с выхаживанием. Параметры шлифования соответствуют режиму 1, но основное время этого процесса возрастает в среднем на 40 % (см. рис. 2).

Установка компенсаторов позволяет реализовать параметры режима 1 со шлифованием

при минимальном допустимом удельном усилии притяжения магнитного поля стола $[p_1]$ с выполнением следующих условий (см. рис. 2):

- при $k = 1$

$$0,45H \leq \lambda \Delta; \quad w_{\max 2} \leq [\Delta];$$

- при $k = 2$

$$0,23H \leq \lambda \Delta; \quad w_{\max 3} \leq [\Delta]; \quad w'_{\max 3} \leq [\Delta];$$

- при $k = 3$

$$0,14H \leq \lambda \Delta; \quad w_{\max 4} \leq [\Delta]; \quad w'_{\max 4} \leq [\Delta]. \quad (6)$$

В случае невыполнения условий (6) проверяют условия (5) реализации режимов 2 и 3.

Работа предложенного алгоритма проверена на примере наружных колец конического однорядного роликоподшипника из стали ШХ15 [1, 11] и направляющей линейного подшипника ЛРХ 6/350 из цементированной стали 20Х [2, 8]. Проведенная оптимизация режимов плоского шлифования боковых граней призматических заготовок и торцовых поверхностей колец позволила сократить основное время операции шлифования на 30 %.

Выводы

1. Предложены алгоритм и методика оптимизации режимов плоского шлифования торцовых поверхностей колец и боковых граней призматических заготовок малой жесткости, обеспечивающие требуемое качество, в том числе допуск плоскостности ОП, при максимальной производительности процесса шлифования.

2. Определены оптимальные условия закрепления заготовок малой жесткости типа колец и призматических стержней при шлифовании, а также условия обеспечения требуемого допуска плоскостности ОП.

3. Разработаны математические модели максимальных упругих деформаций при плоском шлифовании заготовок малой жесткости типа колец и призматических стержней.

Литература

- [1] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V. Optimization of conditions for non-rigid workpieces flat grinding by elastic deformations controlling. *Procedia Eng.*, 2017, vol. 206, pp. 1173–1178, doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.613>
- [2] Тышкевич В.Н., Носенко В.А., Саразов А.В. и др. Выбор оптимальных условий плоского шлифования направляющих линейных подшипников малой жесткости. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 7, с. 30–39, doi: <http://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-7-30-39>

- [3] Лурье А.М. *Рельсовые направляющие качения*. Москва, Сервотехника, 2006. 50 с.
- [4] Suslov A., Lysak V., Chigirinskiy J.L., et al. Inspecting the quality of a surface layer in non-rigid shafts turning by adaptive control over the process of cutting. *Mater. Sci. Forum*, 2019, vol. 973, pp. 212–218, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.973.212>
- [5] Суслов А.Г., ред. *Справочник технолога*. Москва, Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
- [6] Nesterenko P.S., Tchigirinsky J.L., Nesterenko E.N. Analysis of influence of strains of technological system elements on machining accuracy under turning of non-rigid shafts based between centers. *Proc. 5th ICIE*. Springer, 2020, pp. 1193–1201.
- [7] Унянин А.Н. Повышение точности малоожестких деталей за счет компенсации упругих деформаций заготовок в процессе обработки. *Вестник современных технологий*, 2016, № 2, с. 75–79.
- [8] Tyshkevich V.N., Sarazov A.V., Orlov S.V. Simulation of maximum elastic deformations during flat grinding of low-rigidity prismatic workpieces. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 971, art. 022048, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/971/2/022048>
- [9] Суслов А.Г., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. Т. 1. Москва, Машиностроение, 2001. 914 с.
- [10] Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Саразов А.В. и др. Определение контактных деформаций при плоском шлифовании торцов колец крупногабаритных подшипников. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2016, № 6, с. 50–54.
- [11] Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Саразов А.В. и др. Моделирование осевых упругих деформаций при шлифовании торцов колец крупногабаритных подшипников. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2016, № 5, с. 41–48.

References

- [1] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V. Optimization of conditions for non-rigid workpieces flat grinding by elastic deformations controlling. *Procedia Eng.*, 2017, vol. 206, pp. 1173–1178, doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.613>
- [2] Tyshkevich V.N., Nosenko V.A., Sarazov A.V. et al. Selecting optimal conditions for flat grinding linear bearings guides of low rigidity. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2021, no. 7, pp. 30–39, doi: <http://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-7-30-39> (in Russ.).
- [3] Lur'ye A.M. *Rel'sovye napravlyayushchie kacheniya* [Rail bearings]. Moscow, Servotekhnika Publ., 2006. 50 p. (In Russ.).
- [4] Suslov A., Lysak V., Chigirinskiy J.L., et al. Inspecting the quality of a surface layer in non-rigid shafts turning by adaptive control over the process of cutting. *Mater. Sci. Forum*, 2019, vol. 973, pp. 212–218, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.973.212>
- [5] Suslov A.G., ed. *Spravochnik tekhnologa* [Technologist handbook]. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie Publ., 2019. 800 p. (In Russ.).
- [6] Nesterenko P.S., Tchigirinsky J.L., Nesterenko E.N. Analysis of influence of strains of technological system elements on machining accuracy under turning of non-rigid shafts based between centers. *Proc. 5th ICIE*. Springer, 2020, pp. 1193–1201.
- [7] Unyanin A.N. Improving the accuracy of low-rigid parts by compensating the elastic deformation during treatment of blanks. *Vestnik sovremennykh tekhnologiy* [Journal of Modern Technologies], 2016, no. 2, pp. 75–79. (In Russ.).
- [8] Tyshkevich V.N., Sarazov A.V., Orlov S.V. Simulation of maximum elastic deformations during flat grinding of low-rigidity prismatic workpieces. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 971, art. 022048, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/971/2/022048>
- [9] Suslov A.G., ed. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya*. Т. 1 [Handbook of technologist mechanical engineer. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 914 p. (In Russ.).
- [10] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V. et al. Determination of contact deformations at surface grinding end faces of big bearings rings. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology], 2016, no. 6, pp. 50–54. (In Russ.).

- [11] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Sarazov A.V. et al. Modelling of axial elastic deformations at grinding end faces of big bearings rings. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology], 2016, no. 5, pp. 41–48. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 07.12.2021

Информация об авторе

ТЫШКЕВИЧ Владимир Николаевич — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Механика». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: tubem@mail.ru).

Information about the author

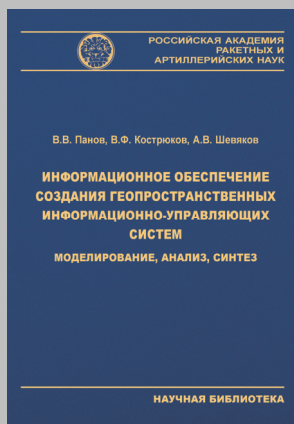
TYSHKEVICH Vladimir Nikolaevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Mechanics. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: tubem@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Тышкевич В.Н. Оптимизация режимов плоского шлифования деталей малой жесткости типа колец и призматических стержней. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 2, с. 29–37, doi: 10.18698/0536-1044-2022-2-29-37

Please cite this article in English as:

Tyshkevich V.N. Optimization of Flat Grinding Modes for Low Rigidity Workpieces such as Rings and Prismatic Rods. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 2, pp. 29–37, doi: 10.18698/0536-1044-2022-2-29-37



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана предлагает читателям монографию «Информационное обеспечение создания пространственных информационно-управляющих систем: моделирование, анализ, синтез»

Авторы: В.В. Панов, В.Ф. Кострюков, А.В. Шевяков

Процесс создания геопрограммных информационно-управляющих систем, представляющих собой организационную и материально-техническую основу современных и перспективных наземных и аэрокосмических территориально распределенных систем различных классов и назначения, построенных на разных физических принципах и решающих широкий спектр задач хозяйственной сферы и обороны, рассмотрен с точки зрения специалиста по информационным технологиям, решающего задачи информационного обеспечения процесса их разработки.

Для научных работников и инженеров, специалистов научно-исследовательских организаций и конструкторских бюро, ведущих инновационные разработки в высокотехнологичных гражданских областях промышленности, работающих в космической области и выполняющих исследования и разработки в структуре оборонно-промышленного комплекса.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@baumanpress.ru; <https://bmstu.press>