

УДК 621.923

DOI 10.18698/0536-1044-2016-6-73-81

Выбор оптимальных условий плоского шлифования стальных заготовок

В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, А.В. Саразов, Е.А. Сукочева

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», 404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, ул. Энгельса, д. 42а

The Determination of Optimal Conditions for Flat Grinding of Steel Workpieces

V.A. Nosenko, V.N. Tyshkevich, S.V. Orlov, A.V. Sarazov, E.A. Sukocheva

Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University, 404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a



e-mail: nosenko@volpi.ru, tubem@mail.ru, mechanic@volpi.ru



Исследовано плоское шлифование периферией круга стальных заготовок. Предложена методика определения оптимальных условий шлифования поверхности образцов, обеспечивающих получение заданных требований к качеству обработанной поверхности (параметр шероховатости поверхности Ra , отсутствие шлифовочных прижогов) при максимальной производительности процесса. Математические модели приведенных к ширине образца составляющих силы резания, коэффициента шлифования и шероховатости обработанной поверхности (параметр Ra) получены методом полного факторного эксперимента типа 2^4 , где 4 — число факторов. Входные факторы (твердость шлифовального круга, глубина шлифования, скорость подачи стола и наработка, приведенная к ширине обрабатываемой поверхности) являются параметрами оптимизации процесса шлифования. Математические модели выходных факторов используют для ограничения области допустимых значений параметров оптимизации. Целевая функция — приведенная производительность. Оптимизацию параметров в области допустимых значений осуществляют из условия обеспечения максимальной производительности процесса.

Ключевые слова: шлифование, качество обработанной поверхности, оптимизация процесса.



Flat peripheral grinding of ShKh15 steel samples is studied. The authors propose a method of determining optimal conditions for grinding sample surfaces that guarantees obtaining predefined quality requirements to the machined surface (surface roughness parameter Ra , absence of grinding burns) while ensuring the maximum efficiency of the process. Mathematical models of the cutting force components reduced to the width of the sample, grinding ratio, and roughness of the machined surface (Ra parameter) are obtained by the method of full factorial experiment of the 2^4 type where 4 is the number of factors. The input factors (grinding wheel hardness, depth of grinding, table feed speed, and run reduced to the width of the machined surface) are considered as the optimization parameters of the grinding process. 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.

Keywords: grinding, quality of machined surface, process optimization.

Шлифование — основная заключительная операция механической обработки, обеспечивающая заданные требования к качеству поверхности детали. Обеспечение требуемой шероховатости и отсутствие шлифовочных прижогов при максимальной производительности процесса является актуальной задачей при шлифовании поверхности детали.

Как показывает практика, получение требуемой шероховатости поверхности возможно без использования выхаживания, которое увеличивает основное время обработки в среднем на 40 % [1, 2]. Для обеспечения требуемого допуска плоскостности обработанной поверхности деталей малой жесткости необходимо учитывать и упругие деформации, возникающие при действии силы резания и закреплении заготовки [3–6].

Цель работы — разработка методики выбора оптимальных условий плоского шлифования заготовок из стали ШХ15, обеспечивающих требуемую шероховатость обработанной поверхности (параметр шероховатости поверхности Ra) и отсутствие шлифовочных прижогов при максимальной производительности процесса.

Методика исследования, математические модели. Математические модели приведенных к ширине образца составляющих силы резания p_y и p_z , коэффициента шлифования $K_{ш}$ и параметра шероховатости обработанной поверхности Ra были созданы методом полного факторного эксперимента типа 2^4 , где 4 — чис-

ло факторов (см. таблицу).

Экспериментальные исследования проводили при плоском шлифовании периферией круга образцов из стали ШХ15 (ГОСТ 801–78) размером $100 \times 45 \times 10$ на лабораторной установке, созданной на базе плоскошлифовального станка 3Г71. Для обработки образцов в качестве инструмента использовали шлифовальные круги размером $1200 \times 16 \times 76$ мм и характеристиками 25AF46K6V, 25AF46L6V, 25AF60K6V, 25AF60L6V производства ОАО «Волжский абразивный завод». В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовали эмульсию на основе эмульсола «Авазол», применяемую ОАО «ЕПК-Волжский».

С учетом производственного опыта были выбраны следующие диапазоны варьирования входных факторов: $c_1(x_1)$ — твердость шлифовального круга, определяемая звуковым методом по приведенной скорости распространения акустических волн (ГОСТ Р 52710–2007), — от 4504 (K) до 4930 м/с (L); $t(x_2)$ — глубина шлифования — от 0,01 до 0,02 мм/ход; $v_s(x_3)$ — скорость подачи стола — от 10 до 20 м/мин; $V(x_4)$ — наработка, приведенная к ширине обрабатываемой поверхности — от 100 до 400 мм². Параметры x_1 , x_2 , x_3 и x_4 , указанные в скобках, являются условными обозначениями кодированных значений факторов. Зернистость шлифовального круга (ГОСТ Р 52381–2005) изменялась от F60 до F46.

Измерение фактической твердости абразивного инструмента проводили по ГОСТ 25961–

Математические модели параметров процесса шлифования стали ШХ15

Параметр	Модель
$p_y(F46)$, Н/мм	$p_y = 19,9 + 5,45x_1 + 3,43x_2 + 0,99x_3 + 3,67x_4 + 1,02x_1x_2 - 2,40x_1x_3 + 2,6x_1x_4 + 0,69x_2x_3 - 1,42x_3x_4 - 1,49x_1x_3x_4$
$p_y(F60)$, Н/мм	$p_y = 31,42 + 0,91x_1 - 3,21x_2 - 1,02x_4 + 1,78x_1x_2 - 3,44x_2x_3 + 0,77x_3x_4 + 1,93x_1x_2x_3x_4 + 2,06x_1x_2x_3 - 3,078x_1x_2x_4 - 0,73x_1x_3x_4$
$p_z(F46)$, Н/мм	$p_z = 6,21 + 0,82x_1 + 0,9x_2 + 0,82x_3 + 0,49x_4 - 0,54x_1x_3 + 0,23x_1x_4$
$p_z(F60)$, Н/мм	$p_z = 9,18 + 1,86x_1 + 0,67x_3 - 0,27x_4 + 0,32x_1x_3 - 0,38x_2x_3 + 0,37x_3x_4 + 0,37x_1x_2x_3x_4 + 0,72x_1x_2x_3 - 0,35x_1x_2x_4$
$K_{ш}(F46)$	$K_{ш} = 44,77 - 5,06x_2 - 13,51x_3 + 6,15x_1x_3$
$K_{ш}(F60)$	$K_{ш} = 22,75 - 1,97x_1 - 5,83x_2 - 1,68x_3 - 2,61x_1x_2 + 1,71x_1x_3 - 4,77x_2x_3$
$Ra(F46)$, мкм	$Ra = 1,81 - 0,22x_1 + 0,46x_3 - 0,22x_1x_3$
$Ra(F60)$, мкм	$Ra = 1,92 + 0,27x_1 + 0,2x_2 + 0,29x_1x_2 + 0,3x_1x_3 + 0,26x_1x_2x_3$
Примечание. В скобках указана зернистость шлифовального круга.	

1983 ультразвуковым методом с помощью прибора «Звук-110М». Скорость распространения акустических волн определяли в восьми диаметральных сечениях круга.

Составляющие силы резания измеряли динамометром УДМ-100, сигнал от которого поступал на усилитель УТ4-1 (ГУ25.06.1377–82), а затем через аналогово-цифровой преобразователь Е14-140 — на персональный компьютер. Перевод электрического сигнала в ньютонь осуществляли посредством тарифовочных коэффициентов.

Шероховатость поверхности измеряли непосредственно на столе станка профилографом-профилометром «Сейтроник ПШ8-4 С.С.». Измерение параметров шероховатости проводили по системе средней линии (ГОСТ 25142–82) в соответствии с номенклатурой и соотношениями значений параметров, предусмотренными ГОСТ 2789–83. Для повышения эффективности и скорости обработки полученных данных была разработана специальная программа «Export» (программа для ЭВМ № 2009615803). В качестве первичных данных использовали высоты профиля, полученные при измерении шероховатости поверхности.

Коэффициент шлифования определяли как отношение наработки к износу абразивного инструмента, а шлифовочные прижоги — методом травления по инструкции ВНИПП 101.

В результате сравнения дисперсий выходных факторов процесса по критерию Кохрена установлено, что в рассматриваемом диапазоне варьирования дисперсии неоднородны. Снижение различия дисперсий достигается уменьшением интервала варьирования факторов. Для сохранения выбранных интервалов было принято решение о разделении некоторых факторов. Наибольшие дисперсии выходных факторов наблюдались при шлифовании кругами различной зернистости. Исходя из этого математические модели выходных параметров процесса шлифования разрабатывали отдельно для каждой зернистости. В данном случае дисперсии составляющих силы резания для кругов одной зернистости можно считать однородными.

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что в рассматриваемом интервале варьирования составляющие силы резания на некоторых режимах шлифования значительно зависят от наработки. В связи с этим в качестве четвертого входного фактора в

математические модели ввели наработку, приведенную к ширине обрабатываемой поверхности $V(x_4)$ с интервалом варьирования от 100 до 400 мм².

Для составляющих силы резания, приведенных к единице ширины обрабатываемой поверхности, p_y и p_z число факторов $k = 4$, для коэффициента шлифования K и параметра шероховатости Ra — $k = 3$.

Для проверки адекватности полученных математических моделей проводили дополнительные эксперименты. Сравнение полученных по результатам экспериментов дисперсий адекватности с ранее найденными дисперсиями воспроизводимости по критерию Фишера при 5%-ном уровне значимости показало их однородность, что свидетельствует об адекватности разработанных математических моделей [7–10].

Методика выбора оптимальных условий шлифования. Входные факторы являются параметрами оптимизации процесса шлифования, математические модели выходных факторов используются для ограничения области допустимых значений параметров оптимизации.

Параметр Ra задан в технологическом процессе. В данном случае его допустимое значение $[Ra] \leq 2,5$ мкм. Ограничение по бесприжоговому шлифованию определено по результатам анализа значений приведенной касательной составляющей силы резания p_z (рис. 1) и наличия прижогов на обработанной поверхности.

При шлифовании кругами зернистостью F60 отсутствие шлифовочных прижогов на обработанной поверхности при максимальной наработке наблюдается только при использовании круга твердостью K на минимальных значениях скорости подачи стола и глубины шлифования ($v_s = 10$ м/мин, $t = 10$ мкм/ход). Но процесс шлифования отличается большой нестабильностью. В диапазоне наработки от 100 до 400 мм² составляющие силы резания уменьшаются в 1,7 раза.

Достаточно стабильным можно считать шлифование в режиме $v_s = 20$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход. Однако и в этом случае шлифовочные прижоги возникают на двух из трех образцов, поэтому такой режим не рекомендуется использовать для обработки заготовок. При шлифовании кругом зернистостью F46 и твердостью L шлифовочные прижоги наблюдаются практически на всех режимах. Следует отме-

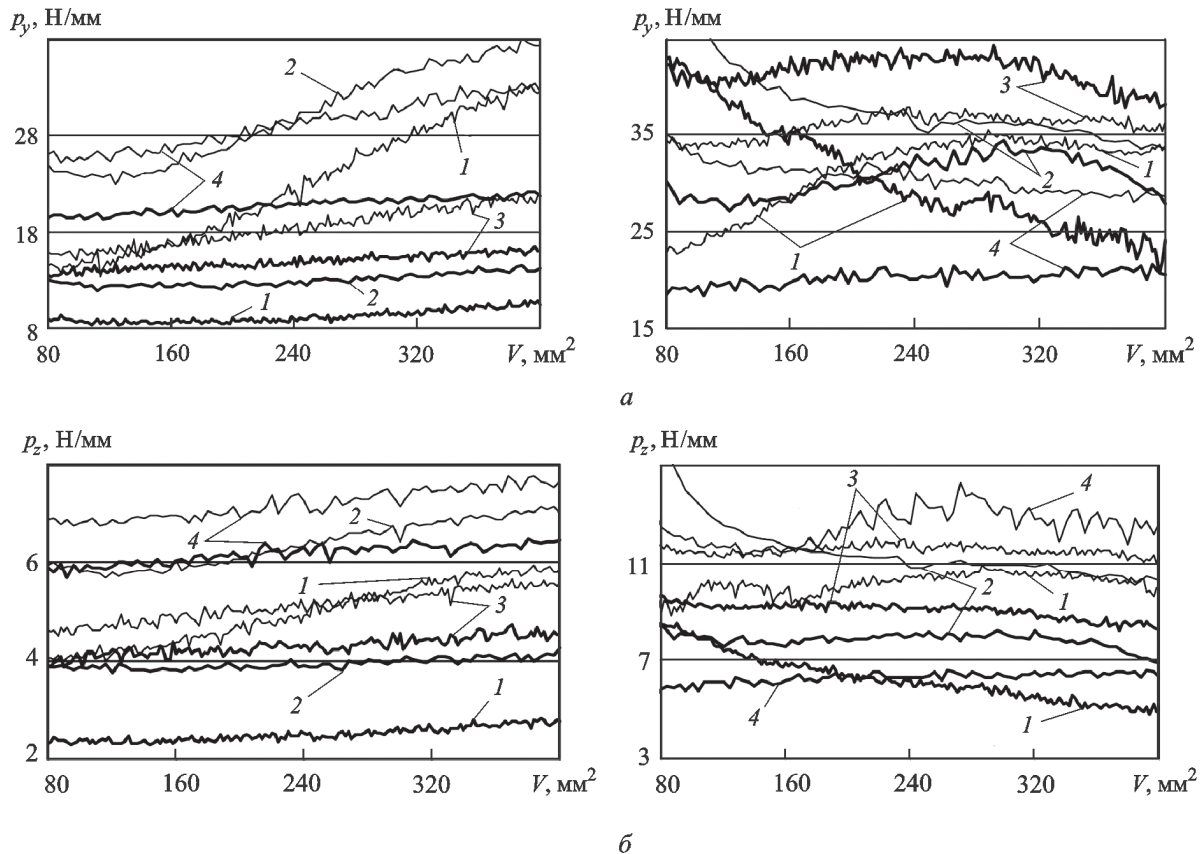


Рис. 1. Изменение составляющих силы резания p_y (а) и p_z (б) при шлифовании кругом зернистостью F46 (слева) и F60 (справа):

— — твердость L; — — твердость K; 1 — $v_s = 10$ м/мин, $t = 10$ мкм/ход; 2 — $v_s = 10$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход; 3 — $v_s = 20$ м/мин, $t = 10$ мкм/ход; 4 — $v_s = 20$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход

тить только режим $v_s = 10$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход, где шлифовочные прижоги появляются только на одном из трех образцов.

С уменьшением твердости круга вероятность образования шлифовочных прижогов заметно снижается. В данном случае они были обнаружены только при шлифовании на максимальных значениях скорости подачи стола и глубине ($v_s = 20$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход).

В результате сопоставления наличия шлифовочных прижогов на обработанной поверхности со значением касательной составляющей силы резания установлено, что прижоги появляются во всех случаях, когда значение p_z достигает 6 Н/мм. Если шлифование проводят кругом 24AF46L6V ($v_s = 10$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход), то прижоги возникают на поверхности одной заготовки из трех при $p_z = 6,4$ Н/мм. В случае использования круга 24AF60K6V ($v_s = 20$ м/мин, $t = 20$ мкм/ход) шлифовочные прижоги наблюдаются на двух из трех образцов при $p_z = 6,6$ Н/мм.

На основании полученных экспериментальных данных в качестве допустимого значения

приведенной касательной составляющей силы резания приняли $[p_z] \leq 6$ Н/мм.

Круги зернистостью F60 и твердостью L на всех режимах шлифования не удовлетворяют требованиям производства. Причиной этого является образование прижогов на обработанной поверхности или нестабильность процесса шлифования. При дальнейшей оптимизации режимов шлифования круги зернистостью F60 не рассматривали.

Приведенная наработка, определяющая производительность процесса шлифования, принята равной максимальному значению, т. е. 400 мм², поэтому в математических моделях выходных факторов $x_4 = 1$.

Для круга зернистостью F46 и твердостью K запишем следующие неравенства:

$$p_z = 6,21 + 0,82x_1 + 0,9x_2 + 0,82x_3 + 0,49x_4 - 0,54x_1x_3 + 0,23x_1x_4 \leq 6 \text{ Н/мм}; \quad (1)$$

$$Ra = 1,81 - 0,22x_1 + 0,46x_3 - 0,22x_1x_3 \leq 2,5 \text{ мкм}. \quad (2)$$

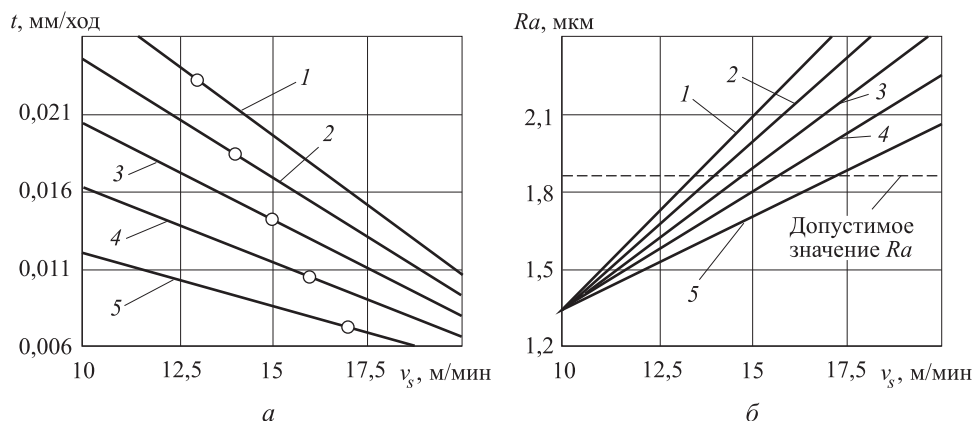


Рис. 2. Допустимые режимы, обеспечивающие бесприжоговое шлифование и требуемый параметр шероховатости поверхности Ra (зернистость круга — F46, твердость — К): 1 — $c = 4400$ м/с; 2 — $c = 4500$ м/с; 3 — $c = 4600$ м/с; 4 — $c = 4700$ м/с; 5 — $c = 4800$ м/с

Решив совместно систему неравенств (1), (2) с подстановкой в них допустимых значений силы и шероховатости для конкретной твердости и зернистости круга, получим допустимые значения режимов шлифования (рис. 2).

Твердость круга, измеряемая скоростью звука, разбита на четыре равных диапазона с границами, м/с: 1 — 4400; 2 — 4500; 3 — 4600; 4 — 4700; 5 — 4800.

Допустимые значения скорости подачи стола и глубины шлифования, обеспечивающие бесприжоговую обработку, лежат ниже линий 1–5, соответствующих твердости круга. На рис. 2, а ограничения по шероховатости выделены точками, допустимые режимы расположены с левой стороны от точек. Допустимое значение параметра шероховатости Ra (см. рис. 2, б) определено с учетом коэффициента запаса точности $\lambda = 0,75$: $[Ra] = 0,75 \cdot 2,5 = 1,88$.

С помощью математических моделей (см. таблицу) определяют области существования параметров оптимизации, обеспечивающих выполнение требований к качеству обработанной поверхности.

Окончательное выражение для определения целевой функции приведенной производительности Q через варьируемые параметры имеет вид

$$Q = v_s \cdot t \cdot 10^3, \text{ мм}^2/\text{мин.}$$

Как видно из рис. 3, область допустимых значений параметров процесса шлифования расположена ниже показанных кривых и левее точек.

Дальнейшую оптимизацию параметров в области допустимых значений проводили из

условия обеспечения максимальной производительности процесса. Приведенная производительность существенно зависит от твердости круга. Для граничных значений твердости K приведенная производительность Q отличается более чем в 2 раза, поэтому целесообразно использовать круги твердостью K нижней половины границы твердости.

Коэффициент шлифования возрастает с увеличением твердости (рис. 4) и для данного диапазона составляет около 45.

Шлифование кругами меньшей твердости не обеспечивает заданной шероховатости поверхности и существенно увеличивает износ инструмента, поэтому их нельзя использовать.

Конкретные режимы шлифования определяют с учетом твердости круга. Для круга 2, находящегося в середине диапазона рекомендуемой твердости, оптимальные режимы шлифования определим следующим образом.

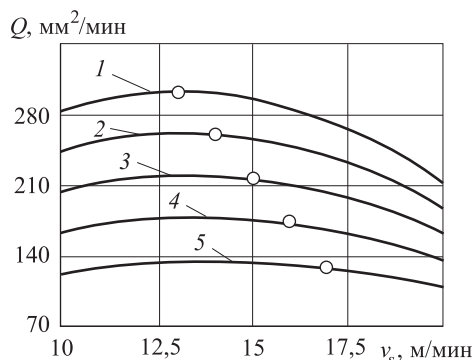


Рис. 3. Зависимость приведенной производительности от скорости подачи стола при шлифровании кругом зернистостью F46 и твердостью К: 1 — $c = 4400$ м/с; 2 — $c = 4500$ м/с; 3 — $c = 4600$ м/с; 4 — $c = 4700$ м/с; 5 — $c = 4800$ м/с

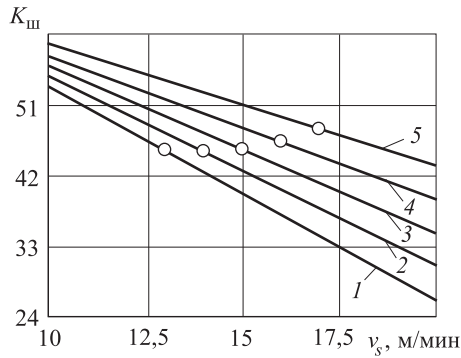


Рис. 4. Зависимость коэффициента шлифования от скорости подачи стола (зернистость круга — F46, твердость — K):
1 — $c = 4\ 400$ м/с; 2 — $c = 4\ 500$ м/с; 3 — $c = 4\ 600$ м/с;
4 — $c = 4\ 700$ м/с; 5 — $c = 4\ 800$ м/с

Математические модели выходных факторов при $x_1 = -1$, $x_4 = 1$ имеют вид

$$p_z = 5,65 + 0,9x_2 + 1,36x_3; \quad (3)$$

$$Ra = 2,03 + 0,68x_3. \quad (4)$$

При подстановке натуральных значений факторов в выражения (3) и (4) получим

$$p_z = 180t + 0,272v_s - 1,13;$$

$$Ra = 0,136v_s - 0,97.$$

Область допустимых значений параметров процесса шлифования определяется следующими ограничениями:

$$\begin{cases} 180t + 0,272v_s - 1,13 \leq 6; \\ 0,136v_s - 0,97 \leq 2,5; \\ 0,01 \leq t \leq 0,02; \\ 10 \leq v_s \leq 20. \end{cases}$$

Найдем максимальную производительность процесса Q_{\max} в области допустимых значений параметров (рис. 5).

На границе (см. рис. 5)

$$v_s = -662t + 26,2 \quad (5)$$

получим

$$Q(t) = 10^3(-662t^2 + 26,2t). \quad (6)$$

Приравняем к нулю производную функции (6) по t и найдем значение оптимальной глубины шлифования

$$Q'(t) = 0 \Rightarrow t_{\text{opt}} = \frac{26,2}{2 \cdot 662} = 0,02 \text{ мм/ход.}$$

Подставив t в выражение (5), получим оптимальное значение скорости подачи заготовки

$$v_{s\text{opt}} = v_s(0,02) = 13 \text{ м/мин.}$$

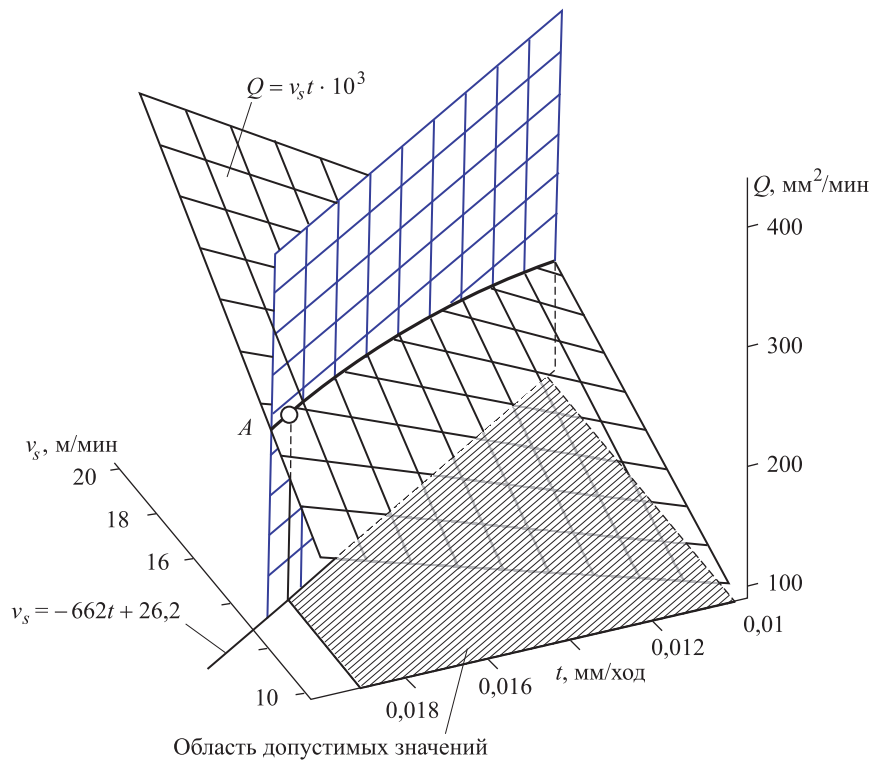


Рис. 5. Целевая функция приведенной производительности процесса $Q(v_s, t)$

Полученным оптимальным режимам соответствует точка А, отмеченная на рис. 5.

При шлифовании на оптимальных режимах максимальная приведенная производительность

$$Q_{\max} = 10^3 \cdot 13 \cdot 0,02 = 260 \text{ мм}^2/\text{мин.}$$

Выводы

1. Разработанная методика и математические модели позволяют определять оптимальные режимы плоского шлифования перифери-

ей круга заготовок из стали ШХ15. Оптимальные режимы обеспечивают получение заданных требований к качеству обработанной поверхности (параметр шероховатости поверхности R_a , отсутствие шлифовочных прижогов) при максимальной производительности процесса плоского шлифования.

2. Внедрение в производство полученных результатов позволяет повысить производительность процесса и уменьшить процент брака при плоском шлифовании заготовок из стали ШХ15.

Литература

- [1] Солер Я.И., Казимиров Д.Ю. Стратегия плоского шлифования деталей переменной жесткости. *Металлообработка*, 2006, № 1, с. 2–7.
- [2] Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Сулова А.Г., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2 т. Т. 1. Москва, Машиностроение, 2003. 944 с.
- [3] Коротков Б.И., Коротков С.Б., Тышкевич В.Н., Орлов С.В. *Исследование процессов шлифования внутренних и наружных конусов деталей класса колец*. Волгоград, ВолгГТУ, 2007. 133 с.
- [4] 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, iss. 3, pp. 157–160.
- [5] Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Светличная В.Б. Определение осевых перемещений при шлифовании торцов подшипниковых колец. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2010, № 2, с. 70–74.
- [6] Копецкий А.А., Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В. Влияние упругих деформаций на погрешность формы при закреплении и обработке колец подшипников. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2012, № 2/3, с. 103–107.
- [7] Носенко В.А., Орлов С.В., Крутикова А.А. Влияние режимов обработки и твердости круга на составляющие силы шлифования подшипниковой стали. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2011, № 4/3 (288), с. 94–99.
- [8] Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Машиностроение*, 2014, т. 14, № 4, с. 67–78.
- [9] Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Оптимальные условия шлифования торцевых поверхностей колец крупногабаритных подшипников. *Вестник машиностроения*, 2015, № 4, с. 60–66.
- [10] 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.

References

- [1] Soler Ia.I., Kazimirov D.Iu. Strategiiia ploskogo shlifovaniia detalei peremennoi zhestkosti [The strategy of the flat grinding to details of a variable rigidity]. *Metalloobrabotka* [Metalworking]. 2006, no. 1, pp. 2–7.

- [2] *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelia. V 2 t. T. 1* [Reference technologist-mechanical engineer]. Ed. Dal'skii A.M., Kosilova A.G., Meshcheriakov R.K., Suslova A.G. Moscow, Mashinostroenie publ., vol. 1, 2001. 944 p.
- [3] Korotkov B.I., Korotkov S.B., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. *Issledovanie protsessov shlifovaniia vnutrennikh i naruzhnykh konusov detalei klassa kolets* [The study of the processes of grinding the inner and outer cones of parts class rings]. Volgograd, Volgograd State Technical University publ., 2007. 133 p.
- [4] 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, iss. 3, pp. 157–160.
- [5] 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, no. 2, pp. 157–160.
- [6] Kopetskii A.A., Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. Vliianie uprugikh deformatsii na pogreshnost' formy pri zakreplenii i obrabotke kolets podshipnikov [Influence of elastic deformations on error of form at fixing and treatment of rings of bearings]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology]. 2012, no. 2/3, pp. 103–107.
- [7] Nosenko V.A., Orlov S.V., Krutikova A.A. Vliianie rezhimov obrabotki i tverdosti kruga na sostavliaiushchie sily shlifovaniia podshipnikovoi stali [Grinding modes and disk hardness influence upon constituents of grinding forces and bearing steel]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology]. 2011, no. 4/3 (288), pp. 94–99.
- [8] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Ploskoe shlifovanie tortsov kolets krupnogabaritnykh podshipnikov s trebuемым kachestvom poverkhnosti [Flat grinding of big bearing races end with the demanded quality of a surface]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie* [Bulletin of the SUSU, Series «Mechanical engineering industry»]. 2014, vol. 14, no. 4, pp. 67–78.
- [9] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Optimal'nye usloviia shlifovaniia tortsevykh poverkhnostei kolets krupnogabaritnykh podshipnikov [Determination of optimal grinding conditions of end surfaces of races of big bearings]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2015, no. 4, pp. 60–66.
- [10] Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. Obespechenie trebuемого kachestva tortsovykh poverkhnostei kolets podshipnikov shlifovaniem [Providing the required quality of end surfaces bearing rings grinding]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in mechanical engineering, instrument making], 2015, no. 3, pp. 31–35.

Статья поступила в редакцию 11.03.2016

Информация об авторах

НОСЕНКО Владимир Андреевич (Волжский) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: nosenko@volpi.ru).

ТЫШКЕВИЧ Владимир Николаевич (Волжский) — кандидат технических наук, доцент, зав. 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).

ОРЛОВ Сергей Васильевич (Волжский) — зав. лабораторией кафедры «Механика». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: mechanic@volpi.ru).

САРАЗОВ Александр Васильевич (Волжский) — старший преподаватель кафедры «Механика». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: mechanic@volpi.ru).

СУКОЧЕВА Екатерина Андреевна (Волжский) — старший лаборант кафедры «Механика». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: mechanic@volpi.ru).

Information about the authors

NOSENKO Vladimir Andreevich (Volzhsky) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Deputy Director for Teaching and Learning, Head of Department of Technology and Equipment of Machine Building Manufacturing. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: nosenko@volpi.ru).

TYSHKEVICH Vladimir Nikolaevich (Volzhsky) — 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).

ORLOV Sergey Vasilievich (Volzhsky) — Head of Laboratory, Department of Mechanics. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: mechanic@volpi.ru).

SARAZOV Aleksandr Vasilievich (Volzhsky) — Senior Lecturer, Department of Mechanics. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: mechanic@volpi.ru).

SUKOCHEVA Ekaterina Andreevna (Volzhsky) — Senior Assistant, Department of Mechanics. Volzhsky Polytechnic Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: mechanic@volpi.ru).