

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article\_5cb1e65b635e41.79569989

<sup>1,\*</sup>Хуртасенко В.А., <sup>1</sup>Шрубченко И.В.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: kament31@mail.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ МОБИЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

**Аннотация.** Восстановительная обработка крупногабаритных деталей вращающихся технологических агрегатов, к которым относятся бандажи и ролики обжиговых печей, в настоящее время выполняется с использованием встраиваемых станочных модулей. При этом периодическая обработка ведется в процессе работы агрегата без его остановки. Такая обработка требует особых технических и технологических подходов. Это связано не только с большими габаритами самих деталей, но и с непостоянством положения оси вращающейся детали, установленной на два опорных ролика и имеющей погрешность формы в поперечном сечении. Используемые технологии характеризуются недостаточной изученностью процесса формирования поверхности при механической обработке и произвольно задаваемыми режимами обработки. Актуальной задачей является разработка методик для поиска рациональных режимов, при которых будет обеспечиваться требуемая точность и производительность обработки. Особое место при этом занимают вопросы моделирования обработки для поиска оптимальных технологических режимов с учетом технических и физико-механических особенностей процесса. Разработка адекватных математических моделей при этом требует глубокого анализа функциональных особенностей оборудования и технологических особенностей процесса. Установлено, что для оптимизации режимов обработки необходимо ввести ряд ограничений, связанных с инструментом, приводом подачи, жесткостью технологической системы, качеством обработки. При этом в качестве целевой функции используется производительность обработки, а в качестве варьируемых параметров глубина и подача.

**Ключевые слова:** моделирование обработки, крупногабаритные детали, мобильное оборудование, технологические параметры, оптимизация.

**Введение.** В современной индустрии применяются вращающиеся технологические агрегаты, непрерывного производственного цикла. К таким агрегатам относятся вращающиеся печи. Они используются в цементной, металлургической, силикатной и химической, сахарной и пищевой промышленности, а также для утилизации отходов [1, 2]. В конструкциях вращающихся печей особое внимание уделяется прямолинейности оси вращения, настройка которой во многом зависит от точности формы деталей опор – бандажей и опорных роликов [3]. Так как в процессе эксплуатации вследствие высоких динамических и термических нагрузок происходит потеря точности формы как корпуса печи [4], так и поверхностей качения деталей опор, то возникает необходимость их периодической обработки с целью восстановления требуемой точности. В настоящее время для периодической обработки поверхностей качения в технологических агрегатах по производству строительных материалов, таких как сушильные барабаны,

вращающиеся печи и т.п., широко применяют технологии с использованием мобильного оборудования. Это позволяет восстановить их форму без остановки основного производственного процесса, что существенно влияет на технологичность процесса. При реализации известных схем обработки с использованием существующих образцов оборудования [5, 6, 7, 8, 9] глубина резания обеспечивается настройкой вылета режущего инструмента. Однако данный технологический параметр на различных участках обрабатываемой поверхности может существенно отличаться даже в процессе выполнения одного рабочего хода. В силу таких особенностей используемые технологические процессы, основанные на применении как лезвийной, так и абразивной обработки, не всегда позволяют обеспечивать требуемую точность поверхностей, особенно на поверхностях качения бандажей. Основной причиной здесь является недостаточная изученность процесса формирования поверхностей при обработке и произвольно зада-

ваемые режимы обработки. С учетом этого актуальной задачей является разработка методик поиска рациональных режимов, при которых будет обеспечиваться требуемая точность и производительность обработки. Наиболее применимым видом мобильного оборудования для лезвийной обработки поверхностей качения бандажей и опорных роликов, является универсальный встраиваемый станок УВС-01М [9],

разработанный на кафедре технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, элементы конструкции которого защищены патентами [5, 6].

Станок имеет опорные стойки, в которые установлена направляющая, несущая продольный и поперечный суппорта и оснащается приводом продольных подач (рис. 1).

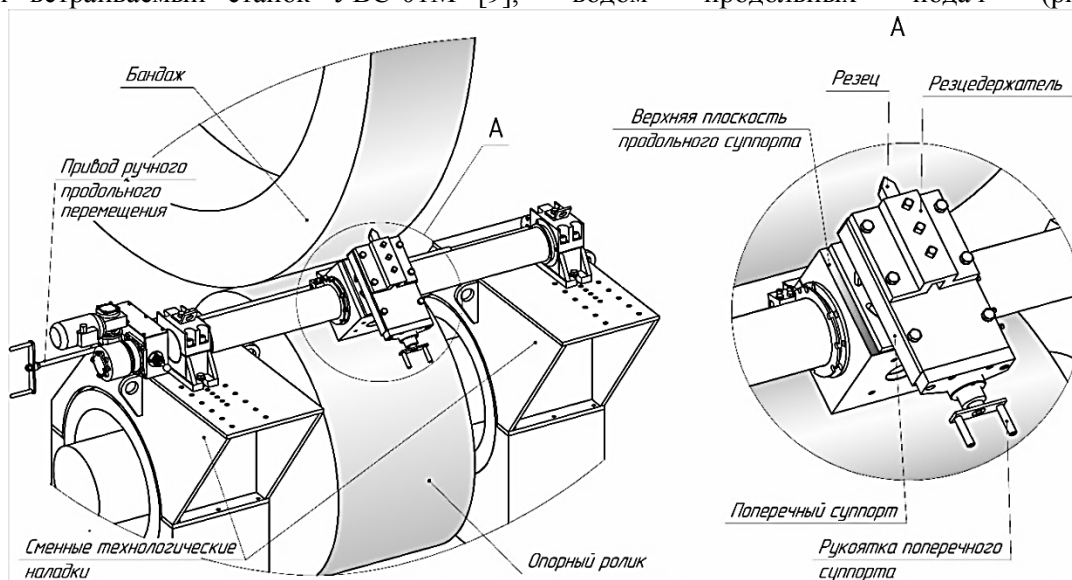


Рис. 1. Универсальный встраиваемый станок УВС-01М

Для установки станка на различные конструкции восстанавливаемых опор, применяют сменные технологические наладки, соответствующие конструктивным особенностям этих опор (рис. 2), и как бы встраивается в саму конструкцию опоры.

Наличие таких сменных технологических наладок позволяет обеспечить возможность применения станка модели УВС-01М на различных типоразмерах опор восстанавливаемых агрегатов, обеспечивая тем самым его универсальность.

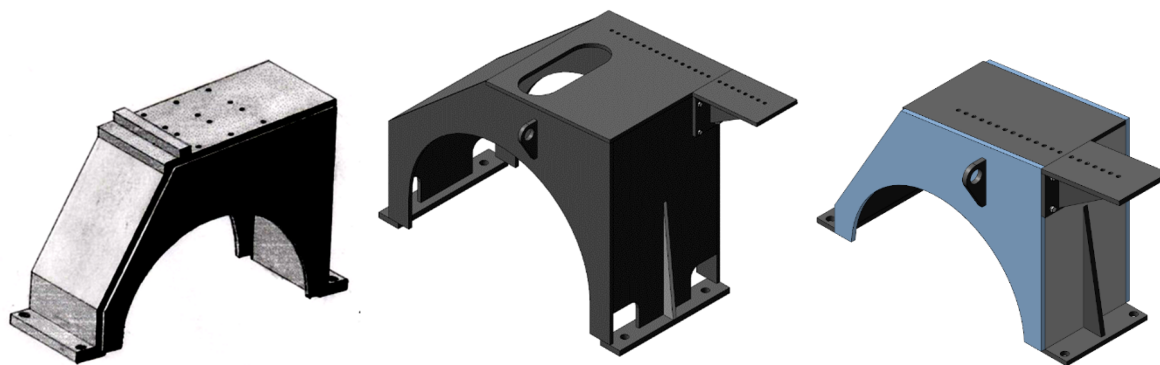


Рис. 2. Конструкции сменных технологических наладок для установки станка на корпуса подшипников

**Основная часть.** Использование такого технологического подхода с использованием мобильных станочных модулей и специальной технологической оснастки позволяет выполнить восстановительную обработку бандажей и роликом практически всех типоразмеров существующих опор. Однако, следует отметить, что различные технологические агрегаты имея широкий спектр типоразмеров, могут осуществлять еще и вращение с различной частотой. Так как

основным движением для условий обработки поверхностей качения будет являться вращение самого агрегата, то очевидно, и линейная скорость на различных типоразмерах агрегатов окажется различной. Например, для ряда типоразмеров вращающихся печей, линейная скорость вращения, а, следовательно, и скорость резания, будет иметь следующие значения:  $V = 11,62; 12,25; 13,53; 15,23; 17,17; 19,15; 21,35; 26,53$  м/мин. Процесс обработки поверхностей, с

учетом их размеров и небольших скоростей, требует значительных затрат времени. Поэтому в качестве целевой функции следует выбрать производительность обработки. А в качестве варьируемых параметров: глубину резания и подачу. Для условий оптимизации режимов обработки поверхностей качества следует ввести ряд технических ограничений: по стойкости режущего инструмента; по допустимой силе резания, определяемой тяговой силой привода подачи; по минимальной и максимальной величине продольной подачи по характеристике привода подачи; по минимальной и максимальной величине снимаемого за рабочий ход припуска, определяемого условиями формообразования для бесцентровой схемы обработки бандажа; по минимальной и максимальной величине снимаемого за один рабочий ход припуска, определяющего точность обрабатываемой поверхности в продольном сечении; по допустимой прочности режущего инструмента; по жесткости режущего инструмента; по прочности механизма подачи; по допустимой шероховатости обрабатываемой поверхности. Далее приведены обоснования и расчетные зависимости для рассматриваемых ограничений.

**Ограничение по требуемой стойкости инструмента.** Связь варьируемых параметров с периодом стойкости инструмента, можно получить из следующей зависимости [10]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v}} \cdot k_v, \quad (1)$$

где  $C_v = 340$ ,  $K_v = 0,83$ ,  $x_v = 0,15$ ,  $y_v = 0,45$ ,  $m = 0,2$  – табличные значения для условий наружного продольного точения инструментом, оснащаемым твердосплавной пластиной;  $T$  – требуемый период стойкости инструмента, мин.

Табличное значение периода стойкости, при скорости резания – 150 м/мин, для токарных резцов составляет 60 мин. При таких условиях, путь резания составит – 9000 м. Для условий обработки бандажей и роликов мобильным оборудованием, при скорости резания – 20 м/мин, чтобы резец прошел путь резания – 9000 м, потребуется 450 мин. С учетом преобразований, получаем техническое ограничение в виде:

$$t^{x_v} \cdot s^{y_v} \leq \frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot V} \quad (2)$$

Логарифмируя это выражение получим:

$$x_v \cdot \ln(t) + y_v \cdot \ln(s) \leq \ln\left(\frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot V}\right) \quad (3)$$

И, приняв  $\ln(t) = x_1$ ,  $\ln(s) = x_2$ ,  $\ln\left(\frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot V}\right) = b_1$ , получаем техническое ограничение, приведенное к линейному виду:

$$x_v \cdot x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_1 \quad (4)$$

**Ограничение по допустимой силе резания,** определяемой тяговой силой привода подачи. Для установления связи допустимой тяговой силы с варьируемыми параметрами, воспользуемся следующей зависимостью [10]:

$$P_x = 10 \cdot C_x \cdot t^{x_x} \cdot s^{y_x} \cdot V^{n_x} \cdot k_p, \quad (5)$$

где  $C_x = 339$ ,  $k_p = 0,74$ ,  $x_x = 1$ ,  $y_x = 0,5$ ,  $n_x = -0,4$  – табличные значения коэффициентов, для условий обработки поверхностей качества.

После преобразований и логарифмирования, получаем:

$$x_x \cdot \ln(t) + y_x \cdot \ln(s) \leq \ln\left(\frac{P_x}{10 \cdot C_x \cdot V^{n_x} \cdot k_p}\right) \quad (6)$$

Производя соответствующие замены, получаем:

$$x_x \cdot x_1 + y_x \cdot x_2 \leq b_2 \quad (7)$$

**Ограничение по минимальной и максимальной величине продольной подачи** зависящее от характеристик привода подачи. Это ограничение будет определяться характеристиками самого привода продольных подач, т.е.

$$x_2 \leq b_3, \quad x_2 \geq b_4 \quad (8)$$

**Ограничение по минимальной и максимальной величине припуска,** снимаемого за рабочий ход, определяемого условиями формообразования для бесцентровой схемы обработки бандажа. Для условий бесцентровой обработки поверхностей качества бандажей, глубина резания будет оказывать существенное влияние на процесс формообразования [11]. При неправильном задании величины снимаемого припуска, возможно даже дальнейшее искажения профиля, а не его исправление. Поэтому на каждый рабочий ход должна задаваться требуемая величина снимаемого припуска, которую мы можем получить по результатам предварительного моделирования процесса формообразования. Такое ограничение по минимальной и максимальной величине припуска, мы можем задать так же в виде двух неравенств:

$$x_1 \leq b_5, \quad x_1 \geq b_6 \quad (9)$$

**Ограничение по максимально допустимой величине припуска,** снимаемого за один рабочий ход, определяющего точность обрабатываемой поверхности в продольном сечении будет также зависеть от величины отжаты в технологической системе. Для условий технологической системы с применением мобильного оборудования, максимальное влияние на величину отжаты, будет оказывать жесткость элементов самого применяемого станка. Таким образом, для определения максимальной и минимальной глу-

бины резания и подачи, которые обеспечат точность формы в продольном сечении, в пределах допусков, мы можем применить предварительное моделирование напряженно деформированного состояния элементов технологической системы с применением метода конечных элементов в САЕ приложениях [12].

**Ограничение по минимально и максимально допустимой величине подачи**, определяемой характеристиками привода продольных подач станка УВС-01. Данное ограничение также можно представить в виде двух неравенств:

$$x_2 \leq b_7, \quad x_2 \leq b_8 \quad (10)$$

**Ограничение по прочности режущего инструмента**. Это ограничение мы можем получить из зависимости по определению предела прочности материала державки резца, на изгиб:

$$\sigma_u \geq \frac{M_{изг.} \cdot k_{з.н.}}{W}, \quad (11)$$

где  $M_{изг.}$  – величина изгибающего момента при вылете резца –  $l_{в.р.} = 150$  мм,  $M_{изг.} = P_z \cdot l_{в.р.}$ ;  $k_{з.н.} = 2,4$  – коэффициент запаса прочности;  $W$  – момент сопротивления державки резца, мм<sup>3</sup> (для прямоугольного сечения державки резца, шириной  $B_0 = 25$  мм и высотой  $H_0 = 40$  мм,  $W = \frac{B_0 \cdot H_0^2}{6}$ ). После соответствующих подстановок и преобразований, получаем:

$$t^{x_z} \cdot s^{y_z} \leq \frac{240 \cdot B_0 \cdot H_0^2}{60 \cdot C_z \cdot V^{n_z} \cdot k_z \cdot l_{в.р.} \cdot k_{з.н.}} \quad (12)$$

Логарифмируя и производя соответствующие замены, получаем следующее техническое ограничение:

$$x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_9 \quad (13)$$

**Ограничение по жесткости инструмента**. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между глубиной резания, подачей и жесткостью режущего инструмента. Максимальная нагрузка, допускаемая жесткостью резца, может быть определена по известной зависимости [13]:

$$P_{ж.дон.} = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot I_M}{l_{в.р.}^3}, \quad (13)$$

где  $f = 0,1$  мм – допустимая стрела прогиба для черного точения, мм;  $E = (2 \dots 2,5) \cdot 10^5$  МПа;  $I$  – момент инерции сечения державки резца, мм<sup>4</sup> (для прямоугольного сечения державки шириной  $B_0 = 25$  мм и высотой  $H_0 = 40$  мм  $I = \frac{B_0 \cdot H_0^3}{12}$ ).

Из условия соотношения окружной составляющей  $P_z$  и максимальной нагрузки, допускаемой жесткостью резца, имеем:

$$P_z \leq P_{ж.дон.}, \quad (14)$$

$$t^{x_z} \cdot s^{y_z} \leq \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot B_0 \cdot H_0^3}{120 \cdot C_z \cdot V^{n_z} \cdot k_z \cdot l_{в.р.}^3}, \quad (15)$$

$$x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_{10} \quad (16)$$

**Ограничение по допустимой шероховатости поверхности**. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между варьируемыми параметрами и шероховатостью поверхности [10]. Ожидаемую шероховатость поверхности мы можем вычислить по следующей зависимости:

$$Ra = \frac{0,85 \cdot t^{0,31} \cdot s^{0,58} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}}{V^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}, \quad (17)$$

где  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 45^\circ$ ,  $r = 2$  мм – параметры геометрии режущей части инструмента;  $HB = 145$  – твердость обрабатываемой поверхности.

После соответствующих преобразований выражения, с учетом обеспечения требуемого параметра шероховатости, получаем:

$$t^{0,31} \cdot s^{0,58} = \frac{Ra \cdot V^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}{0,85 \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}} \quad (18)$$

После соответствующей замены, получим:

$$0,31 \cdot x_1 + 0,58 \cdot x_2 \leq b_{11} \quad (19)$$

Представление полученных ограничений в виде системы неравенств, в совокупности с оценочной функцией, дает математическую модель процесса лезвийной обработки бандажей и роликов вращающихся печей.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_v \cdot x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_1 \\ x_x \cdot x_1 + y_x \cdot x_2 \leq b_2 \\ x_2 \leq b_3 \\ x_2 \geq b_4 \\ x_2 \geq b_5 \\ x_2 \geq b_6 \\ x_2 \geq b_7 \\ x_2 \geq b_8 \\ x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_9 \\ x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_{10} \\ k_4 \cdot x_1 + k_3 \cdot x_2 \leq b_{11} \\ f_o = (x_1 + x_2)_{\max} \end{array} \right. \quad (20)$$

Задача определения оптимальных параметров технологической системы сводится к отысканию среди всех возможных неотрицательных значений  $x_1$  и  $x_2$  системы таких значений

$x_{1onm}$  и  $x_{2onm}$ , при которых линейная функция принимает максимальное значение ( $f_{0max}$ ). После определения координат  $x_{1onm}$  и  $x_{2onm}$  можно вычислить и оптимальные значения варьируемых параметров:

$$t_{onm} = e^{x_{1onm}}, \quad (21)$$

$$s_{onm} = e^{x_{2onm}} \quad (22)$$

**Выводы:** Полученная модель, позволяет определять оптимальные значения технологических параметров для условий бесцентровой лезвийной обработки крупногабаритных деталей, базирующихся на два опорных ролика непосредственно на работающих агрегатах, на основе применения встраиваемых станочных модулей. Используемые в модели зависимости учитывают основные значимые факторы, которые будут оказывать наиболее существенное влияние на качество поверхности для рассматриваемых условий обработки. Применение такой модели возможно, как на этапе проектирования элементов обрабатывающего оборудования и технологической оснастки, так и на этапе реализации восстановительной обработки для настройки технологических параметров оборудования и управления технологическими режимами при многопроходной обработке. Принципиальный подход к построению модели позволяет адаптировать её также для условий других видов обработки резанием, например, для шлифования, применяемого на чистовых операциях восстановительной обработки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review // International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
2. Boateng A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015, 390 p.
3. Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignmen // Procedia Engineering. Vol. 206. 2017. Pp. 1709–1715.
4. Ramanenka D., Stjernberg J., Jonsén P.. FEM investigation of global mechanisms affecting

brick lining stability in a rotary kiln in cold state // Engineering Failure Analysis. 2016. Vol. 59. Pp. 554–569.

5. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю. Станок для обработки бандажей. Пат. № 125499, Российская Федерация, опубл. 10.03.2013.
6. Санин С.Н., Бондаренко В.Н., Погонин А.А. Следящий суппорт. Пат. № 58420, Российская Федерация, МПК В23Q1/76 (2006.01). опубл. 27.11.2006.
7. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю., Черняев А.С. Станок для обработки бандажей и роликов. Пат. № 118235, Российская Федерация, МПК В23В 5/00 (2006.01), опубл. 20.07.2012.
8. Санин С.Н., Оникиенко Д.А. Разработка концепции мобильного стенда для механической обработки бандажей вращающихся печей с базированием по торцовой поверхности и отверстию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 104–109.
9. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 / Федеральный каталог высокотехнологичного оборудования и объектов научного потенциала России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://каталог-нп.рф/project/281>.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. 912 с.
11. Тимофеев С.П., Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. Расчет глубины резания при обработке поверхностей крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 68–74.
12. Гончаров М.С., Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Щетинин Н.А. Моделирование технологической системы мобильного оборудования // Научные чтения (XXI Научные чтения): Междунар. науч.-практ. конф., (Белгород, 9–10 октября 2014 г.) Изд-во БГТУ, 2014, Ч.4. С. 223–228
13. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560 с.

### Информация об авторах

**Шрубченко Иван Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: ivshrub@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Хуртасенко Владислав Андреевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: kament31@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в феврале 2019 г.

© Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В., 2019

<sup>1,\*</sup>*Khurtasenko V.A., <sup>1</sup>Shrubchenko I.V.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.*  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

\*E-mail: kament31@mail.ru

## MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF PROCESSING PARAMETERS OF ROLLING SURFACE OF TECHNOLOGICAL UNITS BY MOBILE EQUIPMENT

**Abstract.** Restorative processing of large-sized parts of rotating technological units, which include bandages and kiln rollers, is currently performed using embedded machine modules. At the same time, periodic processing is carried out during the operation of the unit without stopping. This processing requires special technical and technological approaches. This is due to the large dimensions of the parts and the inconstancy of the position of the axis of the rotating part, installed on two support rollers and having an error in shape in cross section. The technologies used are characterized by insufficient study of surface formation process during machining and arbitrarily set processing modes. An urgent task is to develop methods for finding rational modes in which the required accuracy and processing performance will be provided. A special place is occupied by the issues of processing modeling to find the optimal technological modes, taking into account the technical and physico-mechanical features of the process. The development of adequate mathematical models requires a deep analysis of the functional features of the equipment and technological features of the process. It is established that for optimization of processing modes it is necessary to enter a number of restrictions related to the tool, the driving feed, the rigidity of technological system, the quality of processing. In this case, the processing capacity is used as the target function; the depth and feed are used as varied parameters.

**Keywords:** processing modeling, large-sized parts, mobile equipment, technological parameters, optimization.

### REFERENCES

- Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. *International Journal of Engineering Innovation & Research*. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
- Boateng A.A. *Rotary Kilns*. Elsevier Inc. Publ., 2015, 390 p.
- Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignment. *Procedia Engineering*. Vol. 206. 2017. Pp. 1709–1715.
- Ramanenka D., Stjernberg J., Jonsén P. FEM investigation of global mechanisms affecting brick lining stability in a rotary kiln in cold state. *Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 59. Pp. 554–569.
- Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.U. The machine for processing of bandages. Patent RF, № 125499, 2013. (rus)
- Sanin S.N., Bondarenko V.N., Pogonin A.A. The watching support. Patent RF, № 58420, 2006. (rus)
- Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.U., Chernyaev A.S. The machine for processing of bandages and rollers. Patent RF, № 118235, 2012. (rus)
- Sanin S.N., Onikienko D.A. Development of the concept of a mobile stand for the mechanical processing of rotary kiln bands with basing on the end surface and the hole [*Razrabotka koncepcii mobil'nogo stenda dlya mekhanicheskoy obrabotki bandazhej vrashchayushchih-sya pechej s bazirovaniem po torcовой poverhnosti i otverstiyu*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 104–109. (rus)
- Universal Embedded Machine UEM-01 / Federal catalog of high-tech equipment and objects of scientific potential of Russia [*Universal'nyj vstraivaemyj stanok UVS-01 / Federal'nyj katalog vysokotekhnologichnogo oborudovaniya i ob'ektov nauchnogo potentsiala Rossii*]. Access mode: URL: <https://каталог-нп.рф/project/281>. (rus)
- Reference technologist-mechanical engineer [*Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya*]. T. 1. Ed. A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, A.G. Suslov. Moscow: Mashinostroenie-1 Publ., 2001, 912 p. (rus)
- Timofeev S.P., Khurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Calculation of the depth of cut when machining surfaces of large parts with non-stationary axis of rotation [*Raschet glubiny rezaniya pri obrabotke poverhnostej krupnogabaritnyh detalej s nestacionarnoj os'yu vrashcheniya*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 2. Pp. 68–74. (rus)
- Goncharov M.S., Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Schetin N.A. Simulation of the technological system of mobile equipment [*Modelirovanie tekhnologicheskoy sistemy mobil'nogo oborudovaniya*]. *Naukoemkie tekhnologii innovacii*

(XXI Nauchnye chteniya): Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (Belgorod, 9–10 oktyabrya 2014 g.) Pp. 223–228. (rus)

13. Reference Tool Designer. Ed. V.I. Baranchikov [*Spravochnik konstruktora-instrumental'shchika*]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1994, 560 p. (rus)

*Information about the authors*

**Shrubchenko, Ivan V.** DSc, Professor. E-mail: ivshrub@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Khurtasenko, Vladislav A.** Postgraduate student. E-mail: kament31@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in February 2019*

**Для цитирования:**

Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. Математическая модель для оптимизации параметров обработки поверхностей качения технологических агрегатов мобильным оборудованием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 144–150. DOI: 10.34031/article\_5cb1e65b635e41.79569989

**For citation:**

Khurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Mathematical model for optimization of processing parameters of rolling surface of technological units by mobile equipment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 144–150. DOI: 10.34031/article\_5cb1e65b635e41.79569989