

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-102-111

**Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Воронкова М.Н.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: ivshrub@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ БАНДАЖЕЙ НА СПЕЦИАЛЬНОМ СТЕНДЕ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы механической обработки поверхностей составных бандажей, после их сварки непосредственно на месте сборки и последующей эксплуатации, с применением мобильных технологий. Приведена конструкция устройства, включающая элементы конструкции опоры вращающейся печи, с двумя опорными роликами, привод вращения и специальный переносной станок. Установлены отличительные особенности для данной схемы механической обработки. Для обеспечения возможности осуществления процесса резания, привод вращения бандажа предложено осуществлять при помощи силы трения, от одного из опорных роликов, используя двигатель постоянного тока с бесступенчатым регулированием скорости вращения и понижающим редуктором. Предложена методика поиска рациональных режимов работы установки с использованием линейного программирования. Определены необходимые технические ограничения на режим работы установки, включающие: мощность привода вращения, тангенциальную и осевую составляющие силы резания. Установлены факторы, позволяющие варьировать процесс обработки: скорость вращения бандажа и размер снимаемого за один рабочий ход припуска. Выбраны зависимости, позволяющие установить связь варьируемых параметров с вводимыми техническими ограничениями. На их основе получена система линейных уравнений, при решении которой можно получить область значений технологических режимов, позволяющих осуществлять процесс механической обработки поверхностей бандажей на предложенной установке. Для бандажа с диаметром 6100 мм, получены рациональные технологические режимы, позволяющие осуществлять процесс восстановительной обработки поверхностей бандажей после их сварки, непосредственно на месте их последующей эксплуатации.

Ключевые слова: бандаж вращающейся печи, восстановительная обработка

Введение. В различных отраслях промышленности, таких как: металлургическая, химическая, строительных материалов и др. применяют достаточно крупные агрегаты, которые представляют собой вращающиеся технологические барабаны. Это печи для обжига цементного клинкера и извести, для сушки различных видов сырья и т.п. [1–6]. Такая установка обычно содержит стальной корпус, футеруемый изнутри огнеупорным материалом, который имеет от двух и более опор качения, содержащих бандажи, каждый из которых опирается на два опорных ролика. Диапазон типоразмеров таких агрегатов достаточно широк и может достигать 230 м. в длину и до 7 м в диаметре. Такие технологические машины работают обычно по непрерывному циклу и не допускают даже кратковременных остановов в работе. Состояние опор технологических барабанов и особенно их поверхностей качения, во многом определяют нормальную работоспособность всего агрегата. Поэтому поддержанию точности формы поверхностей качения опор уделяют особое внимание [6–9]. Отечественной промышленностью выпускаются несколько типов бандажей [10, 11]. Это бандажи плавающего типа, которые устанавливают на корпус печи с зазором, и в процессе работы они могут осуществлять относительно корпуса определенные перемещения.

Бандажи вварного типа, жестко соединяют с корпусом печи, при помощи сварки. На рис. 1 представлены конструкция и размеры бандажей типа П, исполнение – 1, которые изготавливают в соответствии с ОСТ 22-170-87, а их основные параметры в таблице 1. В соответствии с данным отраслевым стандартом, к бандажам предъявляют ряд требований, как по точности размеров, так и формы, и взаимного расположения поверхностей:

- размеры поверхностей выполняют с полем допуска по $H12$;
- диаметральный размер посадочной поверхности – по $H8$.
- поверхности качения должны иметь шероховатость – $(6,3 \dots 12,5) Ra$;
- превышение сварного шва над поверхностью качения – в пределах 1 мм;
- точность взаимного расположения поверхности качения и посадочного отверстия – в пределах допусков на размеры этих поверхностей;
- погрешность формы поверхности качения: при диаметре до 4000 мм – в пределах 2 мм; при диаметре более 4000 мм до 5500 мм – в пределах 2,5 мм;
- при диаметре более 5500 мм до 6100 мм – в пределах 3 мм;
- при диаметре более 6100 мм – в пределах 3,5 мм.

Следует отметить, что при изготовлении бандажей на предприятии-изготовителе, такие параметры точности обеспечить не представляет никакого труда. Вместе с тем, детали, имеющие

диаметральные размеры более 4500 мм, транспортировать к месту окончательной сборки и последующей эксплуатации, оказывается невозможно.

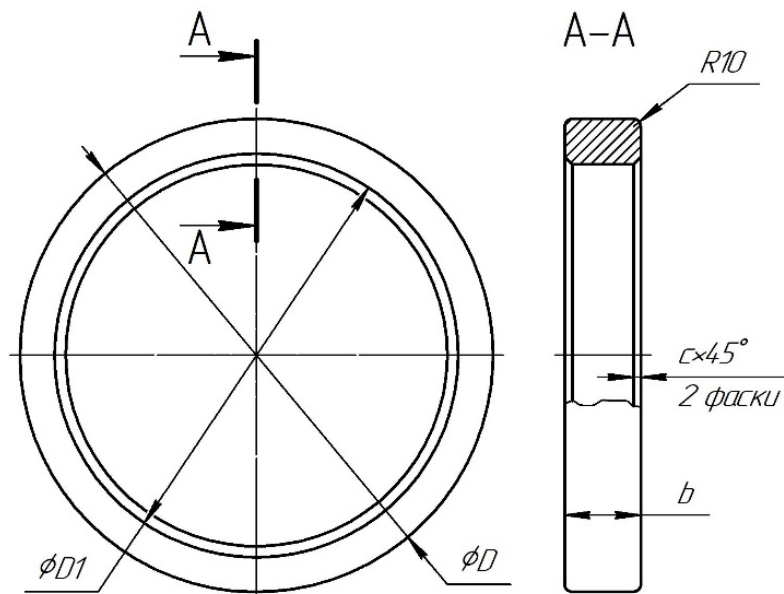


Рис. 1. Типоразмера бандажей плавающего типа, исполнение – 1 по ОСТ 22-170-87

Таблица 1

Параметры бандажей плавающего типа (тип «П»), исполнение 1

№	Диаметр корпуса печи	D	D1	b	c	Масса, кг (не более)
	2500	3100	2644	500	5	8100
	3000	3700	3144	550	5	12900
	3300	3900	3452	550	5	11120
	3600	4300	3764	700	5	18200
	3600	4310	3764	600	5	16300
	4000	4850	4184	800	5	29700
	4500	5470	4760	900	5	40400
	5000	6100	5300	1000	10	56200
	5000	6250	5360	1100	10	70700
	5600	6800	5960	1000	10	66300
	5600	6800	5960	1200	10	79600
	6400	7750	6800	1200	10	102800
	7000	8450	7450	1350	10	132400

Поэтому, бандажи, вращающихся печей, с диаметром более 4500 мм, на предприятии изготовителе по завершению изготовления, разрезают на два полукольца (рис. 2). Это позволяет обеспечить их транспортировку к месту их последующей сборки и эксплуатации.

Для последующего монтажа бандажа, оба его полукольца непосредственно на месте последующей эксплуатации соединяют сваркой (рис. 3). Для этого на специальной площадке с бетонированным основанием, размещают регулируемые опоры, на которые устанавливают полукольца бандажа для последующего их соединения. Выполняют регулирование их взаимного

расположения, далее предварительный нагрев зоны будущего сварного шва и затем уже сварку. Такой процесс сборки обычно выполняют специализированные предприятия, но применяемые при этом оборудование и технологии, не позволяют получить требуемой точности. Следует так же отметить, что для измерения формы таких крупногабаритных поверхностей, так же отсутствуют и надлежащие средства контроля. Возможные погрешности формы, образующиеся при такой сборке, обычно устраняют ручными шлифовальными машинами.



Рис. 2. Часть бандажа, подготовленная к транспортированию [Щетинин Н. А. Процесс и оборудование для реконструкции бандажей вращающихся печей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.13; [Место защиты: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова]. Белгород, 2014. 204 с.]



Рис. 3. Сборка полуколец бандажа [Щетинин Н. А. Процесс и оборудование для реконструкции бандажей вращающихся печей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.13; [Место защиты: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. 204 с.]

После сварки бандажа, погрешность его посадочной поверхности и поверхности качения, существенно превышает допуска, предусмотренные ОСТ 22 -170 -87. Очевидно, что последующая эксплуатация бандажа с такой погрешностью поверхностей, будет приводить к возрастанию циклической нагрузки на опору печи и ее корпус, а также колебанию нагрузки на приводе. Обычно в зоне таких опор наблюдается частый выход из строя футеровки печи, что приводит к внеплановым остановам в ее работе. Для восстановления требуемой точности поверхностей,

предложена схема обработки, имитирующая опору вращающейся печи, включающую раму, с двумя опорными роликами и оснащаемую переносным станком [12] (рис. 4).

Для снижения затрат на монтаж такой установки, применена типовая рама опоры вращающейся печи, с опорными роликами, один из которых имеет привод вращения цепной передачей от понижающего редуктора и двигателя постоянного тока. Конструкция оснащается системой предохранительных роликов, ограничивающих

возможные осевые смещения бандажа. Для осуществления процесса съема припуска, применена конструкция специального переносного станка (рис. 5). В качестве основного базирующего элемента, использован силовой стол, который достаточно часто применяют в различных агрегатных станках. Этот стол имеет привод рабочих и ускоренных продольных перемещений. Возможность изменения величины рабочей подачи обеспечивается за счет сменных зубчатых

колес, которые устанавливают в коробке скоростей. На верхней плоскости платформы стола, установлена вертикальная стойка, несущая поперечный суппорт. Конструкция поперечного суппорта, оснащена подключаемым приводом механической подачи. Для обеспечения повышенной жесткости резцедержатель выполнен не поворотным, но с тремя позициями для возможной установки обрабатываемого инструмента.



Рис. 4. Установка для исправления формы поверхностей бандажа [Щетинин Н. А. Процесс и оборудование для реконструкции бандажей вращающихся печей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.13; [Место защиты: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. 204 с.]

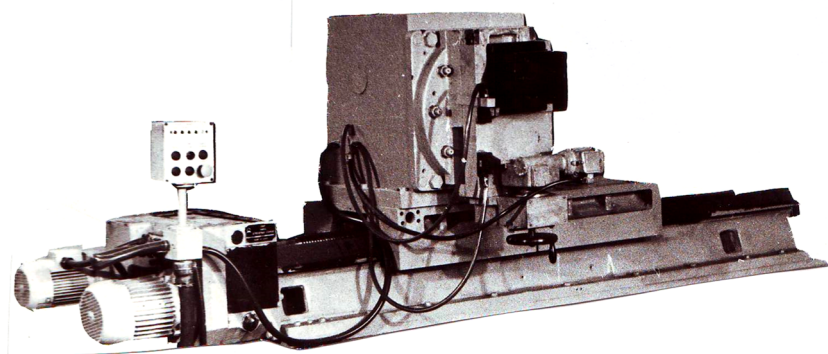


Рис. 5. Специальный переносной станок [Щетинин Н. А. Процесс и оборудование для реконструкции бандажей вращающихся печей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.13; [Место защиты: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2014. 204 с.]

Следует отметить, что такая схема обработки бандажа имеет бесцентровую схему [13] и для нее есть ряд существенных отличий по сравнению с мобильной технологией обработки непосредственно на работающей печи [14, 15, 16]. Эти отличия заключаются в следующем:

- вращение бандажу передается за счет

силы трения, между поверхностями качения бандажа и приводного опорного ролика;

- изменения скорости вращения бандажа выполняется бесступенчато, в расширенном диапазоне 0...2,14 об/мин.;

- масса обрабатываемого изделия, базирующегося на опорные ролики существенно меньше, что окажет влияние на величину силы

трения.

Материалы и методы. Для обеспечения требуемых технологических условий обработки таких деталей как бандажи вращающихся печей, в частности при разработке новых технологических способов или совершенствования существующих возникает необходимость применения математического моделирования [17, 18, 19].

Следует отметить, что стабильное вращение обрабатываемого бандажа будет возможно, если сила трения в паре бандаж-приводной ролик, будет превышать тангенциальную составляющую силы резания. Если такое условие не будет обеспечено, то возможна внезапная остановка обрабатываемого бандажа. А это в свою очередь выведет из строя обрабатывающий инструмент.

Чтобы исключить такую возможность, необходимо оптимизировать режимы работы стандового устройства. Для этих условий удобно применить метод линейного программирования [18]. Чтобы обеспечить стабильность вращения обрабатываемого бандажа, необходимо выполнения ряда условий:

- мощность привода вращения должна превышать мощность резания;
- тангенциальная сила трения в паре бандаж-приводной ролик должна превышать тангенциальную составляющую силы резания P_z ;
- осевая сила трения в паре бандаж-опорные ролики должна превышать осевую составляющую силы резания P_x .

Основная часть. Известно, что на величину силы резания оказывают влияние такие факторы как: скорость резания, подача, глубина резания [19, 20], а также геометрия обрабатываемого инструмента. Следует отметить, что геометрические параметры обрабатываемого инструмента, а также величина подачи, будут оказывать влияние и на шероховатость обрабатываемой поверхности. Поэтому их варьирование не приемлемо для заданных условий обработки. Таким образом, допустимыми для варьирования оказываются скорость вращения обрабатываемого изделия и величина снимаемого припуска.

Ищем зависимости, которые содержат связь вышеприведенных технических ограничений и установленных параметров процесса для варьирования:

- Вращение обрабатываемого бандажа будет возможно, если мощность привода вращения будет больше мощности резания, т.е.:

$$N_{рез} < N_{привода} \quad (1)$$

Мощность резания можно определить по известной зависимости:

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V \cdot K}{1020 \cdot 60}, \quad (2)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, определяемая как:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^{x_z} \cdot s^{y_z} \cdot V^{n_z} \cdot k_p \quad (3)$$

Скорость резания, она же скорость вращения бандажа:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (4)$$

где C_p , k_p , x_z , y_z , n_z – постоянная, коэффициенты и показатели степеней, зависящие от условий обработки; V – скорость вращения; K – коэффициент запаса; N – частота вращения.

Таким образом, получаем следующее техническое ограничение, преобразованное к линейному виду:

$$x_z \cdot \ln(t) + (n_z + 1) \cdot \ln(n) < \ln\left(\frac{N_{привода} \cdot 1000^{n_z+1} \cdot 1020 \cdot 60}{10 \cdot C_p \cdot s^{y_z} \cdot k_p \cdot (\pi \cdot D)^{n_z+1} \cdot K}\right) \quad (5)$$

Принимаем: $\ln(t) = x_1$; $\ln(n) = x_2$;

$$\ln\left(\frac{N_{привода} \cdot 1000^{n_z+1} \cdot 1020 \cdot 60}{10 \cdot C_p \cdot s^{y_z} \cdot k_p \cdot (\pi \cdot D)^{n_z+1} \cdot K}\right) = b_1. \text{ В результате}$$

замены ограничение по допустимой составляющей силы резания, определяющей тяговую силу, развиваемую приводом вращения бандажа на специальном устройстве, принимает вид:

$$x_z \cdot x_1 + (n_z + 1) \cdot x_2 < b_1 \quad (6)$$

- тангенциальная сила трения в паре бандаж-приводной ролик должна превышать тангенциальную составляющую силы резания P_z . Это условие позволит исключить возможную остановку вращения бандажа за счет действия тангенциальной составляющей силы резания. Таким образом, устанавливаем связь между этой составляющей силы резания P_z и силой трения F_f , в паре бандаж-приводной ролик (рис. 6).

Возможность вращения бандажа можем описать следующей зависимостью:

$$k \cdot F_t = F_f = f \cdot F_n \quad (7)$$

где k – коэффициент запаса; f – коэффициент трения пары бандаж-ролик; $F_n = M \cdot 4,9 \cdot \cos 30^\circ$, M – масса устанавливаемого для обработки бандажа.

Чтобы обеспечить вращение без проскальзывания должно выполняться условие:

$$P_z < F_t \tag{8}$$

$$P_z < \frac{f \cdot F_n}{k} \tag{9}$$

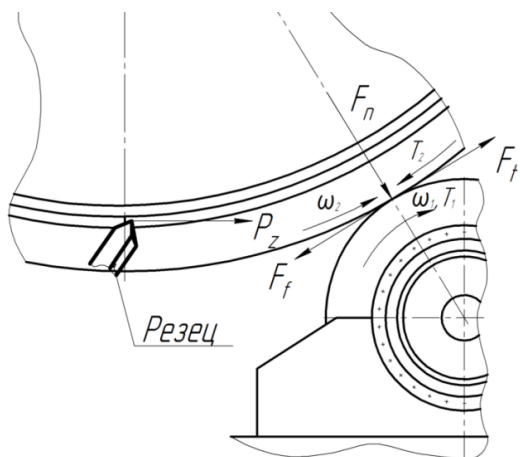


Рис. 6. К определению возможности вращения бандажа

Подставляя полученные формулы в неравенство и, производя некоторые математические преобразования, получаем:

$$x_z \cdot \ln(t) + n_z \cdot \ln(n) < \ln\left(\frac{1000^{n_z} \cdot F_n \cdot f}{10 \cdot (\pi D)^{n_z} \cdot C_p \cdot s^{y_z} \cdot k_p \cdot k}\right) \tag{10}$$

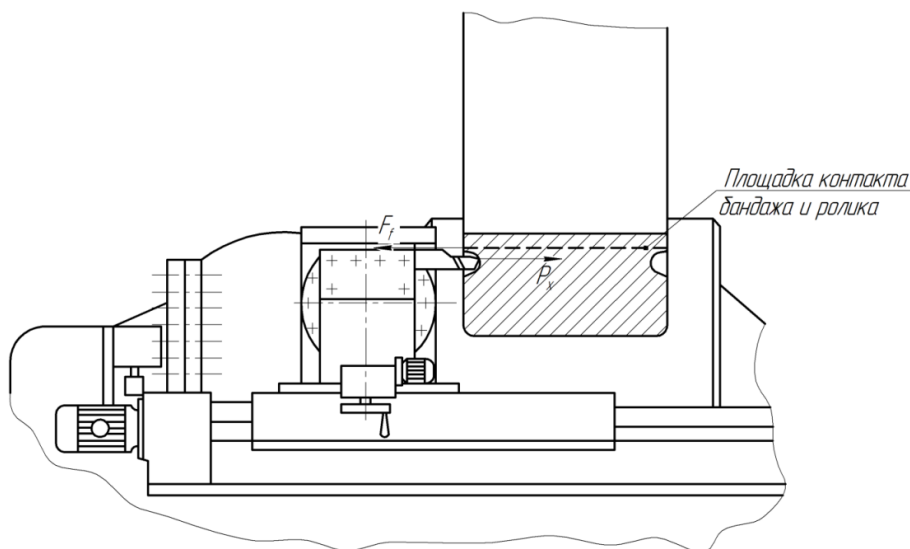


Рис. 7. К определению возможных осевых смещений бандажа

Подставляя полученные зависимости в неравенство и, производя соответствующие математические преобразование, получаем:

$$x_x \cdot \ln(t) + n_x \cdot \ln(n) < \ln\left(\frac{1000^{n_x} \cdot F_n \cdot f \cdot 2}{10 \cdot (\pi \cdot D)^{n_x} \cdot C_p \cdot s^{y_x} \cdot k_p}\right) \tag{15}$$

$$x_x \cdot x_1 + n_x \cdot x_2 < b_3$$

С учетом всех выполненных изысканий, математическая модель для определения граничных условий по режимам обработки, будет иметь

Производя замену аналогично предыдущему пункту, получаем техническое ограничение в следующем виде:

$$x_z \cdot x_1 + n_x \cdot x_2 < b_2 \tag{11}$$

– третьим ограничением устанавливаем связь между осевой составляющей силы резания P_x и силой трения F_f , в осевом направлении (рис. 7). Таким образом, осевые смещения бандажа по поверхностям роликов, будут исключены, если будет выполняться условие:

$$P_x < F_f, \tag{12}$$

где P_x – осевая составляющая силы резания, которую можем определить по следующей зависимости:

$$P_x = 10 \cdot C_p \cdot t^{x_x} \cdot s^{y_x} \cdot V^{n_x} \cdot k_p, \tag{13}$$

где C_p, k_p, x_x, y_x, n_x – постоянная, коэффициенты и показатели степеней, выбираемые для данной схемы обработки; F_f – сила трения в осевом направлении.

$$F_f = 2 \cdot f \cdot F_n \tag{14}$$

где f – коэффициент трения в паре бандаж-ролик; $F_n = M \cdot 4,9 \cdot \cos 30^\circ$, M – масса бандажа.

вид:

$$\begin{aligned} x_z \cdot x_1 + (n_z + 1) \cdot x_2 &< b_1 \\ x_z \cdot x_1 + n_z \cdot x_2 &< b_2 \\ x_x \cdot x_1 + n_x \cdot x_2 &< b_3 \\ f_o &= (x_1 + x_2)_{\max} \end{aligned} \tag{16}$$

Для определения рациональных параметров процесса, которые позволят осуществлять обработку бандажа, необходимо найти значения варьируемых параметров как:

$$t_{onm} = e^{x_{1onm}} \quad (17)$$

$$n_{onm} = e^{x_{2onm}} \quad (18)$$

$$x_{1onm} = \ln(t) = 1,0399 \rightarrow t_{onm} = 3 \text{ мм} \quad (19)$$

$$x_{2onm} = \ln(n) = 0,015 \rightarrow n_{onm} = 1,015 \text{ об/мин} \quad (20)$$

Для наглядности, выше приведенную математическую модель (16) можем представить и в графическом виде, где каждое из вводимых технических ограничений, представляем соответствующей прямой. Нанесение этих прямых позволит определить полуплоскость, где значения варьируемых параметров будут удовлетворять условию решения данной системы. В данной области будет иметь геометрическое место точек со значениями варьируемых параметров, позволяющих осуществлять процесс обработки бандажа.

В результате решения системы уравнений в приложении *Mathcad*, были получены предельные значения варьируемых параметров для бандажа с диаметром 6100 мм с заданными геометрическими и физико-механическими характеристиками [10]. Такими параметрами в данном случае являются технологические режимы обработки – глубина резания и частота вращения детали:

Для более глубокого и всестороннего исследования данной схемы восстановительной обработки потребуется ввести еще ряд ограничений на варьируемые параметры, чтобы обеспечить также требования по точности и шероховатости обработки. Учитывая то, что в данной схеме применена бесцентровая обработка, то следует ввести ограничения на глубину снимаемого за один проход припуска. Ряд проведенных ранее исследований [21], позволил получить диаграммы зависимости точности формы от величины припуска, снимаемого за один рабочий ход (рис. 8). Анализ данной диаграммы позволяет отыскать такие предельные значения припуска (минимального и максимального), при съеме которого будет осуществляться исправление формы обрабатываемой поверхности.

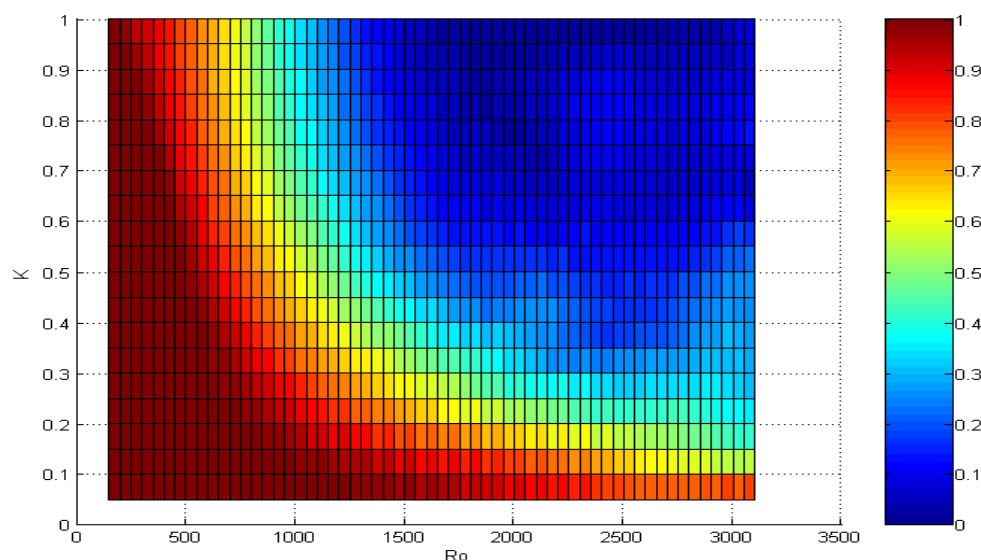


Рис. 8. Диаграмма зависимости точности обработки от величины снимаемого припуска

Качество обработки поверхности при ее механической обработке определяется и получаемой величиной шероховатости. Поэтому можно ввести еще и ограничение по требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между варьируемыми параметрами и шероховатостью поверхности.

Выводы. Применение математического моделирования на основе предложенного подхода позволило определить оптимальные условия обработки на специальном стенде детали с заданными геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами. В модели учтены

условия бесцентрового базирования детали на двух роликах с боковой поддержкой. Проведенные исследования определяют необходимость использования математического моделирования в случаях изменения параметров стенда, таких как диаметры опорных роликов, межосевое расстояние между ними. Следует рекомендовать проведение дальнейших исследований в направлении оптимизации параметров стенда для установленного диапазона типоразмеров обрабатываемых деталей.

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. Boaten A.A. *Rotary Kilns*. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
3. 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.
4. Design features of rotary kilns. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cementkilns.co.uk/kiln_design.html. (дата обращения: 09.11.2021)
5. Comprehensive Kiln Alignment. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aniconcorp.com/technical-papers/world-cement-article.pdf> (дата обращения: 08.12.2021)
6. Phillips Kiln Services. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pkse.co.uk/services/resurfacing.php> (дата обращения: 05.11.2021)
7. Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignment. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206. Pp. 1709–1715.
8. Росс Дж. К вопросам о выверке и техническом обслуживании вращающихся печей // Цемент и его применение. 2020. №5. С. 68–71. [Электронный ресурс]. URL: <https://jcement.ru/reading/cemchem/k-voprosam-o-vyverke-i-tekhnicheskom-obsluzhivanii-vrashchayushchikhsya-pechej/> (дата обращения: 05.12.2021)
9. ООО «МосХимЦемСервис»: технологическое обслуживание и восстановление промышленного оборудования. [Электронный ресурс]. URL: http://moshimtsemservis.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1:о-мпании&catid=2 (дата обращения: 12.11.2021)
10. Бандажи для промышленных печей. [Электронный ресурс]. URL: <https://tulpech.ru/bandazhi-dlya-promyshlennyh-pechej> (дата обращения: 05.12.2021)
11. Бандажи плавающие и бандажи сварные. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.npp-prom.com/zapasnye-chasti-pechej-vrashayushih> (дата обращения: 05.12.2021)
12. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Щетинин Н.А. Технологический процесс реконструкции бандажей типа «П» в тип «В» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 1. С. 73–77.
13. Захаров О.В. Управление точностью бесцентрового шлифования статистическими методами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 9. С. 32–35.
14. Пелипенко Н.А., Санин С.Н. Определенные положения измерительной базы при базировании и вращении эллиптического бандажа // Тяжелое машиностроение. 2014. № 1. С. 32–36.
15. Дуганов В.Я. Определение передаточных отношений и коэффициента исправления формы деформированного кольца цементных печей при его бесцентровой обработке // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. №9. С. 47.
16. Гончаров М.С., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В. Особенности формообразования при восстановительной обработке бандажей переносными станками // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 7. С. 10–25. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-7-10-25
17. 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. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.12737/issn.2071-7318>
18. Пелипенко Н.А., Санин С.Н. Описание поведения центра бандажа с помощью математического моделирования // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 1. С. 46–48.
19. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю., Щетинин Н.А. Оптимизация режимов обработки бандажей на специальном стенде // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 67–73.
20. Shrubchenko I.V., Hurtasenko A.V.h, Voronkova M.N., Murygina L.V. Optimization of Cutting Conditions for the Processing of Bandages of Rotary Cement Kilns at a Special Stand // *World Applied Sciences Journal*. 2014. № 31 (9). Pp. 1593–1600. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.31.09.14481

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 Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронкова Марина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: mkuzko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.12.2021 г.

© Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Воронкова М.Н., 2022

**Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Voronkova M.N.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: ivshrub@yandex.ru

DETERMINATION OF POSSIBLE PROCESSING MODES OF THE SURFACES OF THE BANDAGES ON A SPECIAL STAND

Abstract. The article deals with the issues of machining the surfaces of composite bandages, after welding them directly at the assembly site and subsequent operation, using mobile technologies. The design of the device is presented. It includes structural elements of the support of a rotary kiln, with two support rollers, a rotation drive and a special portable machine. Distinctive features for this machining scheme have been established. To enable the cutting process, it is proposed to drive the rim rotation using friction force from one of the support rollers, using a DC motor with a stepless rotation speed control and a reduction gear. A method of searching for rational operating modes of the installation using linear programming is proposed. The necessary technical restrictions on the operating mode of the installation have been determined. They are the power of the rotation drive, the tangential and axial components of the cutting force. The rotation speed of the band and the size of the allowance removed in one working stroke allow varying the treatment process. Selected dependencies allow to establish a connection between the varied parameters and the introduced technical constraints. The system of linear equations is obtained on their basis, by solving which it is possible to obtain the range of values of technological modes that allow the process of machining the surfaces of bandages on the proposed installation. For a bandages with a diameter of 6100 mm, rational technological modes have been obtained that allow the process of restorative treatment of the surfaces of the bandages after welding, directly at the site of their subsequent operation.

Keywords: rotary kiln bandage, restorative treatment

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.
- Boaten A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
- 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.
- Design features of rotary kilns. URL: https://www.cementkilns.co.uk/kiln_design.html. (date of treatment: 09.11.2021)
- Comprehensive Kiln Alignment. URL: <https://www.anioncorp.com/technical-papers/world-cement-article.pdf> (date of treatment: 08.12.2021)
- Phillips Kiln Services. URL: <http://www.pkse.co.uk/services/resurfacing.php> (date of treatment: 05.11.2021)
- Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignment. Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. Pp. 1709-1715.
- Ross D. For questions about alignment and maintenance of rotary kilns [K voprosam o vyverke i tekhnicheskome obsluzhivanii vrashchayushchihsya pechej]. Cement i ego primenenie. 2020. No. 5. Pp. 68–71. URL: <https://jcement.ru/reading/cem-chem/k-voprosam-o-vyverke-i-tekhnicheskome-obsluzhivanii-vrashchayushchikhhsya-pechey/> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- LLC "MosChemCemService": technological maintenance and restoration of industrial equipment [OOO «MosKHimCemServis»: tekhnologicheskoe obsluzhivanie i vosstanovlenie promyshlennogo oborudovaniya] URL: http://moshimtsem-servis.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1:o-kmpanii&catid=2 (date of treatment: 12.11.2021) (rus)
- Bandages for industrial furnaces [Bandazhi dlya promyshlennyh pechej]. URL: <https://tulpech.ru/bandazhi-dlya-promyshlennyh-pechej> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Floating and welded-in bandages [Bandazhi plavayushchie i bandazhi vvarnye]. URL: <https://www.npp-prom.com/zapasnye-chasti-pechej-vrashayushih> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Shchetinin N.A. Technological process of reconstruction of

type "P" bandages into type "B"[Tekhnologicheskij process rekonstrukciibandazhejtipa «P» v tip «V»]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 1. Pp. 73–77. (rus)

13. Zaharov O.V. Management of accuracy of centerless grinding by the statistical methods[Upravlenietochnost'yubescentrovogoshlifovaniyastatisticheskimimetodami]. Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie. 2009. No.9. Pp. 32–35. (rus)

14. Pelipenko N.A., Sanin S.N. Position determination of gage length in basing and rotating of elliptical bandage [Opredelenie polozheniya izmeritel'noj bazy pri bazirovanii i vrashchenii ellip-tichnogo bandazha]. Tyazheloe mashinostroenie. 2014. No. 1. Pp. 32–36. (rus)

15. Duganov V.Ya. Determination of the gear ratios and the correction factor for the shape of the deformed ring of cement kilns during its centerless processing [Opredelenie peredatochnyh otnoshenij i koefficienta ispravleniya formy deformirovannogo kol'ca cementnyh pechej pri ego bescentrovoj obrabotke]. Repair, Reconditioning, Modernization. 2013. No. 9. Pp. 47. (rus)

16. Goncharov M.S., Khurtasenko A.V., Shrubchenko I.V. Features of forming at shroud restorative machining by portable machine tools [Osobennosti formoobrazovaniya pri vosstanovitel'noj obrabotke bandazhej perenosnymi stankami]. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2017.

Vol. 21. No. 7. Pp. 10–25. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-7-10-25 (rus)

17. Khurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Mathematical model for optimization of processing parameters of rolling surface of technological units by mobile equipment [Matematicheskaya model' dlya optimizacii parametrov obrabotki poverhnostej kacheniya tekhnologicheskikh agregatov mobil'nyh oborudovaniem]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.12737/issn.2071-7318> (rus)

18. Pelipenko N.A., Sanin S.N. Describing the behavior of the center of mass of a tire with mathematical modeling [Opisanie povedeniya centra bandazha s pomoshch'yu matematicheskogo modelirovaniya]. Repair, Reconditioning, Modernization. 2013. No. 1. Pp. 46–48. (rus)

19. Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.Yu., Shchetinin N.A. Optimization of processing modes for bandages on a special stand [Optimizaciya rezhimov obrabotki bandazhej na special'nom stende]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov 2013. No. 4. Pp. 67–73. (rus)

20. Shrubchenko I.V., Hurtasenko A.V., Voronkova M.N., Murygina L.V. Optimization of Cutting Conditions for the Processing of Bandages of Rotary Cement Kilns at a Special Stand. World Applied Sciences Journal. 2014. № 31 (9). Pp. 1593–1600. doi: 10.5829/idosi.wasj.2014.31.09.14481

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, Andrey V. PhD, Assistant professor. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronkova, Marina N. PhD, Assistant professor. E-mail: mkuzko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 10.12.2021

Для цитирования:

Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Воронкова М.Н. Определение возможных режимов обработки поверхностей бандажей на специальном стенде // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 1. С. 102–111. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-102-111

For citation:

Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Voronkova M.N. Determination of possible processing modes of the surfaces of the bandages on a special stand. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 1. Pp. 102–111. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-102-111