

Санин С.Н., канд. техн. наук, доц.,
Оникиенко Д.А., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МОБИЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БАНДАЖЕЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ С БАЗИРОВАНИЕМ ПО ТОРЦОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОТВЕРСТИЮ

senis81@mail.ru

В настоящее время оборудование цементных заводов изношено более чем на 80%. Однако тенденция к развитию инфраструктуры, к росту жилищного и дорожного строительства вскоре потребует наращивания объемов производства цемента. В этой связи потребуется не только качественно отремонтировать изношенное оборудование, но также нарастить производственные мощности, путем строительства новых цементных заводов. В этой связи авторам представляется более выгодным осуществлять производство деталей вращающихся цементных печей в непосредственной близости от их последующей эксплуатации. Для этого следует разработать комплект мобильного оборудования, способного осуществлять механическую обработку деталей непосредственно на площадках цементных заводов. В данной статье авторами предлагается концепция построения одного из элементов такого оборудования - станка для обработки бандажей, а точнее, его базовой части. Авторами дается обоснование схемы базирования обрабатываемой детали, способа обеспечения радиальной подачи, а также дается обоснование необходимой прочности конструкции мобильного стенда для обработки бандажей.

Ключевые слова: мобильный стенд, механическая обработка, тяжелое машиностроение, бандаж вращающейся печи.

Безрамная технология как отрасль технологии машиностроения начала формироваться в середине 80х годов прошлого века. Ученые и инженеры, стоявшие у ее истоков, предложили использовать в качестве базы для установки металлообрабатывающего оборудования элементы обрабатываемых деталей или их узлов, как это, например, происходит при обработке бандажей вращающихся цементных печей (ВЦП) [1]. Были разработаны способы и оборудование для механической обработки бандажей, как с демонтажем с вращающейся печи [2], так и без демонтажа [3, 4].

Причем, если при обработке бандажа без демонтажа с ВЦП в качестве главного движения использовалось рабочее вращение печного агрегата, то при обработке бандажа вне печи для приведения его во вращения был разработан специальный стенд, в котором бандаж приводился в движение с помощью пары опорных роликов, на которые он базировался своей поверхностью катания. При этом сложности возникали при обеспечении устойчивости бандажа в отсутствии обечайки печи. Но эта проблема была успешно решена профессором Н.А. Пелипенко [2].

Невзирая на успешное решение, оно не лишено недостатков, так как сопряжено пусть и с незначительной, но все же вероятной опасностью опрокидывания бандажа в процессе резания при ошибках в выверке положения

бандажа на роликах или при неправильном назначении режимов резания. Соответственно, опрокидывание бандажа может привести к неприятным последствиям для персонала, выполняющего его механическую обработку или подготовку к ней. Кроме того, схема базирования, описанная в [2], не позволяет исключить погрешность, связанную с искажением формы обрабатываемой детали под собственным весом, а также с недостатками самой теоретической схемы базирования [5].

Гораздо более удобной схемой базирования в этом отношении является схема с использованием торцовой поверхности бандажа в качестве установочной базы (рис. 1). Используя эту схему базирования можно исключить влияние гравитации на искажения формы обрабатываемой поверхности бандажа, ввиду того, что жесткость сечения бандажа в поперечном направлении на порядок выше, а доля массы бандажа, воздействующая на опорный участок на порядок ниже, чем при базировании по обрабатываемой поверхности.

Такая же схема базирования используется в процессе изготовления бандажей в заводских условиях. В условиях площадки цементного завода использование уникальных станков по понятным причинам невозможно, поэтому следует все также опираться на принципы безрамной технологии механической обработки и разработать концепцию специального передвижного стенда, обеспечивающего

принятую схему базирования обрабатываемой детали.

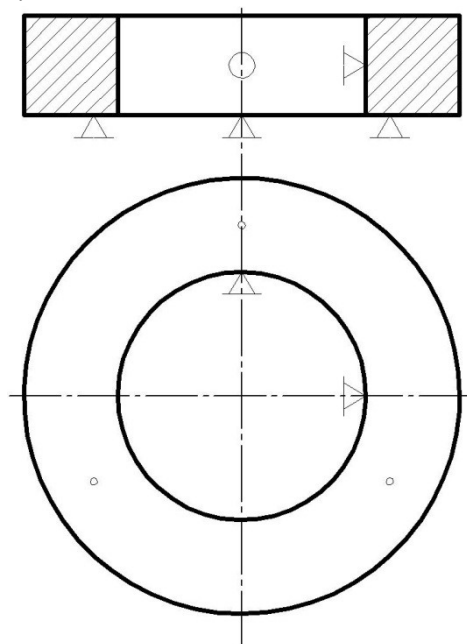


Рис. 1. Схема базирования бандажа

Как правило, для обработки бандажей используются приставные или встраиваемые станки [2], у которых имеются только приводы продольной подачи, а в случае применения шлифовального станка, еще и привод главного движения [5]. Для обработки бандажа с применением станка потребуется снабдить станд

приводом вращения, предназначенным для распространения процесса резания вдоль круговой образующей бандажа (круговую подачу).

Для реализации классического привода вращения в конструкции станка потребовалось бы использовать большую планшайбу, диаметр которой превышал бы диаметр обрабатываемого бандажа. При этом масса станка превысила бы массу обрабатываемого бандажа в несколько раз, и уже нельзя было бы говорить о какой бы то ни было мобильности станка. В этой связи более интересным представляется решение, при котором в качестве приспособления для установки обрабатываемого бандажа вместо планшайбы применяется группа из трех равномерно распределенных по окружности опорных роликовых узлов (рис.2). Каждый опорный узел должен включать один опорный и один приводной ролик. Три опорных ролика, имеющих почти горизонтальные оси вращения и распределенные относительно оси вращения бандажа с шагом в 120° будут обеспечивать опорную технологическую базу для бандажа. Другая тройка роликов, оси которых должны быть вертикальны, будут обеспечивать центрирующую базу для бандажа. Они же будут являться источниками вращательного движения для обеспечения круговой подачи бандажа.

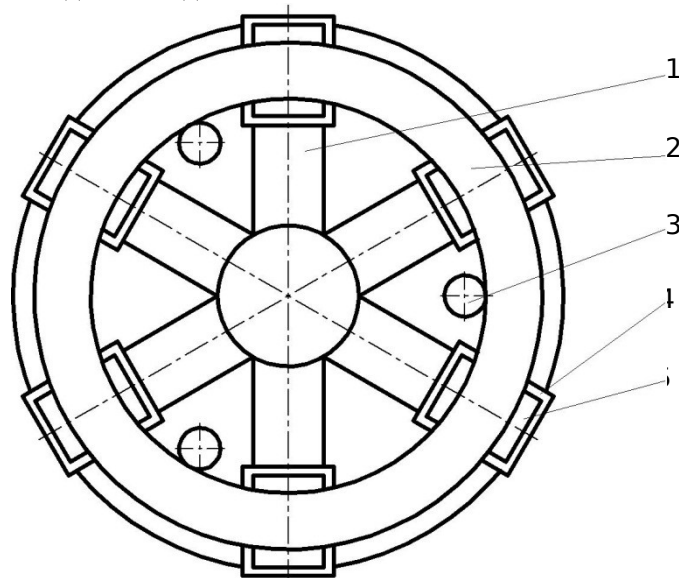


Рис. 2. Концептуальная схема станка:

1 – рама; 2 – бандаж; 3 – приводной ролик; 4 – суппорт; 5 – опорный ролик

Опорные узлы устанавливаются на легкую, но прочную и жесткую раму 1, которая базируется на бетонной площадке и предварительно выверяется по уровню.

Приводные центрирующие ролики 3 должны иметь возможность синхронного перемещения относительно опорной рамы 1, что позволит обеспечить точное центрирование

бандажа относительно теоретической оси его отверстия.

Авторы полагают, что все ролики опорной рамы попарно должны быть объединены в единые опорные узлы (рис. 3). Каждый такой узел имеет направляющую 5 и привод для обеспечения радиального движения узла.

Рассмотрим конструкцию опорного узла. Он состоит из опорного ролика 1, установленного в подшипниках качения 2 и 3 на

суппорте 4 опорного узла, который в свою очередь закреплен на направляющей 5 рамы.

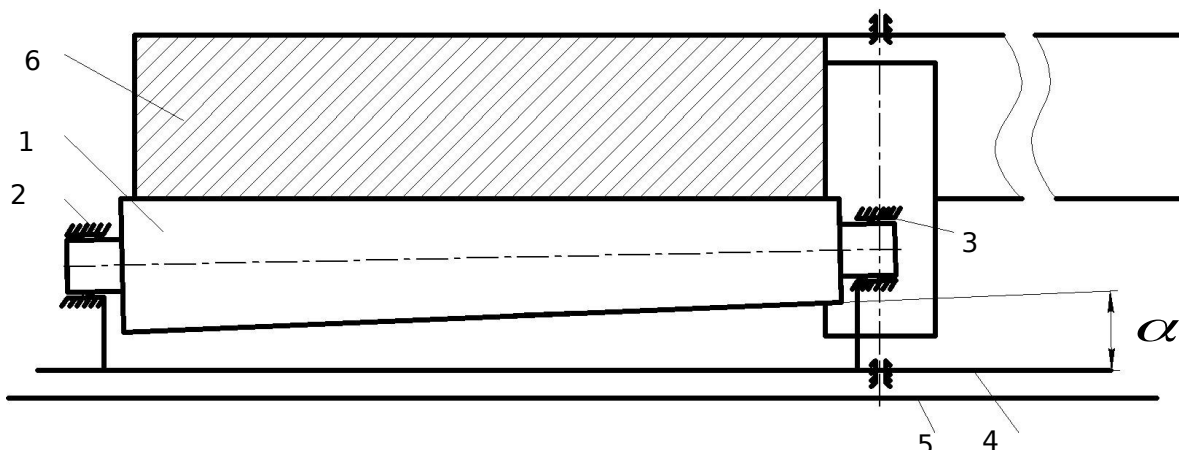


Рис. 3. Схема узла опорного ролика

Так как линейные скорости в разных точках базовой линии на торцевой поверхности бандажа не одинаковы, при взаимодействии поверхности торца бандажа 6 с наружной поверхностью опорного ролика 1 возможно проскальзывание. В связи с этим опорный ролик имеет коническую форму (см. рис. 3), причем угол конусности выбирается исходя из разности

линейных скоростей крайних точек линии его контакта с обрабатываемым бандажом ВЦП.

При этом следует иметь виду, что чтобы обеспечить линейный контакт поверхности опорного ролика с базовым торцом бандажа, необходимо опорный ролик расположить под некоторым углом к горизонту (см. рис. 3).

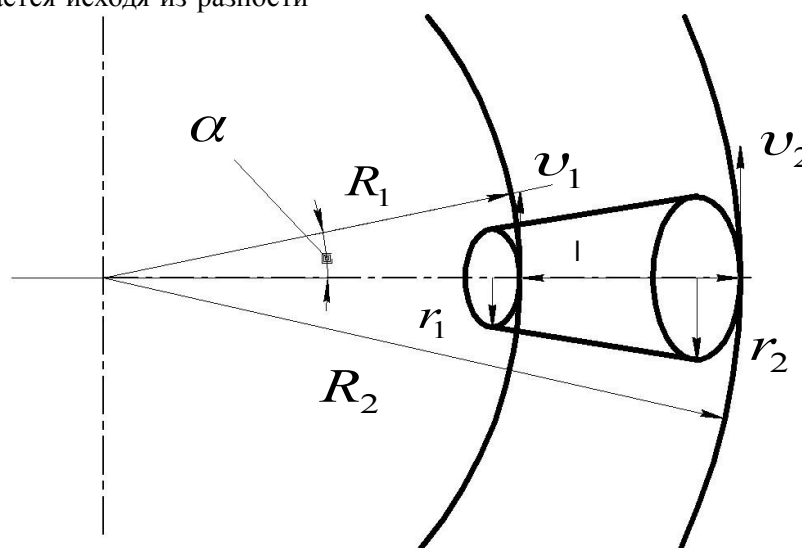


Рис. 4. Распределение линейных скоростей вдоль базовой линии бандажа

l – толщина бандажа; v_1 и v_2 – скорости точек контакта

Известно, что при вращении бандажа угловая скорость ω всех точек его поверхности одинакова и равна:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \quad (1),$$

где ν – частота вращения бандажа, c^{-1} ; n – то же в об/мин.

Для определения угла конусности опорного ролика, рассмотрим расчетную схему (рис. 4). Для отсутствия проскальзывания при

относительном вращении двух деталей скорость $v_{1б}$ бандажа должна быть равна скорости $v_{1р}$ ролика, а также $v_{2б} = v_{2р}$:

$$v_p = v_b = \omega R = \frac{\pi n}{30} R \quad (2)$$

где R – радиус бандажа.

Линейные скорости точек поверхности ролика, расположенных ближе к оси вращения

бандажа v_1 и дальше от оси бандажа v_2 определяются по формулам:

$$v_1 = \frac{\pi n}{30} R_1, \quad (3)$$

$$v_2 = \frac{\pi n}{30} R_2, \quad (4)$$

где R_2 – внешний радиус бандажа; R_1 – внутренний радиус бандажа.

Подставив уравнения (3) и (4) в уравнение (1), с учетом равенства угловой скорости всех точек поверхности бандажа получим:

$$\omega = \frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2}, \quad (5)$$

где r_1 – наименьший радиус конуса опорного ролика, получаемый из условия расчета на прочность.

Решая уравнение (5) относительно r_2 , получим значение наибольшего радиуса конуса опорного ролика:

$$r_2 = \frac{r_1 v_2}{v_1}. \quad (6)$$

Угол конусности опорного ролика (рис. 5) может быть определен по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta r}{l} = \frac{r_2 - r_1}{l}, \quad (7)$$

где $l = R_2 - R_1$ – толщина тела бандажа или длина линии контакта бандажа и опорного ролика (см. рис. 4).

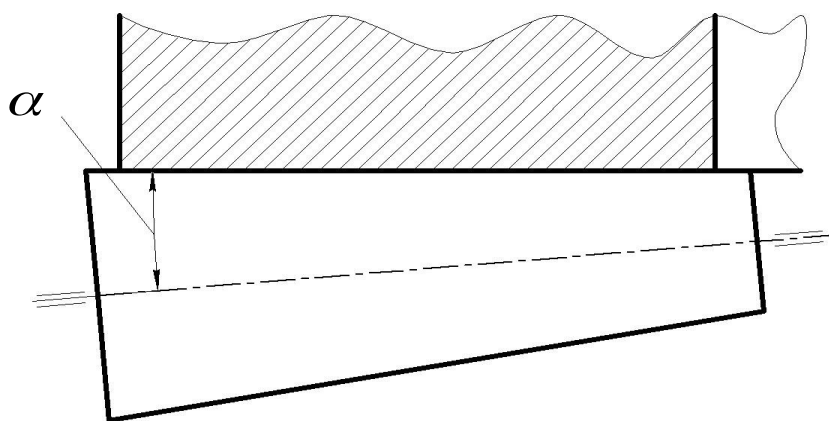


Рис. 5. Схема определения угла конусности опорного ролика

Подставим уравнения (5) и (6) в формулу (7) и получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{r_1 v_2}{v_1} - r_1}{R_2 - R_1} = \frac{r_1 \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right)}{R_2 - R_1} = \frac{r_1 \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right)}{R_2 - R_1} \quad (8)$$

После преобразования получим значение искомого угла α :

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{r_1 \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right)}{R_2 - R_1}, \quad (9)$$

Расчет углов опорного ролика для установки бандажа диаметром 6300 мм показал, что минимальный угол α будет равен $1^{\circ}12'$.

Учитывая значительные массогабаритные показатели бандажей и вероятность возникновения повышенных нагрузок при принятой схеме базирования, все опорные узлы следует подвергнуть тщательному расчету.

Как ясно из схемы базирования бандажа - его базовый торец является установочной

технологической базой, которая должна содержать три опорные точки для обеспечения элементарной устойчивости (см. рис. 1). Эти точки при установке на разработанный стенд заменяются тремя прямоугольными площадками торцевой поверхности бандажа, контактирующими с поверхностями трех опорных роликов стенда.

При равномерном шаге между опорными роликами резонно предположить, что вся нагрузка от силы тяжести бандажа равномерно распределяется между тремя опорными узлами.

Для выполнения расчета минимальных диаметров опорных роликов составим расчетную схему (рис. 6).

Бандаж действует на ролик как распределенная нагрузка (по прямоугольному пятну контакта), однако для упрощения расчетной схемы заменим его действие сосредоточенной силой, равной одной трети силы тяжести:

$$F = \frac{mg}{3}, \quad (10)$$

где m – масса бандажа, g – ускорение свободного падения.

Так как ось ролика расположена под углом к горизонту, то сила F может быть представлена как сумма радиальной N и продольной Q составляющих. В результате в опорах ролика возникают радиальные (R) и продольные (H) силы реакции.

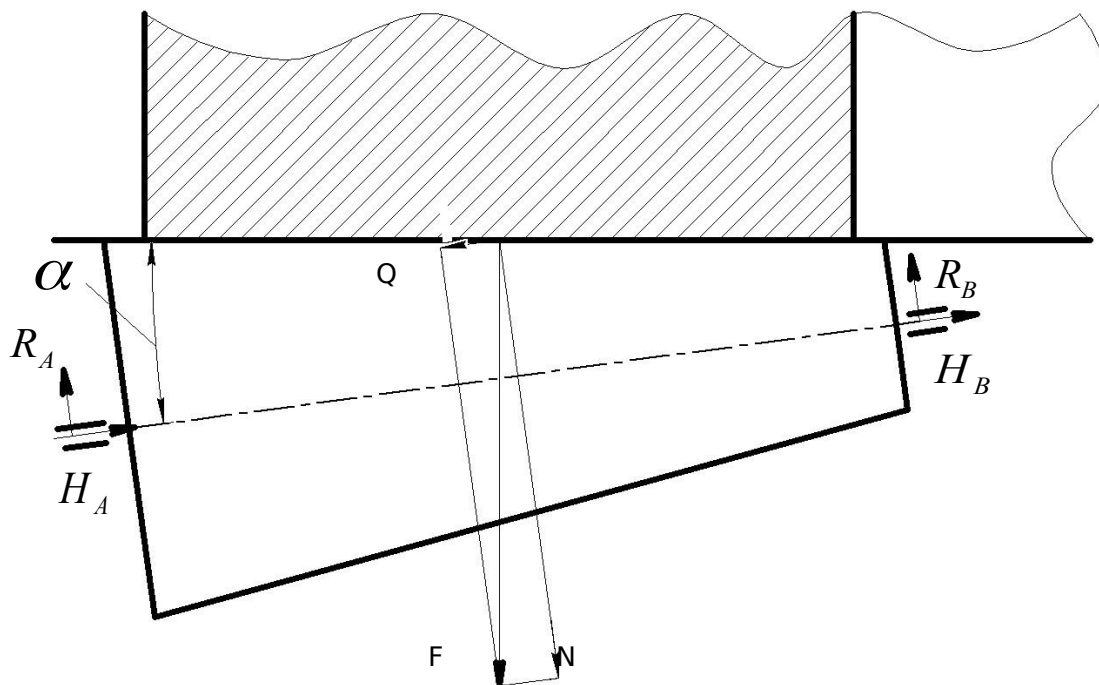


Рис. 6. Схема действия сил на опорный ролик стэнда

Так как Опорный ролик будет расположен под углом к горизонту, основную нагрузку примет на себя нижняя опора. Ее следует принять в расчетах шарнирно - неподвижной. Вторая опора будет шарнирно-подвижной для исключения статической неопределимости.

Расчеты показывают, что для бандажа, диаметром 6300 мм и массой 60000 кг опорный ролик должен иметь минимальный диаметр равный 95 мм. При этом материалом опорного ролика будет сталь марки 45 ГОСТ 1050-88 термически обработанная ТВЧ. Диаметры базовых шеек ролика должны быть не менее 60 мм.

Помимо трех основных роликов на случай перекоса бандажа конструкция стэнда предусматривает дополнительные опорные ролики 6 (см. рис. 2), равноотстоящие от основных опорных роликов 5. В случае перекоса бандажа возможно неравномерное распределение нагрузки между роликами. Для обеспечения безопасности работ при выполнении механической обработки такой тяжелой детали как бандаж, необходимо выявить возможные схемы распределения нагрузки на опорные узлы (рис. 7).

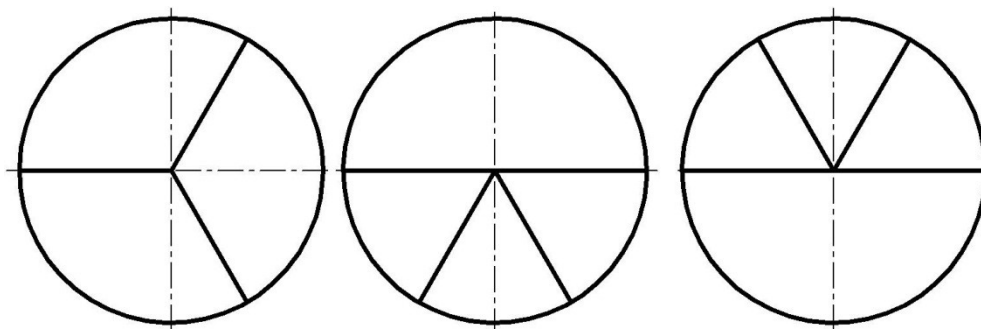


Рис. 7. Варианты схем распределения нагрузки между опорными роликами шестилучевого стэнда при перекосе бандажа

Исходя из полученных схем, рассчитанная величина силы реакции опоры в одном из опорных узлов может быть больше расчетной до полутора раз. При указанных ранее значениях диаметральных размеров опорного ролика необходимая прочность будет обеспечена.

Конструкцию рамы станда для обработки бандажей ВЦП, выполненного по предложенной концепции, следует сделать складной для уменьшения ее габаритных размеров. Это позволит перевозить стенд к месту механической обработки бандажей автомобильным транспортом и исключить возможные риски, связанные с опрокидыванием бандажа при его механической обработке.

Применение станда для обработки бандажей ВЦП, созданного по предложенной авторами концепции, позволит снизить трудозатраты, затраты на эксплуатацию уникального оборудования, позволит обеспечить необходимую точность механической обработки. А мобильность конструкции станда позволит применять его для механической обработки поверхностей бандажей как на заводе – изготовителе, так и при восстановлении изношенных поверхностей при капитальном ремонте.

1. Погонин А.А., Горбатенко А.Н. К вопросу определения жесткости встраиваемого станка для обработки бандажей и роликов цементных печей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. №7. С. 49–50.

2. Пелипенко Н.А. Технология машиностроения: Учебное пособие. Белгород: изд. БТИСМ, 1991. 165 с.

3. Шрубченко И.В. Специальный адаптивный станок для обработки бандажей вращающихся печей// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. №7. С. 80–81.

4. Шрубченко И.В. Способы обработки поверхностей качения опор технологических барабанов с использованием мобильных технологий и оборудования: монография/ И.В. Шрубченко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 284 с.

5. Pelipenko N.A., Sanin S.N., Afanasjev A.A., Dujun T.A., Gunkin A.A. Introduction to Theory of Transverse Centerless Grinding of Large Cylindrical Surfaces/ Research Journal of Applied Sciences, 2014. #9. p. 696–699.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Sanin S.N., Onikienko D.A.

THE DEVELOPMENT OF CONCEPT OF MOBILE STAND FOR MASHINING OF BANDAGES OF ROTARY KILNS WITH BASING BY THE END SURFACE AND BY THE HOLE

Currently, cement plants equipment worn by more than 80%. However, the trend towards the development of infrastructure, to an increase in housing and road construction will soon require increasing volumes of cement production. This will require not only qualitatively renovate worn-out equipment, but also to increase production capacity through the construction of new cement plants. In this regard, the authors seem more profitable to carry out the production of parts rotating cement kilns in the vicinity of subsequent operation. To do this, should develop a set of mobile equipment that can carry out machining of parts is directly on grounds of cement plants. In this paper, the authors propose the concept of building one of the elements of such equipment - a machine for bandages mashing, or more precisely, its base part. The authors outline the rationale scheme of basing of workpiece, a method for providing a radial flow, and given the necessary support of the structural strength of the mobile stand for bandages mashing.

Key words: *mibile stand, mashing, heavy engineering, bandage of rotary kiln.*

Санин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: senis81@mail.ru

Оникиенко Дарья Алексеевна, студент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: