

УДК 62-252.1

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ КОЛЬЦЕВЫХ ПРОТОЧЕК НА ТОРЦАХ БАНДАЖЕЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Щетинин Н.А., Шрубченко И.В., Богданов В.С., Мuryгина Л.В., Гончаров М.С.

*ФГОУ «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: azrael90@mail.ru*

На кафедре технологии машиностроения БГТУ им. В.Г. Шухова разработана технология, предполагающая реконструкцию бандажей типа «П» в тип «В» непосредственно на месте их эксплуатации с использованием мобильных технологий и оборудования. Проведение таких работ позволит существенно снизить затраты по замене бандажей, повысит надежность и ресурс их работы. Предложено на торцевых поверхностях бандажей выполнять специальные фасонные кольцевые проточки и таким образом формировать закрылок для последующего соединения с корпусом печи при помощи сварки. В ходе исследований выбраны оптимальные форма и параметры кольцевых проточек на торцах, обеспечивающие условия равномерного распределения напряжений, возникающих от действия массы печи при эксплуатации и удобство проведения последующих работ по сборке бандаж с обечайками.

Ключевые слова: бандаж, торцевые поверхности, фасонные кольцевые проточки, закрылок, обечайки

BY THE DEFINITION OF OPTIMAL FORM OF AN ANNULAR GROOVES ON THE END FACE BANDAGES AT THEIR RECONSTRUCTION

Shhetinin N.A., Shrubchenko I.V., Bogdanov V.S., Murygina L.V., Goncharov M.S.

FSEI «Belgorod State Technological University V.G. Shukhov», Belgorod, e-mail: azrael90@mail.ru

At the Department of Manufacturing Engineering BGTU. developed a technology that involves the reconstruction of bandage such as «P» – a type «B» on the spot of their operation with the use of mobile technologies and equipment. Such works will significantly reduce the cost of replacing tires and increase the reliability and service life of their work. Suggested at the end surfaces of bandages perform special shaped annular grooves and thus forming a flap for subsequent connection to the furnace body by welding. The studies selected optimal shape and parameters of annular grooves on the ends to ensure even distribution of stress conditions arising from the action of the mass of the furnace operation and the convenience of the subsequent work on assembling a bandage with shells.

Keywords: bandage, end surface, shaped annular grooves, flap, shells

Бандажи вращающихся цементных печей плавающего типа («П») в настоящее время заменяют на более надежные – вварного типа («В»). Однако выпускаемые промышленностью бандажи типа «В» менее технологичны в изготовлении, имеют более сложную конструкцию, поэтому оказываются на порядок дороже по сравнению с бандажами типа «П» [1, 2]. На кафедре технологии машиностроения БГТУ им. В.Г. Шухова разработана технология, предполагающая реконструкцию бандажей типа «П» в тип «В» непосредственно на месте их эксплуатации с использованием мобильных технологий [3–7] и оборудованием [8–11]. Проведение таких работ позволит существенно снизить затраты по замене бандажей, повысит надежность и ресурс их работы. Предложено на торцевых поверхностях бандажей выполнять специальные фасонные кольцевые проточки и таким образом формировать закрылок для последующего соединения с корпусом печи при помощи сварки. Такие фасонные канавки должны, с одной стороны, обеспечивать условия равномерного распределения напряжений, возникающих от действия массы печи при эксплуатации и, с другой стороны, обеспечивать удобство проведения последующих работ по сборке

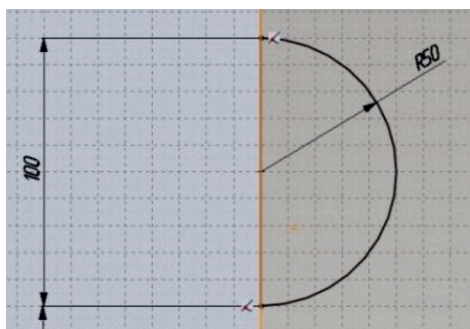
бандаж с обечайками. С целью поисковых исследований по предварительному выбору формы и расположения канавок было рассмотрено 4 варианта их изготовления (рис. 1). Моделирование напряженно-деформированного состояния конструкции бандаж проводилось в CAD/CAE – системе Solid Works с встроенным пакетом конечно-элементарного анализа Solid Works Simulation. Исходная модель включает в себя бандаж и два элемента корпуса печи, соединенные сваркой (рис. 2). В качестве кинематических граничных условий назначалась фиксированная геометрия на торцах корпуса печи. В качестве статических граничных условий назначены действие сил на гранях и в зонах контакта бандаж с опорными роликами, имитирующие действие силы тяжести вращающейся печи. Размер таких граней может быть вычислен по формулам [15]:

$$a = 1,52 \sqrt{\frac{p}{E} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}, \quad p = \frac{F}{S},$$

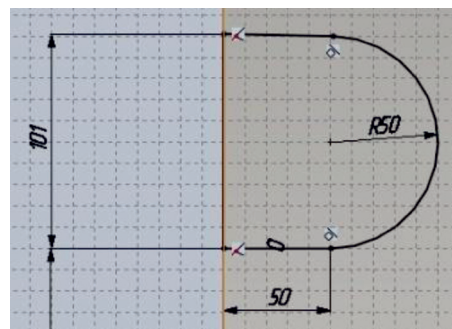
где a – половина ширины грани, мм;
 $S = 2000 \cdot a$ – площадь грани, мм²;
 $F = 280000 H$ – действующая на грань сила (ее значение определяем, исходя из массы

бандажа: $m = 56000 \text{ кг}$; $R_1 = 3050 \text{ мм}$ – радиус бандажа; $R_2 = 1700 \text{ мм}$ – радиус ролика; $E = 206000 \text{ Н/мм}^2$ – модуль упру-

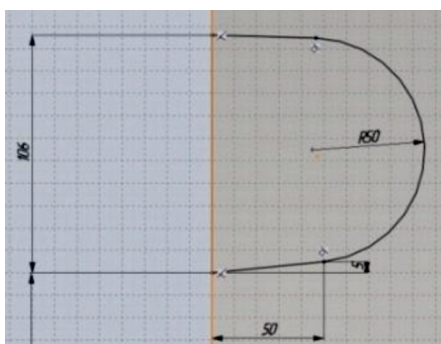
гости материала Сталь 35. При расчете по вышеуказанной формуле получим $a = 1,2 \text{ мм}$.



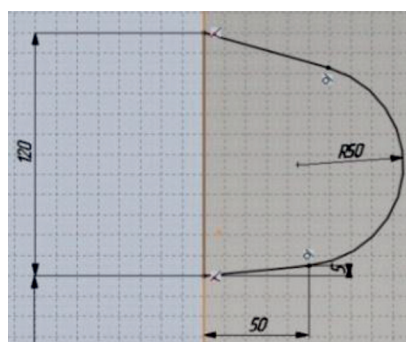
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Варианты формы канавки, задаваемые при поисковых исследованиях

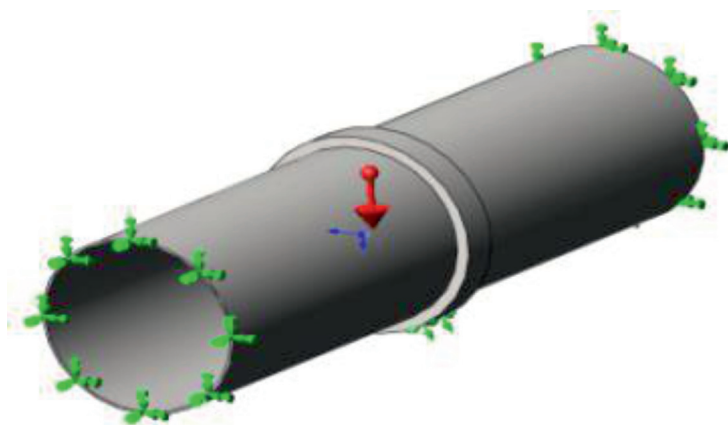


Рис. 2. Исходная модель бандажа с приложенными граничными условиями

Для упрощения условий решения задачи исследование проводилось в радиальном сечении и дополнительно назначалась фиксированная геометрия на гранях в направлении, перпендикулярном секущей плоскости. Результаты моделирования представлены на рис. 3, где показано на-

пряженно-деформированное состояние бандажа, в зоне соединения с обечайками, и распределение возникающих напряжений для различных вариантов форм канавки, с приведенными численными значениями напряжений в некоторых узлах бандажа.

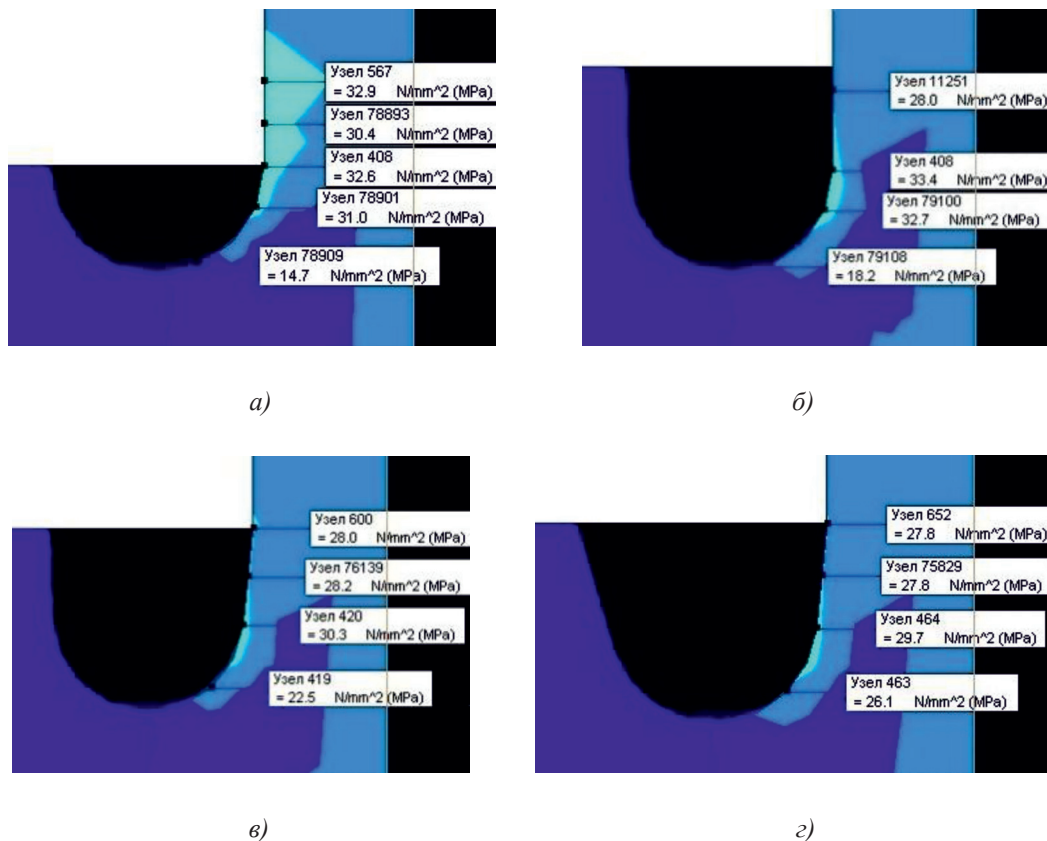


Рис. 3. Числовые значения напряжений в отдельных узлах модели и их распределение

Для вариантов канавок а, б, в – величина напряжений в месте их концентрации составляет 30–33 МПа. Для варианта г – величина напряжений составляет 28–30 МПа. Таким образом, выполнение верхней и нижней граней канавки наклонными способствует уменьшению величины напряжений и более равномерному их распределению. Следовательно, такая форма канавки может быть выбрана в качестве исходной, для последующей оптимизации. Для определения оптимальных параметров кольцевой проточки была проведена оптимизация с использованием последовательного симплексного метода (рис. 4). В качестве варьируемых факторов были выбраны: глубина расположения радиуса кольцевой проточки $\tilde{x}_1$ и величина угла наклона внутренней грани закрылка – $\tilde{x}_2$. В качестве целевой функции (функции отклика) была выбрана J_n – величина напряжения, возникающая в зоне перехода закрылка в основное тело бандаж. Учитывалась также и неравномерность распределения напряжений, возникающих по длине поверхности закрылка. Вычисление координат новых точек симплексов при их движении определялось по следующим зависимостям [16]:

$$\tilde{x}_{j,N+1} = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^{k+1} \tilde{x}_i - \left(\frac{2}{k} + 1 \right) \cdot \tilde{x}_i^*,$$

$$x_{j,N+1} = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^{k+1} x_i - \left(\frac{2}{k} + 1 \right) \cdot x_i^*,$$

где k – число варьируемых факторов; x_i^* , $\tilde{x}_i^*$ – координаты наихудшей точки симплекса соответственно в кодированном и натуральном видах.

Значения исходного симплекса, а также значения варьируемых параметров в кодированном и натуральном видах, а также значения целевой функции, полученные при моделировании, представлены в табл. 1.

Анализ данных показывает, что оптимальными значениями варьируемых параметров являются значения, соответствующие точке симплекса z_9 , т.е. глубине расположения радиуса кольцевой проточки. Она должна составлять не более 50 мм, а угол наклона внутренней грани закрылка должен составлять примерно 5,2°. Процесс оптимизации осуществлялся для бандаж $\varnothing 6100$ мм и полученные оптимальные значения целесообразно задать в пропорции от геометрических параметров самого бандаж (рис. 5).

Значения варьируемых факторов и целевой функции

№ симплекса	Точки симплекса	x_1	x_2	$\tilde{x}_1$, мм	$\tilde{x}_2$, град	J_n , мПа
1	z_1	0	0	0	0	32,9
	z_2	+2	0	20	0	32,5
	z_3	+1	+1,73	10	1,73	31,2
	z_2, z_3, z_4	+3	+1,73	30	1,73	30,9
3	z_3, z_4, z_5	+2	+3,46	20	3,46	30,8
4	z_4, z_5, z_6	+4	+3,46	40	3,46	30,1
5	z_4, z_6, z_7	+5	+1,73	50	1,73	30,3
6	z_6, z_7, z_8	+6	+3,46	60	3,46	30,2
7	z_6, z_8, z_9	+5	+5,19	50	5,19	29,9

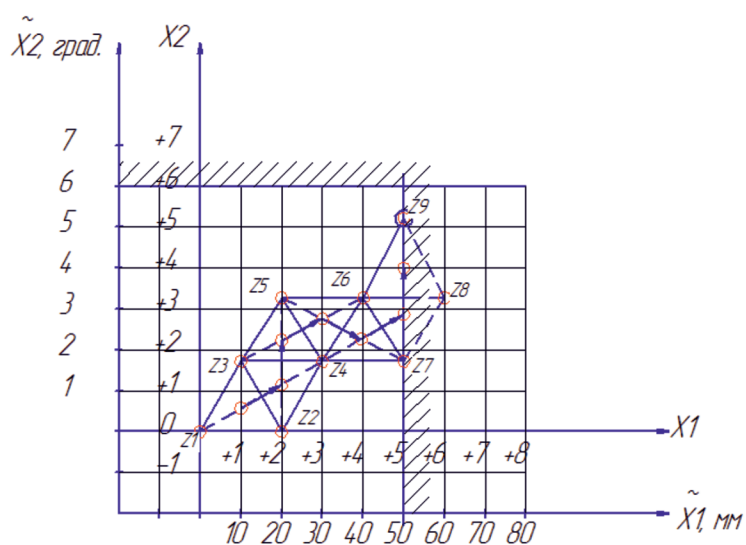
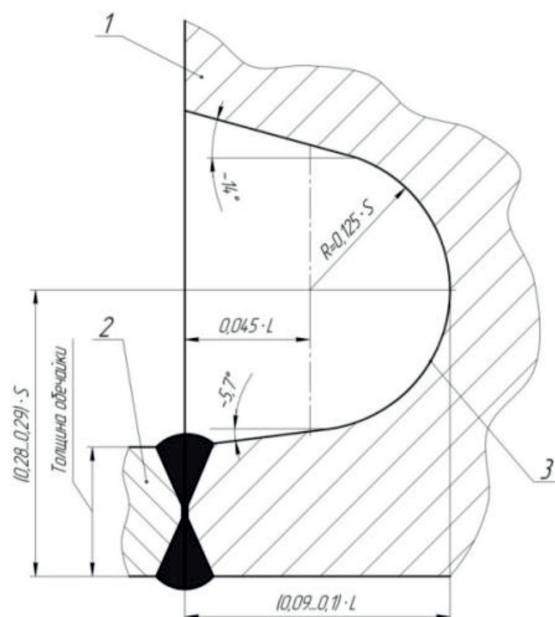


Рис. 4. Движение симплекса при оптимизации формы кольцевых фасонных проточек

Рис. 5. Оптимальная форма фасонной кольцевой проточки на торцевой поверхности бандажа, где L – длина бандажа; S – толщина бандажа

Для последующей сборки бандаж 1 вращающейся печи и элементы кольцевых обечаек 2, устанавливают на специальный стенд (рис. 6), осуществляют выверку их взаимного расположения и последующую сварку. Собранный таким образом бандаж в дальнейшем устанавливают на опору

печи и сваривают с корпусом печи. Таким образом, бандаж плавающего типа без какой-либо транспортировки на специализированные машиностроительные предприятия реконструирован во вварной тип, что при минимальных затратах позволяет существенно повысить его качество.



Рис. 6. Бандаж с кольцевыми обечаками на специальном стенде для их сварки

Список литературы

1. Банит Ф.Г., Механическое оборудование цементных заводов. – М.: Машиностроение, 1975. – 317 с.
2. Пелипенко Н.А. Исследование износа венцовой и подвенцовой шестерен, опорных роликов и бандажей, изготовленных Катав-Ивановским литейно-механическим заводом для вращающихся печей. Отчет о НИР заключительный. Белгородский технологический институт строительных материалов. № ГР 76048200. 1976. – 182 с.
3. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Щетинин Н.А. Технологический процесс реконструкции бандажей типа «П» в тип «В» // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 1. – С. 73–77.
4. Биргер И.А., Расчет на прочность деталей машин. Справочник. 3-е изд.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
5. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В., Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – Мир, 1977. – 522 с.
6. Егоров М.Е., Технология машиностроения. – Высшая школа, 1975. – 534 с.
7. Елизаветин М.А., Технологические способы повышения долговечности машин. – Машиностроение, 1969. – 398 с.
8. Калашников А.Т., Специальный станок для проточки опорных роликов вращающихся печей / Совершенствование оборудования предприятий по производству строительных материалов: сб. материалов конф. МИСИ им. В.В. Куйбышева. – БТИСМ, 1985. – С. 89–92.
9. CLIMAX. Мобильные станки для механической обработки [Электронный документ]. URL.: http://clm-nt.ru/files/Climax_Produnkt_12p_RU.pdf. (дата обращения 17.09.2014).
10. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. – Машиностроение, 1983. – 276 с.

References

1. Banit F.G., Mechanical equipment of cement plants. M. Engineering, 1975. 317 p.

2. Pelipenko N.A. Study and wear the crown podventsovoy gears, rollers and tires made Katav-Ivanovsky Foundry-Mechanical Plant for rotary kilns. The final research report. Belgorod Technological Institute of Building Materials. № GR 76048200. 1976. 182 p.
3. Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Schetinin N.A. The technological process of reconstruction of tires such as «P» in type «B» // Bulletin of BSTU Shukhov. 2014. no 1, pp. 73–77.
4. Birger I.A., Strength analysis of machine parts. Directory.: Engineering, 1979. 702 p.
5. Hartman K., Letski E., Schaefer V. Experimental Design in the study of processes. Mir, 1977. 522 p.
6. Egorov M.E. Mechanical Engineering. High School, 1975. 534 p.
7. Elizavetin M.A. technological ways to improve the durability of machines. Engineering, 1969. 398 p.
8. Kalashnikov A.T. Special machine for grooving of rollers rotating furnaces / Improvement of equipment of the construction materials.: Sat. Materials Conf. MICE. V.V. Kuibyshev Univ BTISM. 1985. pp. 89–92.
9. CLIMAX. Mobile machines for machining [electronic document]. URL.: http://clm-nt.ru/files/Climax_Produnkt_12p_RU.pdf. (date accessed 09/17/2014).
10. Korsakov V.S. Basics of designing tools. Engineering, 1983. 276 p.

Рецензенты:

Шарапов Р.Р., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные и дорожные машины», БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород;

Пастухов А.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин, ФГБОУ ВПО Белгородской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Я. Горина, пос. Майский.

Работа поступила в редакцию 05.12.2014.