

В.П. Сиваков, А.В. Вураско, Д.А. Юдаев

ДЕФОРМАЦИИ СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ ПРИ КРЕПИРОВАНИИ БУМАГИ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Введение. При крепировании бумаги на сушильных цилиндрах (СЦ) больших диаметров применяют шаберы. В процессе крепирования из-за трения шабера о СЦ происходит их износ. Для снижения износа корпуса СЦ применяют шаберы из мягких сталей, сплавов металлов и пластиков. Отмечено [Сиваков и др. 2016, 2015], что износ корпуса СЦ от трения с лезвием шабера происходит неравномерно по длине образующей. По краям СЦ на боковой поверхности происходит ускоренная наработка кольцевых канавок. Причины наработки кольцевых канавок учеными [Сиваков и др., 2015, 2016; Стукач, 2010] не исследованы.

В связи с этим цель работы – исследовать деформацию СЦ и определить влияние деформации на процесс крепирования бумаги и износ шабера и СЦ. Для ее достижения решались следующие задачи:

- установить влияние основных факторов технологического процесса СЦ на деформацию корпуса и торцевых крышек, не соединенных между собой;
- обосновать влияние основных факторов технологического процесса сушки бумаги и износа СЦ за проектный период эксплуатации на деформацию СЦ как сборочной единицы;
- установить причины образования на бумажном полотне по краям СЦ более грубого крепа, с большим шагом, чем в средней части;
- определить технологические и конструктивные факторы ускоренного износа по краям шабера и корпуса СЦ.

Методика исследования. При проектировании расчет СЦ производят для нормальных условий без учета влияния технологических и эксплуатационных факторов режима сушки и крепирования бумаги (температуры, давления, механического износа и др.) на изменение их размеров.

Рассмотрим изменение проектных размеров деталей от теплового расширения в рабочем режиме по диаметру осей их винтового соединения. Для примера исследуем СЦ диаметром $D = 4,35$ м. От теплового расшире-

ния и внутреннего давления диаметр D винтового соединения корпуса СЦ и торцевых крышек изменится неодинаково. Для раздельного изучения изменений диаметра D введем обозначения: $D_{ц}$, $D_{к}$ – диаметры осей винтового соединения корпуса СЦ и торцевых крышек соответственно. После теплового расширения и расширения от давления при установившемся рабочем режиме определим влияние факторов технологического процесса сушки и крепирования бумаги на деформацию СЦ.

Результаты исследования. Влияние тепловых процессов на деформацию корпуса и торцевых крышек СЦ. Корпус СЦ литой из стали 30, торцевые крышки литые из чугуна. Температура пара с СЦ равна 180 °С, температура дымовых газов, подаваемых в колпак скоростной сушки бумаги, составляет 300 °С. Температуру окружающего воздуха в зале бумагоделательной машины принимаем 20 °С. Корпус СЦ и торцевые крышки подвержены в рабочем режиме значительно отличающимся тепловым воздействиям. Представим СЦ с торцевыми крышками как сосуд, находящийся под действием теплового расширения каждой детали (элемента) независимо друг от друга. Температуру элементов СЦ в рабочем режиме измеряли пирометром TemPro 300 с диапазоном измерения от –50 до +380 °С. Поверхности корпуса СЦ и торцевых крышек по местам измерений очищали от загрязнений при останове машины. Измерение температуры боковой поверхности СЦ производили на расстоянии 80–100 мм от краев цилиндра после съема бумаги крепирующим шабером. Температуру торцевых крышек измеряли с лицевой и приводной сторон СЦ. Луч пирометра направляли под прямым углом к измеряемой поверхности с расстояния 0,8–1 м.

В соответствии с ГОСТ 14249–80 корпуса СЦ относятся к тонкостенным сосудам, так как у них $(S - C)/D < 0,1$, где S – толщина стенки, C – прибавка к расчетной толщине стенки.

Длина окружности тонкостенного корпуса СЦ по диаметру D при нормальных условиях ($t = 20$ °С)

$$L^{20} = \pi D = 3,14 \cdot 4,35 = 13,659 \text{ м.} \quad (1)$$

В рабочем режиме разность температур между наружной и внутренней поверхностями корпуса СЦ составляет от 10 до 20 °С [Куров, Кокушин, 2006]. Циркуляция дымовых газов ($t = 300$ °С) в сушильном колпаке повышает температуру корпуса СЦ. Экспериментальными измерениями установлено, что температура корпуса СЦ после съема бумаги крепирующим шабером равна 220 °С.

Повышение температуры стенки СЦ в рабочем режиме относительно нормальных условий составит

$$\Delta T_{\text{ц}} = 220 - 20 = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Линейное тепловое расширение корпуса СЦ определим по формуле

$$L^{200} = L^{20} k \Delta T_{\text{ц}} = 13,659 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 0,0328 \text{ м}, \quad (2)$$

где $k = (10 \dots 13) \cdot 10^{-6}$ – коэффициент теплового расширения стали, принимаем $k = 12 \cdot 10^{-6}$.

Находим длину окружности СЦ при $T_{\text{ц}} = 220 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$L^{220} = L^{20} + L^{200} = 13,659 + 0,0328 = 13,69 \text{ м}. \quad (3)$$

Определяем диаметр СЦ после нагрева:

$$D_{\text{ц}}^{220} = \frac{L^{220}}{\pi} = \frac{13,69}{3,14} = 4,3599 \text{ м}. \quad (4)$$

Увеличение диаметра СЦ после подъема температуры в рабочем режиме составляет

$$\Delta D_{\text{ц}} = D_{\text{ц}}^{220} - D = 4,36045 - 4,35 = 0,01 \text{ м} \approx 10,0 \text{ мм}.$$

Рассмотрим тепловое расширение торцевой крышки из чугуна по диаметру $D_{\text{к}} = D$. В рабочем режиме температура наружной поверхности диска крышки ($T_{\text{к}} = 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$) снижается при контакте с температурой воздуха в зале бумагоделательной машины. Экспериментальными изменениями установлено, что торцевая крышка с лицевой стороны имеет $T_{\text{к л}} = 91 \text{ }^{\circ}\text{C}$, с приводной стороны $T_{\text{к п}} = 99 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднее значение температуры принимаем $\Delta T_{\text{к}} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Отметим, что торцевая крышка не имеет теплоизоляции и не закрыта сушильным колпаком скоростной сушки бумаги.

Находим площадь кольца крышки при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$A^{20} = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{4,35^2}{4} = 14,854 \text{ м}^2.$$

Для определения площади крышки в рабочем режиме используем формулу теплового расширения площади диска

$$A^{95} = A^{20} (1 + 2 k_1 \Delta T_{\text{к}}) = 14,854 \cdot (1 + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 95) = 14,882 \text{ м}^2,$$

где $k_1 = 10 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент теплового расширения чугуна.

Увеличение диаметра крышки после подъема температуры

$$\Delta D_k = D_k^{95} - D = 4,354 - 4,35 = 0,004 \text{ м.}$$

Разность увеличения диаметров корпуса СЦ и торцевой крышки при тепловом расширении по диаметру D :

$$\Delta^T = \Delta D_{\text{ц}} - \Delta D_k = 0,01045 - 0,004 = 0,0065 \text{ м} \approx 6,5 \text{ мм.}$$

Тепловое расширение корпуса СЦ больше теплового расширения торцевых крышек, что приводит к деформации корпуса СЦ в зоне его винтового соединения с торцевыми крышками (рис. 1).

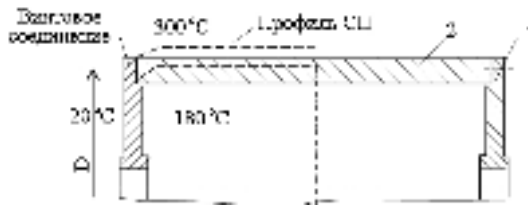


Рис. 1. Изображение деформации профиля СЦ при разном тепловом расширении по D : 1 – торцевая крышка; 2 – корпус цилиндра

Fig. 1. Image of the deformation of the DC profile at different thermal expansion according to D : 1 – end cap; 2 – cylinder body

Определим увеличение корпуса СЦ и торцевых крышек от внутреннего давления по диаметру D их винтового соединения. Принимаем, что СЦ выработал период эксплуатации. Расчетную толщину стенки определяем по формуле

$$S_p = \frac{p_m D}{2\phi[\sigma_p] - p_m} + C = \frac{0,8 \cdot 4,35}{2 \cdot 1 \cdot 100 - 0,8} = 0,0175 \text{ м} \approx 17,5 \text{ мм.} \quad (5)$$

где $p_m = 0,8$ МПа – максимальное рабочее давление пара в СЦ отечественного производства; $\phi = 1$ – коэффициент прочности сварных швов; $[\sigma_p] = 100$ МПа – допускаемое напряжение на растяжение стали 30 [Анурьев, 2001]; C – прибавка к расчетной толщине стенки корпуса СЦ, так как СЦ выработал проектный период эксплуатации $C = 0$.

Относительное удлинение периметра СЦ при внутреннем давлении p_m определяем по формуле

$$\varepsilon = [\sigma_p] / E = 100 / 2 \cdot 10^5 = 0,0005, \quad (6)$$

где $E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругого сопротивления стали 30.

Диаметр СЦ при действии внутреннего давления

$$D_p = D + \varepsilon D = 4,35 + 0,0004 \cdot 4,35 = 4,352 \text{ м.} \quad (7)$$

Увеличение диаметра от действия внутреннего давления

$$\Delta D_{ц\ p} = D_p - D = 4,352 - 4,35 = 0,002 \text{ м} = 2 \text{ мм.} \quad (8)$$

Крышку представим в виде кольца с центральным отверстием под цапфу подшипниковой опоры (рис. 2).

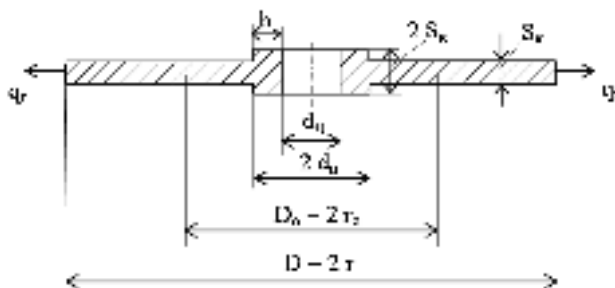


Рис. 2. Схема торцевой крышки: D – диаметр крышки по осям винтового соединения СЦ; $d_{ц}$ – диаметр отверстия под цапфу; S_k – толщина крышки; b – ширина ступицы; q_r – равномерно распределенная сила действующая на кольцо (крышку) в радиальном направлении

Fig. 2. Scheme end cap: D – diameter of the cover along the axes of the screw connection of DC; $d_{ц}$ – diameter of the hole for the axle; S_k – thickness of the cover; b – the width of the wheel hub; q_r – uniformly distributed force acting on the ring (cover) in the radial direction

Расчет крышки производим по теории пластинок [Биргер и др., 1979], так как толщина крышки S_k значительно меньше ее диаметра D , а отношение $S_k/D < 0,01$. Рассматриваем крышку как тонкое кольцо, нагруженное равномерно распределенной силой q_r :

$$q_r = p_m S_k = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,05 = 4 \cdot 10^4 \text{ Н/м,} \quad (9)$$

где $p_m = 0,8$ МПа – максимальное рабочее давление пара в СЦ; $S_k = 0,05$ м – толщина стенки.

Расчетную силу в поперечном сечении кольца (крышки) определяем по формуле

$$F_r = q_r D / 2 = 4 \cdot 10^4 \cdot 4,35 / 2 = 8,7 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Напряжение растяжения в кольце определяем по формуле

$$\sigma_p = F_r / A = F_r / S_k D = 8,7 \cdot 10^4 / 0,05 \cdot 4,35 = 40 \cdot 10^4 \text{ Па} = 0,4 \text{ МПа.} \quad (10)$$

Отметим, что $\sigma_p < [\sigma_p] = 100 \text{ МПа}$ для стали 30.

Перемещение кольца в радиальном направлении определяем по радиусу $r = D/2$:

$$\Delta r = \frac{\sigma_p D}{2FA} = \frac{\sigma_p D}{2ES_k D} = \frac{0,4 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,05} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

При перемещении кольца в радиальном направлении диаметр крышки $D = D_k$ увеличится на $\Delta D_k = 2 \Delta r = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,04 \text{ мм}$.

Таким образом, от действия внутреннего давления в СЦ разность приращения диаметров составит:

$$\Delta D = \Delta D_{цп} - \Delta D_k = 2 - 0,4 = 1,6 \text{ мм.}$$

Изменение диаметра D от теплового расширения и от действия внутреннего давления пара в СЦ имеет одностороннее направление. Общее увеличение диаметра D приведено в таблице.

Изменение диаметра D по осям винтового соединения корпуса СЦ и торцевых крышек в рабочем режиме

Changing the diameter D along the axes of the screw connection of the housing of the DC and the end caps in the operating mode

Наименование и размерность измеренных величин	Размер D при нормальных условиях, мм	Приращение $D_{ц}, D_k$ при рабочем режиме, мм			Размеры $D_{ц}, D_k$ при рабочем режиме, мм
		Тепловое расширение		Расширение от давления $p = 0,8 \text{ МПа}$	
		$\Delta T_{ц} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T_k = 95 \text{ }^\circ\text{C}$		
Диаметр $D_{ц}$ корпуса СЦ, мм	4375	10,4		2	4387
Диаметр D_k торцевых крышек, мм			4	0,04	4379
Разность приращения диаметров			6,4	1,96	

Расчетами установлено, что в рабочем режиме диаметр D по осям винтового соединения корпуса СЦ имеет на 8 мм (в три раза) большее прира-

шение, чем торцевые крышки. От внутреннего давления и тепловых воздействий происходит совместная деформация элементов СЦ [Конторович, 1960]. Деформация изменяет геометрические размеры в зоне винтового соединения корпуса СЦ с торцевыми крышками (рис. 3).

На краевых участках $\Delta l = (2,5-3)$ толщинам торцевых крышек, см. рис. 3, при деформации СЦ происходит уменьшение $D_{ц}$ до $D_{к}$. Образующая линия корпуса СЦ приобретает криволинейный изгиб по направлению к торцевым крышкам. На участках Δl между образующей корпуса СЦ и лезвием шабера происходит образование зазоров и нарушается технология крепления, что сопровождается задирами и обрывами полотна бумаги.

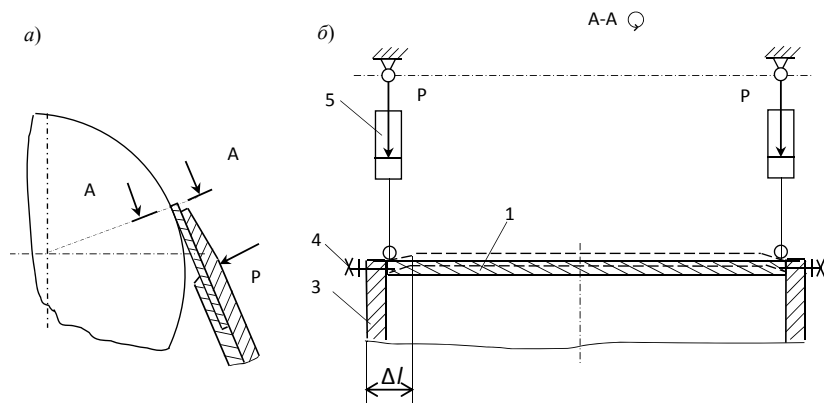


Рис. 3. Схема взаимодействия крепирующего шабера с поверхностью Янки-цилиндра: а – вид с лицевой стороны; б – разрез по А-А

1 – корпус цилиндра; 2 – шабер; 3 – торцевая крышка; 4 – винтовое соединение; 5 – механизм прижима

Fig. 3. Scheme of interaction of the crepe scraper with the surface Yankee-cylinder: а – view from the front side; б – section on A-A

1 – cylinder body; 2 – scraper; 3 – end cover; 4 – screw connection; 5 – clamping mechanism

Для устранения зазоров между корпусом СЦ и лезвием шабера применяют пневматические прижимные устройства (см. рис. 3). Прижимные устройства устанавливают между краями крепирующего шабера и станинами сушильной части. Нож крепирующего шабера прижимают к образующей корпуса СЦ с давлением 50–75 кПа [Куров, Кокушин, 2017]. Степень прижима шабера к СЦ регулируют изменением давления воздуха.

Для устранения зазоров и обеспечения качественного крепа бумаги по краям шабер плотно прижимают по образующей к СЦ. От консольных сил прижима по краям СЦ шабер изгибается по условной оси.

Максимальное давление шабера по линии контакта с СЦ характерно для участков изгиба и перехода от цилиндрической формы СЦ к криволинейной. Минимальное давление создается по линии контакта в середине боковой поверхности СЦ. Максимальные силы трения между шабером и корпусом СЦ на участках изгиба приводят к ускоренному местному износу шабера и боковой поверхности СЦ.

Материал шабера имеет меньшую твердость и износостойкость по сравнению материалом СЦ. Замену ножа шабера из-за образования канавок на лезвии производят, как правило, два раза за восьмичасовую смену. Корпус СЦ перешлифовывают и восстанавливают наружную поверхность не чаще одного раз в год. За длительный период на участках изгиба по боковой поверхности СЦ происходит наработка более глубоких, чем на лезвии шабера, кольцевых канавок. Предотвращению задиров бумаги по краям СЦ и замедлению углубления кольцевых канавок на СЦ способствует осевая осцилляция шаберов.

Если при эксплуатации не производят периодического восстановления износа боковой поверхности СЦ, происходит нарушение крепирования бумаги, задиры, попадание бумаги в зазор между лезвиями шабера и кольцевой канавкой на СЦ. В результате снижают ширину бумажного полотна на 90–130 мм.

В технологическом отношении деформация боковой поверхности СЦ влияет на равномерность крепа. В зоне изгиба по краям СЦ наружный диаметр $D_{нк}$ меньше, чем в середине $D_{нц}$.

Скорость полотна бумаги V , поступающего на СЦ, равна окружной скорости $V_{нц}$:

$$V_{нц} = \pi D_{нц} n,$$

где n – частота вращения СЦ, об/мин;

При $D_{нк} < D_{нц}$ окружная скорость $V_{нк}$ по краям СЦ будет меньше скорости V бумажного полотна, $V_{нк} < V$. Следовательно, по краям креп получается более грубым с большим шагом, чем в средней части СЦ.

Для предотвращения неравномерного крепа по ширине полотна бумаги и устранения местного износа шабера и боковой поверхности СЦ в зонах изгиба при проектировании и модернизации можно применить следующие решения:

– торцевые крышки закрывать по наружной поверхности так же, как и корпус СЦ, сушильным колпаком для обеспечения равного температурного режима;

- торцевые крышки изготавливать с теплыми кольцевыми компенсаторами;
- при проектировании длину СЦ следует увеличить на длину двух участков изгиба по его краям ($2\Delta l$) (см. рис. 3).

Выводы.

1. Установлено, что при раздельном исследовании деформации корпуса СЦ и торцевых крышек от тепловых процессов и внутреннего давления происходит увеличение их размеров. Корпус СЦ, по сравнению с торцевыми крышками, имеет на одном и том же диаметре в три раза большее приращение.

2. От значительного различия в увеличении размеров в рабочем режиме СЦ деформируется в зонах винтового соединения корпуса с крышками как тонкостенный сосуд. Деформация образующей корпуса СЦ имеет криволинейную форму с уклоном к оси цилиндра по направлению к торцевым крышкам. Деформация образующей СЦ локальна, снижается в направлении от торцевых крышек к центру СЦ и на расстоянии 2,5–3 толщины стенки торцевой крышки затухает.

3. Прижим шабера к образующей корпуса СЦ создает максимальную нагрузку на криволинейных участках, где происходит от сил трения ускоренный износ лезвия шабера и корпуса СЦ с наработкой кольцевых канавок.

4. На криволинейных участках корпуса СЦ происходит уменьшение его наружного диаметра по направлению к торцевым крышкам, что приводит к образованию на полотне бумаги по краям СЦ более грубого и с более длинным шагом крепа, чем в средней части СЦ.

Библиографический список

Анурьев А.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1. 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. 920 с.

Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Б.Г. Расчет на прочность деталей машин: справочник. М.: Машиностроение, 1979. 702 с.

Которович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. лит., 1960. 743 с.

Куров В.С., Кокушин Н.Н. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины / под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 588 с.

Куров В.С., Кокушин Н.Н. Машины для производства бумаги и картона / под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 646 с.

Сиваков В.П., Микушина В.Н. Температурная деформация сушильных цилиндров // Молодежный научный вестник. 2016. № 6. С. 67–71.

Сиваков В.П., Микушина В.Н., Вураско А.В., Стоянов О.В., Гребенчиков Ю.М. Применение трендового анализа при диагностировании технического состояния циркуляционного насоса и сушильных цилиндров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 6. С. 17–19.

Стукач В.Н. Расчет крышек сушильных цилиндров // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2010. № 4. С. 4–6.

References

Anur'ev A.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya. V 3 t. T. 1. 8-e izd., pererab. i dop. Pod. red. I.N. ZHestkovoj. M.: Mashinostroenie, 2001. 920 p.

Birger I.A., SHorr B.F., Iosilevich B.G. Raschet na prochnost' detalej mashin: spravochnik. M.: Mashinostroenie, 1979. 702 p.

Kontorovich Z.B. Osnovy rascheta himicheskikh mashin i apparatov. M.: gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izd-vo mashinostroitel'noj literatury, 1960. 743 p.

Kurov V.S., Kokushin N.N. Teoriya i konstrukciya mashin i oborudovaniya otrasli. Bumago- i kartonodelatel'nye mashiny / pod red. V.S. Kurova, N.N. Kokushina.: uch. posobie. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2006. 588 p.

Kurov V.S., Kokushin N.N. Mashiny dlya proizvodstva bumagi i kartona / pod red. V.S. Kurova, N.N. Kokushina. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2017. 646 p.

Sivakov V.P., Mikushina V.N. Temperaturная деформация сушильных цилиндров. *Molodezhnyj nauchnyj vestnik*, 2016, no. 6, pp. 67–71.

Sivakov V.P., Mikushina V.N., Vurasko A.V., Stoyanov O.V., Grebenshchikov Yu.M. Primenenie trendovogo analiza pri diagnostirovaniy tekhnicheskogo sostoyaniya cirkulyacionnogo nasosa i sushil'nyh cilindrov. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*, 2015, no. 6, pp. 17–19.

Stukach V.N. Raschet kryshek sushil'nyh cilindrov. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, no. 4, pp. 4–6.

Материал поступил в редакцию 25.06.2020

Сиваков В.П., Вураско А.В., Юдаев Д.А. Деформации сушильных цилиндров при крепировании бумаги и методы их устранения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 196–207. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.196-207

При крепировании бумаги на сушильных цилиндрах (СЦ) больших диаметров происходит износ лезвий шаберов и поверхности СЦ. Износ от трения лезвия шабера по поверхность корпуса СЦ неравномерен. По краям СЦ по боковой поверхности происходит ускоренная выработка канавок, а на лезвии шабера – ускоренный локальный износ лезвия. Цель работы – исследовать деформацию СЦ и определить влияние деформации на процесс крепирования бумаги и износ шабера и СЦ. Методология основана вначале на исследовании

раздельной деформации корпуса СЦ и торцевых крышек как деталей, а затем совместной деформации СЦ как сборочной единицы от факторов технологического процесса и износа СЦ в период эксплуатации. В качестве основных факторов технологического процесса, вызывающих деформацию деталей по отдельности и СЦ в целом, приняты тепловые процессы сушки бумаги и внутреннее давление в СЦ. При исследованиях экспериментально измерена температура корпуса СЦ и торцевых крышек с лицевой и приводной сторон. Измерения выполнены пирометром TemPro 300. Действие процессов рабочего режима на корпус СЦ и крышки как отдельных деталей приводит к существенным отличиям в изменении их сопрягаемых размеров. В рассматриваемом примере корпус СЦ по диаметру сопряжения с крышками имеет в три раза большее приращение, чем крышка. Как сборочная единица СЦ деформируется с образованием изгиба на образующей с уклоном к оси цилиндра в направлении к крышкам. Деформация образующей СЦ локальна, снижается от крышек к центру СЦ и на расстоянии в 2,5–3 толщины стенки крышки затухает. На участках изгиба происходит ускоренный износ лезвия шабера и корпуса СЦ от прижима шабера. На участках изгиба СЦ имеет меньший диаметр, чем в средней части, что приводит к образованию по краям бумаги крепа с более длинным шагом.

Ключевые слова: деформация, сушильный цилиндр, торцевая крышка, тепловые процессы, давление, диаметр, шабер, креп.

Sivakov V.P., Vurasko A.V., Yudaev D.A. Deformations of drying cylinders during paper creping and methods of their elimination. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2020, is. 232, pp. 196–207 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.196-207

When creping paper on drying cylinders (DC) of large diameters, the blades of scrapers and the surface of the DC wear out. Wear from friction of the scraper blade on the surface of the housing of the DC is not uniform. Along the edges of the DC on the side surface, there is an accelerated development of grooves, and on the scraper blade – accelerated local wear of the blade. The purpose of the work is to study the deformation of the DC and determine the effect of deformation on the process of crepe paper and wear of the scraper and DC. The methodology is based first on the study of separate deformation of the DC body and end caps as parts, and then joint deformation of the DC as an Assembly unit, due to factors of the technological process and wear of the DC during operation. As the main factors of the technological process that cause the deformation of parts individually and the DC as a whole, the thermal processes of paper drying and internal pressure in the DC are accepted. During the research, the temperature of the DC housing and end caps on the front and drive sides was measured experimentally. Measurements were made with a TemPro 300 pyrometer. The action of the operating mode processes on the housing of the DC and the cover, as separate parts, leads to significant differences in changing their mating dimensions. In this example, the housing of the DC has a three-times greater increment in the diameter of the interface with the covers than the cover. As an Assembly unit, the DC is deformed

with the formation of a bend on the generator with a slope to the axis of the cylinder in the direction of the covers. The deformation of the forming DC is local, it decreases from the covers to the center of the DC and, at a distance of 2.5–3 of the thickness of the cover wall, it fades. At the bend sections, the scraper blade and the DC housing are accelerated by the scraper's pressure. In the bending sections, the DC has a smaller diameter than in the middle part, which leads to the formation of crepe along the edges of the paper with a longer step.

Key words: deformation, drying cylinder, end cap, thermal processes, pressure, diameter, scraper, crepe.

СИВАКОВ Валерий Павлович – профессор кафедры теоретической механики и оборудования целлюлозно-бумажного производства Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: Sivakov.VP@yandex.ru

SIVAKOV Valeriy P. – DSc (Technical), Professor department of technical and equipment of technology of pulp and paper industries Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: Sivakov.VP@yandex.ru

ВУРАСКО Алеся Валерьевна – заведующая кафедрой технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: Vurasko2010@yandex.ru

VURASKO Alesya V. – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: Vurasko2010@yandex.ru

ЮДАЕВ Даниил Александрович – магистрант по направлению Технологические машины и оборудование.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: danijudi110695@mail.ru

YUDAEV Daniil A. – master Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: danijudi110695@mail.ru