

ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ И ИЗНОСА В КОНТАКТНЫХ ЗОНАХ ОФСЕТНОГО ЦИЛИНДРА ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

А.А. Маргарян, Р.Н. Барсегян

Национальный политехнический университет Армении

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния и относительных перемещений упругих покрытий в контактных зонах офсетного цилиндра полиграфической машины. Для обеспечения стабильного качества печатной продукции важными условиями являются постоянство давления в зоне контакта основных типографских цилиндров и исключение их относительного смещения, вызывающего нарушение перемещения типографской бумаги через зону контакта. Показано, что эти явления вызывают переменное напряженно-деформированное состояние, что, в свою очередь, при динамичном нагружении инициирует относительное скольжение в контактной зоне и вызывает необходимость их комплексного исследования. Получены соотношения для определения указанных деформаций и выполнения количественной оценки относительного скольжения. Из-за разности химико-физических свойств материалов (сталь, композиционный полимерный каучук, типографская бумага, печатная краска), а также наличия воздействия жидкостей в контактной зоне происходят процессы износа и повреждений каучукового слоя офсетного покрытия цилиндра. В условиях совместного действия относительного скольжения и коррозионной среды, которые инициируют процесс усталостного износа, для количественной оценки процесса выбрано уравнение коррозионной усталости. Влияние указанных факторов значительно для офсетной пленки, которая за один оборот цилиндра дважды проходит через контактную зону и не успевает полностью восстановиться из-за наличия остаточных деформаций. Рассчитаны циклическая долговечность и значение линейного износа наружного каучукового слоя офсетного покрытия цилиндра за весь срок службы, как наиболее слабого элемента в контактной зоне. Учитывая циклическое изменение напряжений в зоне контакта, определены срок службы поверхностной пленки и величина ее линейного износа.

Ключевые слова: полиграфическая машина, офсетное покрытие, относительное скольжение, износ, циклическая долговечность.

Введение. Рост объемов полиграфического производства в последнее десятилетие, а также возрастающие требования к качеству печатной продукции диктуют необходимость повышения ее производительности, применения новых технологических процессов и полиграфических материалов, обеспечения нормальных режимов работы полиграфического оборудования за назначенный

срок службы. Для этого необходимо создать оптимальные условия работы в зоне печати, которые могут меняться с повышением производительности продукции.

Важным фактором является также сохранение постоянства давления в зоне контакта основных типографских цилиндров и исключение их относительного перемещения. Для исключения указанных отрицательных явлений необходимо детальное исследование напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев офсетных цилиндров, так как при вариации рабочих скоростей машины меняются деформации этих слоев из-за применения в них составных эластичных материалов. Переменные деформации вызывают относительное скольжение и снижение давления по длине контактной зоны и инициируют процессы трения и износа, что, в конечном счете, может привести к снижению качества продукции, а также сокращению срока службы оборудования. Анализ известных исследований свидетельствует о дифференцированном подходе к изучению действующих факторов, однако только при комплексном и совместном их рассмотрении возможно получить данные, способствующие повышению качества и необходимых объемов продукции.

Постановка задачи и цель исследования. Целью настоящей статьи является улучшение качества печатной продукции путем управления деформационными характеристиками узлов полиграфических машин, а также исследование напряженно-деформированного состояния, трения и износа в контактной зоне офсетного цилиндра для обеспечения нормального процесса печати.

Напряженно-деформированное состояние в зоне печати исследовано методами решения контактных задач теории упругости, а при статическом и динамическом режимах нагружения применен программный пакет ANSYS, основанный на методе конечных элементов [7]. Определены количественные показатели, обеспечивающие работоспособность рабочих поверхностей при сохранении качества продукции за весь срок службы типографского оборудования.

Для снижения влияния переменного напряженно-деформированного состояния и относительного скольжения в контактной зоне используется многослойная композиционная пленка, которая легко деформируется, обеспечивает плотность контакта и легко восстанавливается после выхода из контакта (рис. 1).

Методы исследования. Ширину контактной линии (рис.2) можно определить из соотношений

$$(R_{\text{печ}} - \delta_1)^2 + (a/2)^2 = R_{\text{печ}}^2, \quad (R_{\text{офс}} - \delta_2)^2 + (a/2)^2 = R_{\text{офс}}^2, \quad (1) \\ \delta_1 = a^2/8R_{\text{печ}} \quad \delta_2 = a^2/8R_{\text{офс}},$$

откуда

$$a = 2\sqrt{2R_{\text{печ}}R_{\text{офс}}\delta_{\text{max}}/(R_{\text{печ}} + R_{\text{офс}})} , \quad (2)$$

где

$$\delta_{\text{max}} = \delta_1 + \delta_2. \quad (3)$$

$$\text{При } R_{\text{печ}} = R_{\text{офс}} = R: \quad a = 2\sqrt{R\delta_{\text{max}}} .$$

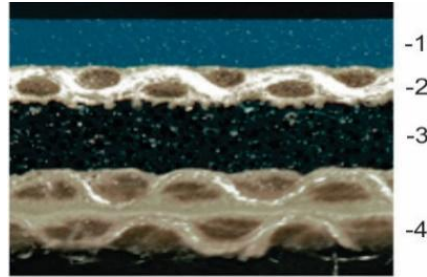


Рис. 1. Поверхностная пленка офсетного цилиндра. Слои: 1 – хлоропренового каучука, 2, 4 – резиноканевых прослоек, 3 – пористой резиновой прослойки

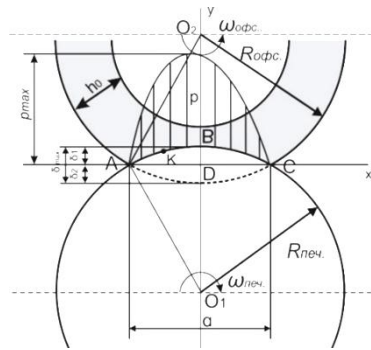


Рис. 2. Схема контактной зоны офсетного цилиндра

Разность мгновенных контактных радиусов офсетного цилиндра в точках A и B вызывает переменность линейных скоростей $v_{\text{офс}A}$ и $v_{\text{офс}B}$ и появление ускорения a_v в контактной линии [1], которое на участке AB равно

$$a_v = (v_{\text{офс}A} - v_{\text{офс}B})/t/2 = 2\omega_{\text{офс}}\delta_{\text{max}}v_{\text{печ}}/a, \quad (4)$$

где $t = a/v_{\text{печ}}$ – время прохождения участка AB ; $v_{\text{печ}}$ – линейная скорость печатного цилиндра ($v_{\text{печ}} = \text{const}$).

Траектория точки K на офсетном цилиндре определяется как

$$S_{\text{офс}} = v_{\text{офс}A}t - a_v t^2/2, \quad (5)$$

а согласно (4) и (5) – $S_{\text{офс}} = \omega_{\text{офс}}a(2R_{\text{офс}} - \delta_{\text{max}})/4v_{\text{печ}}$.

Разность положений поверхностных точек $K_{\text{печ}}$ и $K_{\text{офс}}$ на указанных цилиндрах при вращении равна

$$\Delta S = S_{\text{печ}} - S_{\text{офс}} = a/2 - \omega_{\text{офс}} a (2R_{\text{офс}} - \delta_{\text{max}}) / 4v_{\text{печ}} = \\ = a/2 (1 - R_{\text{офс}}/R_{\text{печ}} + \delta_{\text{max}}/2R_{\text{печ}}).$$

Согласно (2), имеем

$$\Delta S = \sqrt{2\delta_{\text{max}}i/(R_{\text{офс}} + R_{\text{печ}})} (\Delta R + \delta_{\text{max}}/2), \quad (6)$$

где $i = R_{\text{офс}}/R_{\text{печ}}$, $\Delta R = R_{\text{печ}} - R_{\text{офс}}$.

Учитывая, что $i = 1$, $R_{\text{офс}} = R_{\text{печ}} = R$, $\Delta R = 0$, имеем

$$\Delta S_{\text{min}} = 2 \sqrt{\delta_{\text{max}}^3/R}. \quad (7)$$

Применение синтетических полимерных материалов с металлами в типографских машинах приводит к трению и износу разнородных контактирующих поверхностей. Поверхностные повреждения, в основном, возникают от относительного скольжения и циклического нагружения. Влияние указанных факторов значительно для офсетной пленки, которая за один оборот цилиндра дважды проходит через контактную зону и не успевает полностью восстановиться из-за наличия остаточных деформаций. Наличие типографской бумаги, в свою очередь, вызывает износ за счет появления в контакте мелких частиц бумаги.

Аналогичные явления происходят и на поверхности печатной формы, которая деформируется при наличии увлажняющей жидкости, печатной краски и износа частиц бумаги. При этом появление на поверхности печатной формы клееобразной среды “краска-вода-частицы бумаги” вызывает дополнительное натяжение по краям формы и влияет на качество продукции.

Результаты исследования. Для оценки работоспособности офсетной пленки рассмотрено совместное действие циклического нагружения и износа. Циклическая долговечность поверхностной прослойки рассчитывается с использованием уравнения кривой коррозионной усталости хлоропренового каучука [2]:

$$\lg N = \lg C'_k - m'_k \lg \sigma_{\text{max}} \quad \text{или} \quad N = C'_k / \sigma_{\text{max}}^{m'_k}, \quad (8)$$

где C'_k , m'_k - параметры правой ветви кривой усталости.

Используя координаты точки перегиба кривой усталости, получим

$$N \sigma_{\text{max}}^{m'_k} = N_{Gk} \sigma_{-1k}^{m'_k}. \quad (9)$$

Обозначив $\sigma_{-1k} = k \sigma_R$, где σ_R - предел прочности каучука, и приняв $k \approx 0,3$, $N_{Gk} = 5 \cdot 10^6$ циклов, получим

$$N = 5 \cdot 10^6 (k \sigma_R / \sigma_{\text{max}})^{m'_k}. \quad (10)$$

Значения k, σ_R и m'_k взяты из справочной литературы [3, 4]. Во время одного поворота офсетный цилиндр дважды входит в зону контакта, следовательно, за один час делает $N = 2 \cdot 60n$ циклов, где n - число оборотов цилиндра (цикл/час). В случае действия напряжения σ_{max} срок службы в часах определяется выражением

$$t = \frac{N}{120n} \text{ час.} \quad (11)$$

Для слоя хлоропренового каучука: $\sigma_R = 2,6 \text{ МПа}$, $m'_k \approx 3$, $k \approx 0,3$ [2,5,6].

С использованием пакета ANSYS при динамическом режиме работы ленточной бумаги с продольными волокнами N2 получены максимальные напряжения – $\sigma_{max} = 0,206 \text{ МПа}$ и деформации сжатия – $\delta_{max} = 6,23 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$ [7].

При $n = 120$ (цикл/час), согласно (10) и (11), получено

$$N = 0,27143 \cdot 10^9 \text{ цикл, } t = 18849 \text{ час.}$$

Согласно количеству рабочих недель в год (51 неделя) и двухчасовому режиму работы в неделю ($40 \times 2 = 80 \text{ час}$), получен срок службы (в годах) обслуживания для верхнего слоя офсетной пленки: $T = t/4080 = 4,62$.

Для определения линейного износа упругой прослойки использована зависимость И.В. Крагельского [8]: $\Delta h = kp^m l$, которая при стационарном режиме работы оборудования принимает вид [2]

$$h = kpl, \quad (12)$$

где $k = 6,05 \cdot 10^{-8}$ – коэффициент пропорциональности; $p = 0,8 \text{ МПа}$ – давление в зоне контакта; $R_{офс} = 106,7 \text{ мм}$ [7]; $l = aN$ – общая длина траектории трения; N – циклическая долговечность; a – ширина зоны контакта.

Согласно (12), получена величина линейного износа:

$$h = 0,068 \text{ мм.}$$

Для получения длины относительного скольжения использована зависимость (7), согласно которой имеем

$$\Delta S = 0,0311 \text{ мм.}$$

Заключение. Рассмотрен процесс коррозионного износа поверхностного слоя пленки офсетного цилиндра. С этой целью при переменном режиме нагружения применена математическая модель линейного коррозионного износа. Результаты исследования и моделирования разнородных процессов, протекающих в контактной зоне цилиндров при наличии материалов с разными физико-химическими свойствами, показали, что эти материалы влияют не только на качество продукции, но и на несущую способность и долговечность элементов конструкции из-за макроструктурных изменений поверхностных слоев.

Учитывая циклическое изменение напряжений в зоне контакта, определены срок службы поверхностной пленки (около 4 лет) и величина

линейного износа пленки, которая не превышает 20% ее общей толщины. Полученные результаты можно использовать для обеспечения нормальных условий работы типографских машин и повышения качества продукции при производительности выпуска до 7200 шт./час.

Литература

1. **Штоляков В.И., Аль Халаби Рафе.** Геометрическое скольжение цилиндров в контактных зонах офсетного печатного аппарата // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. - 2007. - № 5.- С. 10-15.
2. **Проников А.С.** Параметрическая надежность машин.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
3. **Мур Д.** Трение и смазка эластомеров / Пер. с англ. Г.И. Бродского. – М.: Химия, 1987.- 264 с.
4. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Кн. 2 / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисына. – М.: Машиностр., 1989. – 358 с.
5. **Липатов Ю.С.** Физико-химические основы наполнения полимеров.- М.: Химия, 1991.- 260 с.
6. Пластины офсетные резинотканевые. Общие технические условия: Мет. рекоменд.- М.: МГУП, 2004.- 981с.
7. **Մարգարյան Ա.Ա., Բարսեղյան Ռ.Ն., Վերլինսկի Ա.Վ.** Տպագրական մեքենաների աշխատանքային գոտիներում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի հետազոտումը // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր.– 2018.– Հ.15, № 1. – էջ 88-92:
8. **Крагельский И.В. Михин Н.М.** Узлы трения машин: Справочник.- М.: Машиностроение, 1994.- 280 с.

Поступила в редакцию 05.05.2018.

Принята к опубликованию 04.06.2018.

ՊՈԼԻԳՐԱՖԻԱԿԱՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՕՖՍԵԹ ԳԼԱՆԻ ՀՊՄԱՆ ԳՈՏԻՆԵՐՈՒՄ ՇՓՄԱՆ ԵՎ ՄԱՇՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Ա.Ա. Մարգարյան, Ռ.Ն. Բարսեղյան

Կատարված է տպագրական մեքենայի օֆսեթ գլանի հպման գոտում առաձգական թաղանթի դեֆորմացիոն վիճակի և հարաբերական տեղաշարժերի կինեմատիկական վերլուծություն: Կարևոր պայմաններ են համարվում հիմնական տպագրական գլանների հպման գոտում մշտական ճնշման ապահովումը և հարաբերական տեղաշարժերի բացառումը: Վերջինն առաջացնում է հպագոտում տպագրական թղթի տեղաշարժման խախտումներ: Ցույց է տրված, որ այդ երևույթներն առաջացնում են փոփոխական լարվածադեֆորմացիոն վիճակ, իսկ այդ վիճակը, իր հերթին, հպման գոտում դինամիկ բեռնվածության դեպքում հարաբերական սահքի պատճառ է դառնում և առաջադրում նշված երևույթների համալիր հետազոտության անհրաժեշտություն: Արդյունքում՝ ստացվել են առնչություններ այդ դեֆորմացումները որոշելու և հարաբերական սահքի քանակական գնահատումներ կատարելու համար: Հպման գոտում նյութերի (պողպատ, կոմպոզիտային պոլիմեր կաուչուկ, տպաթուղթ, տպաներկ), ինչպես նաև հեղուկների ներգործման հետևանքով առկա են մաշման և վնասվածքների առաջացման գործընթացներ: Հպման

գոտում հարաբերական սահքի և կոռոզիոն միջավայրի համատեղ ազդեցության պայմաններում, որոնք հարուցում են մաշման գործընթաց, երևույթի քանակական գնահատման նպատակով որպես մաթեմատիկական մոդել ընտրվել են կոռոզիոն հոգնածային երկնյուղ գծերի հավասարումները: Նշված գործոնների ազդեցությունները մեծ են օֆսեթային թաղանթի համար, որը գլանի մեկ պտույտի ընթացքում երկու անգամ է մտնում հպման գոտի և մնացորդային դեֆորմացումների ազդեցությամբ չի հասցնում ամբողջովին վերականգնվել: Հաշվարկվել են հպման գոտում համեմատաբար ցածր ամրություն և մաշակայունություն ունեցող օֆսեթային թաղանթի կաուչուկե արտաքին շերտի ցիկլային երկարակեցությունը և գծային մաշման չափը ծառայության ժամկետում:

Առանցքային բառեր. պոլիգրաֆիական մեքենա, օֆսեթային թաղանթ, հարաբերական սահք, մաշում, ցիկլային երկարակեցություն:

ASSESSING THE FRICTION AND WEAR PROCESSES IN THE OFFSET CYLINDER CONTACT ZONES OF PRINTING MACHINES

A.A. Margaryan, R.N. Barseghyan

An analysis of the stress-strain state and relative displacements of the elastic coatings in the contact areas of the offset cylinder of the printing machine is performed. To ensure a stable quality of the printing product, the constant pressure in the contact area of the main printing cylinders and the exclusion of their relative displacement are very important which causes violations of the movement of the printing paper in the contact zone. It is shown that these phenomena cause an alternating stress-strain state, which, in turn, initiates a relative slip under dynamic loading in the contact zone and makes it necessary to completely investigate the mentioned phenomena. As a result, ratios for the determination of the mentioned deformations and the quantitative estimation of the relative slip are obtained. Due to the difference in the chemical-physical properties of materials (steel, composite polymer rubber, printing paper, printing ink), as well as the impact of the liquids in the contact zone, wear and damage processes of the rubber layer of the offset coating of the cylinder occur. Under the conditions of combined action of the relative slip and corrosive environment that initiate the fatigue wear process, for the quantitative assessment of the process the corrosion fatigue equation is selected. The influence of these factors is significant for the offset coating that passes through the contact zone twice in one turn of the cylinder and does not have time to fully recover due to the presence of residual deformations. The cyclic durability and the value of linear wear of the outer rubber layer of the offset coating with relatively low solidity and wear sturdiness in the contact zone are calculated for the entire service life. Considering the cyclic changes of stresses in the contact zone, the durability of the surface film and the magnitude of its linear wear are determined.

Keywords: printing machine, offset coating, relative slip, wear, cyclic durability.