

Упругое проскальзывание в задачах печати под давлением

Людмила Ю. Комарова	¹	luknew@ya.ru	 0000-0003-3005-6411
Станислав Ю. Ямилинец	¹	ymlnz@ya.ru	 0000-0002-9598-1117
Леонид Д. Дмитриев	¹	dmidigit@gmail.com	 0009-0005-0832-6093
Вячеслав К. Долгонос	¹	dolgonosov@inbox.ru	
Александр П. Кондратов	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. В полиграфической промышленности наиболее распространенными являются офсетная печать и флексография. Эти виды печати имеют неизбежные искажения репродуцируемого изображения. Постоянное неизбежное искажение происходит из-за проскальзывания упругих поверхностей в полосе контакта во время печатного процесса. В целях решения этой проблемы был проведен натурный эксперимент печати меток регистра по технологии, разработанной и запатентованной компанией Techkon. Эксперимент был направлен на изучение искажений, которые могут возникнуть при соприкосновении формного и офсетного цилиндров. В качестве поверхности формного и офсетного цилиндров печатных машин использовались жесткая металлическая форма и офсетное резинотканевое полотно, являющиеся текстолитом. В результате эксперимента было обнаружено, что искажение на этих поверхностях вызывает постоянную неизбежную деформацию растровой точки. Для описания этой деформации была применена классическая контактная задача Герца, которая является широко применяемой моделью в области контактной механики. С помощью аппроксимации полученных численных значений было получено простое уравнение. Это уравнение практически полезно для инженерных расчетов, которые могут быть использованы для внесения предсказаний в растрируемый файл оригинала. Это, в свою очередь, позволяет достичь более точного репродуцируемого изображения в качестве соответствия цветов, формы и размеров мелких деталей. Это принимает особое значение, когда к продукции предъявляются требования по высокой точности воспроизведения цвета и деталей, чтобы обеспечить их эстетическую привлекательность и функциональность. Высокое качество востребовано при производстве декоративных элементов, таких как обои, ламинат, картины, и защищенной печати – деньги, марки, акцизы.

Ключевые слова: резинотканевое полотно, офсетная печать, искажения, полиграфия, флексография.

Elastic slip in printing tasks under pressure

Lyudmila Yu. Komarova	¹	luknew@ya.ru	 0000-0003-3005-6411
Stanislav Yu. Yamilinac	¹	ymlnz@ya.ru	 0000-0002-9598-1117
Leonid D. Dmitriev	¹	dmidigit@gmail.com	 0009-0005-0832-6093
Vyacheslav K. Dolgonosov	¹	dolgonosov@inbox.ru	
Alexander P. Kondratov	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, 38 B. Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia

Abstract. In the printing industry, the most common are offset printing and flexography. These types of printing have inevitable distortions in the reproduced image. Constant, inevitable distortion occurs due to the slippage of elastic surfaces in the contact strip during the printing process. In order to solve this problem, a full-scale experiment was conducted on printing register marks using technology developed and patented by Techkon. The experiment was aimed at studying the distortions that can occur when the plate and offset cylinders come into contact. As the surface of the plate and offset cylinders of printing machines, a rigid metal mold and an offset rubber-fabric fabric, which is a textolite, were used. As a result of the experiment, it was discovered that the distortion on these surfaces causes permanent and inevitable deformation of the raster dot. To describe this deformation, the classical Hertz contact problem was used, which is a widely used model in the field of contact mechanics. By approximating the obtained numerical values, a simple equation was obtained. This equation is practically useful for engineering calculations that can be used to introduce pre-emphasis on a rasterized original file. This, in turn, allows you to achieve a more accurate reproduced image in terms of matching colors, shapes and sizes of small details. This is especially important when products require high color and detail accuracy to ensure aesthetic appeal and functionality. High quality is in demand in the production of decorative elements such as wallpaper, laminate, paintings, and security printing – banknotes, stamps, excise taxes..

Keywords: offset rubber fabric, offset printing, distortion, printing, flexography.

Для цитирования

Комарова Л.Ю., Ямилинец С.Ю., Дмитриев Л.Д., Долгонос В.К., Кондратов А.П. Упругое проскальзывание в задачах печати под давлением // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 212–218. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-212-218

For citation

Komarova L.Yu., Yamilinac S.Yu., Dmitriev L.D., Dolgonosov V.K., Kondratov A.P. Elastic slip in printing tasks under pressure. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 212–218. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-212-218

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Способы традиционной печати отличаются принципами создания печатающих и пробельных элементов на печатной форме и методами переноса краски на запечатываемый материал [1].

Сегодня возросла роль объективного оценивания качества печатной продукции, которое определяется взаимодействием компонентов триады: запечатываемый материал – краска – печатающее устройство. Поэтому оборудование, обеспечивающее точный перенос краски на поверхность материала, как и другие компоненты, отвечает за конечное качество оттиска [2].

В офсетной и флексографской печати для краскопереноса применяют упруго-эластичные материалы формного и офсетного цилиндров. Формный цилиндр покрыт гибкой формой, офсетный – композиционным офсетным резинотканевым полотном (ОРТП), имеющими высокую долю упругих деформаций [1–4].

В условиях оптимального давления между печатной формой и ОРТП в зоне соприкосновения при передаче краски возникают искажения в печатных элементах. Возникающие искажения статистически не определяются [1–4].

Устранение искажений осуществляется путем компенсации на стадии подготовки форм. Отсутствие статистических методов компенсации вынуждает определять искажения опытным путем [1–3].

Материалы и методы

Для определения параметров взаимодействия формного и офсетного цилиндров в офсетной печатной машине можно использовать контактную задачу Герца [5].

Натурные испытания проводились на печатной машине Heidelberg Speedmaster CD 74 (производство Германия) на инструментальном комплексе с использованием оптической системы измерения TECHKON RMS 910. Непосредственным измерением геометрии формы и площади меток регистра. Метка регистра записывается на калиброванной печатной форме и имеет абсолютно круглую форму диаметром ≈ 50 мкм. Оптической системой последовательно измеряются оттиски метки на резинотканевом полотне и бумаге.

На рисунке 1 представлена схема расположения цилиндров в печатной машине. Давление создается при сжатии упруго-эластичного ОРТП на фиксированную величину. Сжатие обеспечивается контактными кольцами цилиндров и толщиной жесткой подложки на цилиндре под ОРТП. Радиусы контактных колец и печатного цилиндра одинаковы [1–3].

Композиционное резинотканевое полотно устанавливается вровень с контактными кольцами путем подбора жесткой подложки (пленка, картон) с учетом остаточной деформации. Остаточная деформация учитывается при натяжении полотна и его приработке. Натиск в верхней печатной паре создает превышение жесткой металлической формы над контактными кольцами [2,3].

Давление в нижней печатной паре создается путем подведения нижнего печатного цилиндра к офсетному, где нулевая точка – это контакт печатного цилиндра с контактными кольцами офсетного цилиндра. Эта величина выбирается печатником в зависимости от состава, структуры и вида отделки запечатываемого материала. Определяющее условие – минимально необходимое давление, при котором происходит максимально возможная пропечатка всех элементов изображения [2, 3].

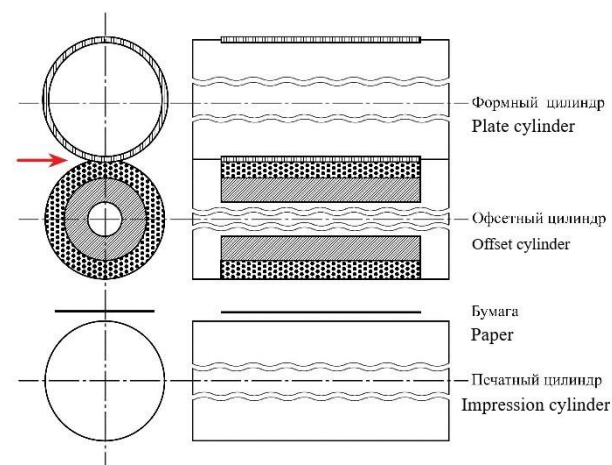


Рисунок 1. Схема печатной секции офсетной печатной машины

Figure 1. Scheme of the printing section of an offset printing machine

Соприкосновение контактных зон поверхностей печатного и офсетного цилиндров (на рисунке 1 обозначено красной стрелкой) прием как соприкосновение упругих параллельных полуплоскостей (рисунок 2). Полуплоскости могут изменять положение как жесткие тела. Постоянная внешняя сила сдвигает тела без изменения направления при изменении положения полуплоскостей. За границей зоны соприкосновения полуплоскости находятся на расстоянии друг от друга (отдалены) и не испытывают напряжений [2–5].

Различия радиусов печатного и офсетного цилиндров в зоне соприкосновения и одинаковая угловая скорость обеспечивают несовпадение линейных скоростей полуплоскостей. Скорости полуплоскостей формного и офсетного цилиндра – v_1 и v_2 соответственно. В зоне соприкосновения можно выделить области с длинами d_1 и d_2 ,

где точки поверхностей проскальзывают друг относительно друга, и зона d_2 , где поверхности сцеплены и точки неподвижны относительно друг друга [4–5].

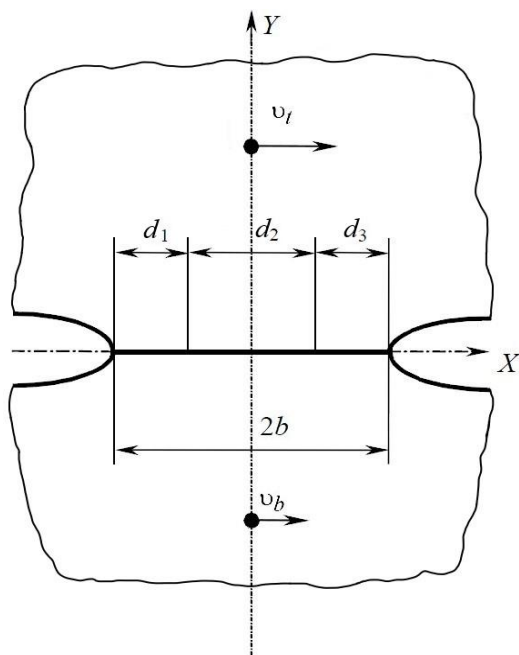


Рисунок 2. Соприкосновение упругих полуплоскостей формного и офсетного цилиндров

Figure 2. Contact of the elastic half-planes of the plate and offset cylinder

Дополнительные условия для решения задачи: ОРТП испытывает только упругие деформации, определяемые законом Гука; зона соприкосновения значительно меньше общих поверхностей цилиндров; поверхность ОРТП однородна по свойствам и натяжению на каждом участке. Определение трения в печатной паре офсетной печати с увлажнением пробельных элементов является спорным, но будет использоваться в дальнейшем, так как присутствует в классической контактной задаче Герца.

Для тела в состоянии равновесия сумма работ всех действующих на него сил равна нулю при всех возможных изменениях положения, принцип Лагранжа [6]:

$$\Delta E = \Delta A_{\text{int}} + \Delta A_{\text{ext}} \quad (1)$$

где ΔE – вариация энергии системы; ΔA_{int} – вариация работы внутренних сил; ΔA_{ext} – вариация работы внешних сил.

Вариация работы внутренних сил может быть представлена в виде

$$\Delta A_{\text{int}} = \delta [0.5 \iiint_V (G \cdot \Gamma^2 + 3 \cdot \varepsilon^2 \cdot k) dV] \quad (2)$$

где G – модуль сдвига, $G = 0.5E / (1 + \mu)$; Γ – интенсивность деформации сдвига; ε – средняя деформация, $\varepsilon = (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) / 3$; k – модуль объемной деформации, $k = E / (1 - \mu)$; E – модуль Юнга; μ – коэффициент Пуассона.

Участкам скольжения свойственно возникновение на поверхности касательных напряжений трения, помимо нормальных напряжений. Из-за неопределенности границ этих участков вариация работы внешних сил в уравнении (1) будет отлична от нуля и может быть определена как

$$\Delta A_{\text{ext}} = \sum_j \iint_{S_j} \tau_j \delta w_j dS_j = \delta \left[\sum_j \iint_{S_j} \tau_j w_j dS_j \right] \quad (3)$$

где τ_j – касательные напряжения трения в зонах скольжения; $j = 1, 3$ – соответственно зонам (рисунок 2); w_j – смещение точек поверхности в зонах скольжения; S_j – площадь зон скольжения.

Касательные напряжения трения определяются через нормальные

$$\tau_j = f_j \cdot \sigma_{y=0}$$

где f_j – коэффициент трения в j -зоне; $\sigma_{y=0}$ – нормальные напряжения на контактной поверхности.

Таким образом, вариационное уравнение (1) примет вид

$$\delta \left[0.5 \iiint_V (G \cdot \Gamma^2 + 3 \cdot \varepsilon^2 \cdot k) dV - \sum_j \iint_{S_j} f_j \cdot v_j \cdot \left(\frac{E}{1 + \mu} \cdot \varepsilon_y \Big|_{y=0} + \frac{3\mu}{1 + \mu} \cdot k \cdot \varepsilon \Big|_{y=0} dS \right) \right] \equiv 0 \quad (4)$$

1.1 Область деформации

Определим систему координат с осями X и Y для участка соприкосновения. На участке соприкосновения полуплоскости упруго деформируются. Примем форму участка V соприкосновения как прямоугольную с длиной, равной длине участка соприкосновения, и высотой h – глубиной деформации, как показано на рисунке 3а. В качестве единицы длины используется половина длины участка соприкосновения.

1.2 Кинематически допустимое поле скоростей

Движение точек на участке соприкосновения будет происходить как по оси X , так и по оси Y . Причина – изменение скорости на разных областях участка соприкосновения. В области сцепления скорость точек равна нулю, а вне деформированного участка будет Δv и $-\Delta v$ для полуплоскостей формного и офсетного цилиндров соответственно, где $\Delta v = (v_t - v_b) / 2$ [8–10].

Таким образом, рассматриваемый участок можно разделить на области «замедления», «сцепления», «ускорения». Кинематически возможное поле скоростей рассматриваемого участка представлено на рисунке 3б [8–10].

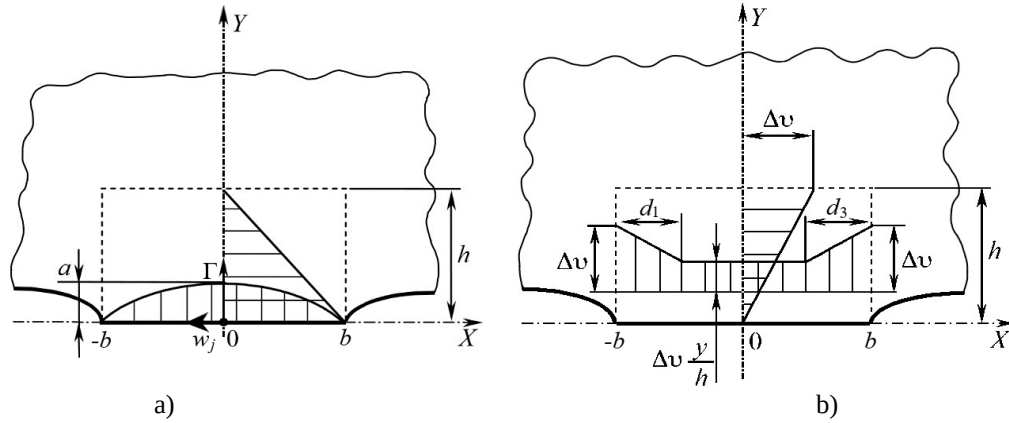


Рисунок 3. Эпюра перемещений (а) и кинематически допустимое поле скоростей (б) в зоне соприкосновения
Figure 3. Epure of displaced (a) and kinematically permissible velocity field (b) in the contact zone

1.3 Расчет упругих деформаций

Учитывая постоянные изменения перемещения точек в зоне деформации линейные и угловые деформации могут быть определены:

$$\varepsilon_x = \begin{cases} \frac{\Delta v}{v} \cdot \left(\frac{y}{h} - 1\right) \cdot \frac{x+1}{d}, & -1 \leq x \leq -1+d; \\ \frac{\Delta v}{v} \cdot \left(\frac{y}{h} - 1\right), & -1+d < x < 1-d; \\ \frac{\Delta v}{v} \cdot \left(1 - \frac{y}{h}\right) \cdot \frac{x-1}{d}, & 1-d \leq x \leq 1; \end{cases} \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = -a \cdot (1-x^2) \cdot \frac{1}{h}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_z = 0; \quad (7)$$

$$\gamma_{xy} = \begin{cases} -2ax \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{(x+1)^2}{2hd}, & -1 \leq x \leq -1+d; \\ -2ax \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{2x+2-d}{2h}, & -1+d < x < 1-d; \\ -2ax \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{4d-2d^2-(x-1)^2}{2hd}, & 1-d \leq x \leq 1; \end{cases} \quad (8)$$

$$\gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

Для упрощения расчетов примем длины областей «замедления» и «ускорения» равными: $d_1 = d_3 = d$.

Тогда энергия системы имеет следующий вид [11]:

$$E = 2GB \left[\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \left\{ \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{h(6-4d)}{9} + \frac{16}{15} \cdot \frac{a^2}{h} \right\} + \frac{4\mu-1}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{a(d^3-4d^2+8)}{12} + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{8d^3-5d^2-60d+80}{60h} + \frac{4}{9} \cdot a^2 \cdot h - 2f \cdot \left\{ \frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{a(d^4-3d^3)}{3h} - \frac{\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{d^2}{2} \right\} \right], \quad (9)$$

где B – полуширина участка соприкосновения по оси Z .

Согласно энергетическому условию Губера-Мизеса, при значениях $\Delta v/v$ и a менее чем 10^{-2} на участке соприкосновения отсутствуют пластические деформации, что ограничивает использование рассматриваемых уравнений [11].

1.4 Случаи скоростной асимметрии

Скорости полуплоскостей определяют появление следующих областей на участке соприкосновения: при $\Delta v = 0$ (контактная задача Герца) на всем участке соприкосновения – только область «сцепления» поверхностей; при $v_t < v_b$ присутствуют области «замедления» и «сцепления», зона «ускорения» отсутствует ($d = d_1 \neq 0$, $d_3 = 0$); при $v_t > v_b$ присутствуют все области ($d_1 = d_2 = d_3$).

При нормальной эксплуатации печатной машины реализуется только третий случай.

Когда области скольжения формируются в начале и в конце участка соприкосновения, минимизация функционала энергии (9) по неизвестным h и d приводит к следующей системе уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dE}{dh} &= \left[\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{6-4d}{3} - \frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{16a^2}{5h^2} + \frac{4a^2}{3} - \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{8d^3-5d^2-60d+80}{20h^2} + f \cdot \frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{2a(d^4-3d^3)}{h^2} \right] = 0 \\ \frac{dE}{dd} &= \left[\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \left[-\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{4h}{9} + \frac{12d^2-5d-30}{20h^2} \right] + \frac{4\mu-1}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{a(3d^2-8d)}{12} - f \cdot \left[\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{2a(4d^3-9d^2)}{3h} - \frac{2\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot d \right] \right] = 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

В качестве примера на рисунке 4 представлено изменение глубины проникновения деформации и длины зоны скольжения от относительной разности скоростей полуплоскостей для различных смещений их по направлению друг к другу (пропорциональных сдвигу воздействию).

Аппроксимация результатов при различных значениях разности скоростей, сдвигивающей нагрузки и коэффициента трения, получено выражение для определения длины зоны скольжения применимое в инженерных расчетах:

$$d = k_\mu k_a k_f \frac{\Delta v}{v}, \quad (111)$$

где: $k_\mu = 2.024 - 4.094\mu$, $k_a = 1.1 - 26.5a$, $k_f = 1.68 - 16.21f + 51.54f^2$, качество аппроксимации: $0,87 R^2$.

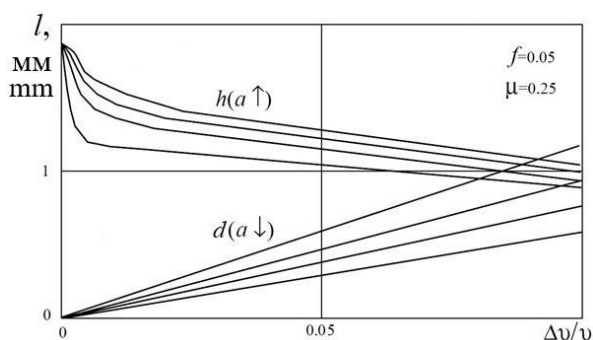


Рисунок 4. Влияние асимметрии скорости на глубину проникновения деформации h и протяженность скольжения d при $a = 0.02; 0.05; 0.07; 0.1$

Figure 4. The influence of speed asymmetry on the depth of penetration of deformation h and the length of sliding d at $a = 0.02; 0.05; 0.07; 0.1$

Различия радиусов печатного и офсетного цилиндров в зоне соприкосновения и одинаковая угловая скорость обеспечивают несовпадение линейных скоростей полуплоскостей. Скорости полуплоскостей формного и офсетного цилиндра – v_t и v_b соответственно. В зоне соприкосновения можно выделить области с длинами d_1 и d_3 , где точки поверхностей проскальзывают друг относительно друга, и зона d_2 , где поверхности сцеплены и точки неподвижны относительно друг друга.

Результаты

Полученные значения позволяют определять напряженно-деформированное состояние участка соприкосновения путем подстановки в уравнения деформации (5–8). Выявлено, что при увеличении разности скоростей, длины зон скольжения увеличиваются, а условная глубина проникновения деформации уменьшается до 30÷50%. Это связано с диссипацией энергии в зоне скольжения и перераспределением напряжений на деформированном участке (в частности – с увеличением нормальных напряжений по всей площадке соприкосновения).

Управляемое проскальзывание, при котором рассогласование скоростей участков поверхностей происходит исключительно в начале соприкосновения, может использоваться в расчетах для компенсации искажений в офсетной и флексографической печати. Оно будет создавать новые участки на соприкасающихся поверхностях цилиндров, но и может повлиять на появление сдвига элементов по всей площадке, когда протяженность области проскальзывания будет приближаться к величине $2b$. Поэтому необходимо контролировать протяженность области проскальзывания, обеспечивая не превышение половины длины участка соприкосновения. Иначе, случится сдвиг элементов, что нарушит целостность печатной поверхности формы офсетной или флексографской в процессе печати. Увеличение нормальных напряжений на участке соприкосновения в области сцепления, как результат рассогласования скоростей, будет также способствовать более высокому качеству печати.

Обсуждение

Полученные значения позволяют определять напряженно-деформированное состояние участка соприкосновения путем подстановки в уравнения деформации (5–8). Выявлено, что при увеличении разности скоростей, длины зон скольжения увеличиваются, а условная глубина проникновения деформации уменьшается до 30÷50%. Это связано с диссипацией энергии в зоне скольжения и перераспределением напряжений на деформированном участке (в частности – с увеличением нормальных напряжений по всей площадке соприкосновения).

Управляемое проскальзывание, при котором рассогласование скоростей участков поверхностей происходит исключительно в начале соприкосновения, может использоваться в расчетах для компенсации искажений в офсетной и флексографической печати. Оно будет создавать новые участки на соприкасающихся поверхностях цилиндров, но и может повлиять на появление сдвига элементов по всей площадке, когда протяженность области проскальзывания будет приближаться к величине $2b$. Поэтому необходимо контролировать протяженность области проскальзывания, обеспечивая не превышение половины длины участка соприкосновения. Иначе, случится сдвиг элементов, что нарушит целостность печатной поверхности формы офсетной или флексографской в процессе печати. Увеличение нормальных напряжений на участке соприкосновения в области сцепления, как результат рассогласования скоростей, будет также способствовать более высокому качеству печати.

Заключение

Представленная методика расчета областей скольжения при соприкосновении поверхностей применима при исследовании других трибологических процессов непосредственного физического взаимодействия между взаимоперемещающимися

поверхностями. В частности, управляемое проскальзывание упругих поверхностей на участке деформации при производстве высокоточных репродукций, в том числе денежных знаков, акцизных марок, при офсетной и флексографской печати.

Литература

- 1 Ямилинец С.Ю. Расчет деформации растровой точки для автоматизации внесения предсказаний // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 11. С. 529–531.
- 2 Yamilinets S.Y., Zhuravleva G.N., Kondratov A.P. Chemical resistance of a surface of an offset cylinder of printing equipment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 862. №. 6. P. 062107. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062107
- 3 Moginov R., Vorozhtsov A. The Statement and Investigation of the Problem of Separation of a Paper Sheet from the Offset Cylinder after Printing // Advances in Printing and Media Technology. 2015. V. XLII(II). P. 89–98.
- 4 Васильев И.Ю., Ананьев В.В. Исследование поверхностных свойств биокomпозиционных материалов, модифицированных обработкой в плазме коронного разряда // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2(96). С. 205–215. doi: 10.20914/2310-1202-2023-2-205-215
- 5 Мазур И.П. Упругое проскальзывание в задачах обработки металлов давлением // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина». Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. С. 15–20.
- 6 Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела; 2 изд. М.: Наука, 1988. 712 с.
- 7 Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ., 2 изд. М.: Наука, 1979. 560 с.
- 8 Зобова А.А., Горячева И.Г. Динамическая задача о качении с проскальзыванием упругого цилиндра по упругому полупространству // Доклады Академии наук. 2018. Т. 481. № 1. С. 24–26. doi: 10.31857/S086956520000044-1
- 9 Острик В.И. Вдавливание штампа в упругую полосу при наличии трения и сцепления // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2011. № 5. С. 118–129.
- 10 Станкевич И.В., Яковлев М.Е., Хтет С.Т. 77–30569/353180 Математическое моделирование контактного взаимодействия упругопластических сред // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 4. С. 42.
- 11 Деннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 440 с.
- 12 Miljković P., Valdec D., Matijević M. The impact of printing substrate on dot deformation in flexography // Tehnički vjesnik. 2018. V. 25. №. 2. P. 509-515. doi: 10.17559/TV-20170710152140
- 13 Żolek-Tryznowska Z., Rombel M., Petriaszwili G., Dedijer S. et al. Influence of some flexographic printing process conditions on the optical density and tonal value increase of overprinted plastic films // Coatings. 2020. V. 10. №. 9. P. 816.
- 14 Abo Dahab S.M., Farhaty M.A., Abdalmed T.A. High-definition Flexographic Technology Effect on Digital Flexographic Printing Plates Production to Improve Flexible Packaging Prints // Journal of Design Sciences and Applied Arts. 2023. V. 4. №. 1. P. 311-322.
- 15 Stanislav B., Igor M., Kristijan G. Packaging printing today // Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia Packaging Printing Today, acta graphical. 2015. V. 26. №. 4. P. 27-33.
- 16 Wolfer T., Bollgruen P., Mager D., Overmeyer L. et al. Flexographic and inkjet printing of polymer optical waveguides for fully integrated sensor systems // Procedia Technology. 2014. V. 15. P. 521-529.
- 17 Morgan M.L., Holder A., Curtis D.J., Deganello D. Formulation, characterisation and flexographic printing of novel Boger fluids to assess the effects of ink elasticity on print uniformity // Rheologica Acta. 2018. V. 57. P. 105-112.
- 18 Youssef K.T. Using of flexographic printing plates for producing an organic field effect transistor // International Design Journal. 2015. V. 5. №. 2. P. 447-452.
- 19 Assaifan A. K. Flexographic Printing Contributions in Transistors Fabrication // Advanced Engineering Materials. 2021. V. 23. №. 5. P. 2001410. doi: 10.1002/adem.202001410
- 20 Folea G.V., Bălan E., Mohora C. Considerations on quality assurance for flexographic print products // Annals of the Academy of Romanian Scientists, Series on Engineering Sciences. 2020. V. 12. №. 1. P. 33-47.

References

- 1 Yamilinets S.Yu. Calculation of raster point deformation to automate the introduction of pre-emphasis. News of the Tula State University. Technical science. 2020. no. 11. pp. 529–531. (in Russian).
- 2 Yamilinets S.Y., Zhuravleva G.N., Kondratov A.P. Chemical resistance of a surface of an offset cylinder of printing equipment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. vol. 862. no. 6. pp. 062107. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062107
- 3 Moginov R., Vorozhtsov A. The Statement and Investigation of the Problem of Separation of a Paper Sheet from the Offset Cylinder after Printing. Advances in Printing and Media Technology. 2015. vol. XLII(II). pp. 89–98.
- 4 Vasilyev I.Yu., Ananyev V.V. Study of the surface properties of biocomposite materials modified by treatment in corona discharge plasma. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 2(96). pp. 205–215. doi: 10.20914/2310-1202-2023-2-205-215 (in Russian).
- 5 Mazur I.P. Elastic slip in metal forming tasks. Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: materials of the 6th international youth scientific and practical conference “Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering. Ural Scientific and Pedagogical School named after Professor A.F. Golovin.” Ekaterinburg, Ural Publishing House. Univ., 2013. pp. 15–20. (in Russian).

- 6 Rabotnov Yu.N. Mechanics of deformable solids. Moscow, Nauka, 1988. 712 p. (in Russian).
- 7 Timoshenko S.P., Goodyear J. Theory of elasticity: trans. Moscow, Nauka, 1979. 560 p. (in Russian).
- 8 Zobova A.A., Goryacheva I.G. Dynamic problem of rolling with sliding of an elastic cylinder along an elastic half-space. Reports of the Academy of Sciences. 2018. vol. 481. no. 1. pp. 24–26. doi: 10.31857/S086956520000044-1 (in Russian).
- 9 Ostrik V.I. Indentation of a stamp into an elastic strip in the presence of friction and adhesion. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Mechanics of solids. 2011. no. 5. pp. 118–129. (in Russian).
- 10 Stankevich I.V., Yakovlev M.E., Khtet S.T. 77–30569/353180 Mathematical modeling of contact interaction of elastoplastic media. Science and education: scientific publication of MSTU. N.E. Bauman. 2012. no. 4. pp. 42. (in Russian).
- 11 Dennis J., Schnabel R. Numerical methods for unconditional optimization and solving nonlinear equations. Moscow, Mir, 1988. 440 p. (in Russian).
- 12 Miljković P., Valdec D., Matiječić M. The impact of printing substrate on dot deformation in flexography. Tehnički vjesnik. 2018. vol. 25. no. 2. pp. 509–515. doi: 10.17559/TV-20170710152140
- 13 Żolek-Tryznowska Z., Rombel M., Petraszwili G., Dedijer S. et al. Influence of some flexographic printing process conditions on the optical density and tonal value increase of overprinted plastic films. Coatings. 2020. vol. 10. no. 9. pp. 816.
- 14 Abo Dahab S.M., Farhaty M.A., Abdalmded T.A. High-definition Flexographic Technology Effect on Digital Flexographic Printing Plates Production to Improve Flexible Packaging Prints. Journal of Design Sciences and Applied Arts. 2023. vol. 4. no. 1. pp. 311–322.
- 15 Stanislav B., Igor M., Kristijan G. Packaging printing today. Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia Packaging Printing Today, acta graphical. 2015. vol. 26. no. 4. pp. 27–33.
- 16 Wolfer T., Bollgruen P., Mager D., Overmeyer L. et al. Flexographic and inkjet printing of polymer optical waveguides for fully integrated sensor systems. Procedia Technology. 2014. vol. 15. pp. 521–529.
- 17 Morgan M.L., Holder A., Curtis D.J., Deganello D. Formulation, characterisation and flexographic printing of novel Boger fluids to assess the effects of ink elasticity on print uniformity. Rheologica Acta. 2018. vol. 57. pp. 105–112.
- 18 Youssef K.T. Using of flexographic printing plates for producing an organic field effect transistor. International Design Journal. 2015. vol. 5. no. 2. pp. 447–452.
- 19 Assaifan A. K. Flexographic Printing Contributions in Transistors Fabrication. Advanced Engineering Materials. 2021. vol. 23. no. 5. pp. 2001410. doi: 10.1002/adem.202001410
- 20 Folea G.V., Bălan E., Mohora C. Considerations on quality assurance for flexographic print products. Annals of the Academy of Romanian Scientists, Series on Engineering Sciences. 2020. vol. 12. no. 1. pp. 33–47.

Сведения об авторах

Людмила Ю. Комарова к.т.н., доцент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, luknew@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3005-6411>

Станислав Ю. Ямилинец аспирант, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, ymlnz@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Леонид Д. Дмитриев студент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, dmidigit@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-0832-6093>

Вячеслав К. Долгонос аспирант, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, dolgonosov@inbox.ru

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lyudmila Yu. Komarova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, luknew@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3005-6411>

Stanislav Yu. Yamilinets postgraduate student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, ymlnz@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Leonid D. Dmitriev student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, dmidigit@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-0832-6093>

Vyacheslav K. Dolgonosov postgraduate student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, dolgonosov@inbox.ru

Alexander P. Kondratov Dr. Sci (Engin.), professor, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 22/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 01/03/2024