

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧАТНОЙ ФОРМЫ НА ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ПЕРЕДАТОЧНОЕ ЧИСЛО ФРИКЦИОННОЙ ПЕЧАТНОЙ ПАРЫ

И.А. Халилов¹, Э.А. Алиев¹, Э.М. Гусейнзаде²

¹Азербайджанский технический университет, г. Баку, Республика Азербайджан

²Азербайджанский государственный экономический университет, г. Баку, Республика Азербайджан

В статье исследована механика фрикционной печатной пары с учетом шероховатости поверхности печатной формы. Целью работы является исследование влияние шероховатости поверхности печатной формы на относительное передаточное число. Установлено, что углубление микровыступов шероховатости поверхности печатной формы создают дополнительные смещения и деформацию декеля в зоне печатного контакта. Приведен краткий обзор литературных данных по исследованию фрикционной печатной пары, анализ которых показал, что при исследовании механики печатной пары не учтен влияние микрогеометрии контактирующих поверхностей на исследуемые параметры. Для определения внедрения неровностей шероховатости поверхности использована дискретная модель шероховатости представленного в виде набора одинаковых сферических сегментов. Исследование влияния микрогеометрии на деформацию декеля также на относительное передаточное число производилось с учетом углубления микровыступов шероховатости поверхности печатной формы в тело декеля, которые приводят к дополнительным смещениям и деформации декеля в том числе. Разработана методика расчета деформации декеля и относительного передаточного числа с учетом шероховатости поверхности печатной формы, и установлено, что при больших значениях величины шероховатости относительное передаточное число для упругих декелей уменьшается, а для спрессовывающихся – увеличивается. Данное исследование по сравнению с аналогами позволяет определить изменение длины декеля данного состава при известных параметрах печатной пары, механических характеристик и микрогеометрии поверхности печатной формы. Методика расчета позволяет прогнозировать качество печатных оттисков, тиражестойкость печатных форм и точно настраивать печатную машину перед печатным процессом.

Ключевые слова: фрикционная пара, шероховатость, декель, деформация, относительное передаточное число, контактная печатная зона.

Введение

Печатный процесс для получения качественных оттисков под технологическим необходимым давлением всегда сопровождается деформацией упругого декеля в зоне печатного контакта. В результате чего наблюдаются такие явления, как выпучивание декеля по краям этой зоны и относительное проскальзывание в ней рабочих поверхностей цилиндров. Эти явления определяют точность воспроизведения изображения, влияют на величину нагрузок в печатной паре, потребляемую ею мощность и тиражестойкость печатной формы.

Цилиндрическая форма контактирующих поверхностей позволяет декелям в контактной зоне деформироваться в основном радиальном и тангенциальном направлениях. Деформации их вдоль полосы контакта практически незаметны. Соотношение и величины обоих видов деформаций зависят от свойств материала декелей, геометрических параметров печатной пары и ее привода, а также от типа привода, которые могут быть принудительным или фрикционным.

Исследование влияния геометрических параметров печатной пары, а также микрогеометрии поверхности печатной формы на качество оттисков и тиражестойкость печатной формы – весьма актуальная задача.

1. Анализ литературных данных и постановка проблем

В работе [1] исследуется механика фрикционной печатной пары. В данной работе опытным путем установлено, что при прокатывании валика без заметной деформаций его упругого декеля

длина красочной полоски за один оборот почти не отличается от длины окружности $c = 2\pi R_v$ недеформированного валика. А при прокатывании валика с нажимом, вызывающим от действия силы ρ деформацию λ , она возрастает на величину Δ . Это увеличение длины красочной полоски свидетельствует об увеличении длины окружности валика при одновременном его качении и деформировании.

Механизм печати и производительность технологии высокоточной печатной схемы со смещением исследуются в статье [2] с точки зрения основных параметров печати посредством экспериментального и теоретического анализа. Результаты расчетов сравниваются с результатами эксперимента. Однако при проведении расчетов и экспериментов не учтена шероховатость поверхности печатной формы.

В работе [3] исследуется возможность создания локальных областей отрыва краски от поверхности бумаги при выходе из зоны зацепления печати. Численные расчеты движения свободных границ были исследованы для различных значений вязкости с помощью перемещения граничных узлов на линиях фиксированной сетки без учета шероховатости поверхности печатной формы.

С применением метода конечных элементов в статье [4] рассматривались деформация вала офсетной печатной машины, а также влияние этой деформации на качество печати без учета микрогеометрии контактирующих поверхностей.

В работе [5] для установления модели отношения между параметрами валика, скоростью, давлением и толщиной краски в зазоре валиков использована теория контакта Герца. Проанализировано влияние скорости, давления и размера валика на толщину краски в зазорах валиков. Влияние скорости печати на характеристики краски установлено с использованием метода компьютерного моделирования без учета шероховатости поверхности печатной формы.

В работе [6] экспериментальные результаты представлены для красок на подложках различной макрошероховатости. Модель и экспериментальные данные показывают, что наличие макрошероховатости субстрата приводит к недооценке микрошероховатости.

В исследовании [7] показано, что большинство образцов с неравномерным поглощением влаги и неравномерной отражательной способностью к выгоранию имели тенденцию к более серьезным проблемам печати, связанным с поверхностной влажностью. Однако при исследовании связи влажности с печатными пятнами не учтена микрогеометрия поверхности печатной формы.

Механизм образования дефектов в системе с обратной офсетной печатью обсуждается в исследовании [8]. Исследование показало, что на размер и плотность дефектов существенное влияние оказывали скорость печати, вдавливание и свойства материала. Однако при исследовании не учтены влияния геометрических параметров поверхности печатной формы на размер и плотность дефектов.

В работе [9] предложена математическая формула, описывающая распределение температуры в красочном блоке офсетной печатной машины, вызванное явлением трения между цилиндрами, которые остаются в контакте. Анализ коэффициента теплового распределения для цилиндрических слоев приведен без учета параметров печатной формы.

Контроль уровня точечного усиления является одним из наиболее важных критериев качества печати. В статье [10] предложен метод калибровки StP, используемый для изготовления печатной формы. Однако в предложенном методе калибровки StP не учтены микрогеометрические свойства печатной формы.

В статье [11] разработан программный продукт для расчета переноса краски на печатный материал между контактирующими цилиндрическими поверхностями листового офсетного печатного устройства с границами деформации. Однако при расчете переноса краски на печатный материал между контактирующими цилиндрическими поверхностями не учтена шероховатость поверхности печатной формы.

В статье [12] экспериментально испытано нарушение адгезии краски на бумаге с покрытием и обнаружено, что это приводит к появлению белых пятен без краски на бумаге. Однако при переносе краски на печатный материал между контактирующими поверхностями не учтена шероховатость поверхности печатной формы.

В работе [13] определена сила трения в печатной контактной зоне с учетом шероховатости поверхности печатной формы. Однако, в работе не определено относительное передаточное число с учетом шероховатости поверхности печатной формы.

Задача фрикционного взаимодействия двухслойного упругого тела и шероховатого индентора, которая решалась в работе [14], соответствует явлениям, протекающим в зоне печатного контакта. Задача решалась с помощью исследования периодической контактной задачи, на основе которой определяется функция дополнительного смещений, обусловленная влиянием микронеровностей. Задачу с известными граничными условиями разделяют на две взаимосвязанные задачи: о контакте на микро- и макроуровнях:

$$W(x, y) = C[P(x, y)] + A[p(x, y)]. \quad (1)$$

Здесь $p(x, y)$ – неизвестное номинальное давление, $C[p(x, y)]$ – функция дополнительного смещения, зависящего от номинального давления. Эта функция определяется в результате решения задачи о множественном контакте на микроуровне при отсутствии шероховатостей $C[p(x, y)] \equiv 0$, и задача сводится к контактной задаче, коротко описанной как $W(x, y) = A[p(x, y)]$. Функция $C[p(x, y)]$ зависит от параметров микрогеометрии.

Исходя из вышеизложенного, можно прийти к выводу, что при исследовании печатной пары, конкретно деформации декеля в контактной зоне, необходимо учитывать шероховатость более жесткой поверхности, т. е. шероховатость поверхности печатной формы. Это, в свою очередь, позволит получить более точные значения фрикционного взаимодействия офсетного и формного цилиндров.

2. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследование влияние микрогеометрии поверхности печатной формы на деформацию декеля при определении величин относительного передаточного числа.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определить схему взаимодействия упругого декеля и шероховатой печатной формы и теоретически обосновать влияние шероховатости поверхности печатной формы на относительное передаточное число печатной пары с фрикционным приводом;
- выявить механику печатной пары с фрикционным приводом с учетом шероховатости поверхности печатной формы.

3. Обоснование влияния шероховатости поверхности печатной формы на деформацию декеля

В механике контактного взаимодействия большое внимание уделяется контакту при наличии сил трения. Это связано с тем, что фрикционное взаимодействие как физический процесс включает в себя целый ряд факторов, таких как изнашивание, фрикционный разогрев, адгезионное взаимодействие. При этом взаимодействующие тела часто бывают неоднородными, а их поверхности всегда являются шероховатыми. В нашем случае элементы печатной пары соответствуют вышеуказанным свойствам. Другой важной особенностью фрикционного контакта является наличие неровностей взаимодействующих поверхностей. По типу микрогеометрии можно разделить поверхности на две группы, которые объединены общими признаками дискретного характера контактирования: поверхности с регулярным микрорельефом и шероховатые поверхности.

Широкое распространение при расчетах контактных характеристик шероховатых поверхностей нашли модели Гринвуда–Вильямсона, Н.Б. Демкина [15] и их последователей. Однако применение таких моделей для решения некоторых контактных задач приводит к значительным погрешностям. Поэтому для описаний некоторых видов контакта требуется модель шероховатой поверхности, адекватно описывающая реальную поверхность и соответствующая всей опорной кривой. Кроме этого, для повышения точности расчета контактных характеристик в дискретной модели шероховатой поверхности должно учитываться реальное распределение размеров микронеровностей. При расчете перечисленных выше контактных характеристик широкое применение находит дискретная модель шероховатости в виде набора сферических сегментов, распределение которых по высоте соответствует кривой опорной поверхности шероховатого слоя [16]. Для описания ее используется регуляризованная неполная бета-функция.

В большинстве случаев контакт металлических шероховатых поверхностей является упруго-пластическим [17]. При этом возможно внедрение сферических неровностей в менее твердую поверхность или сплющивание сферических неровностей более твердой поверхностью. В работе [15] автор полагает, что параметры контактного взаимодействия в указанных случаях примерно одинаковы. При чисто упругой деформации в контакте справедливость такого подхода не вызывает сомнений, но при упругопластической деформации он не является очевидным и нуждается в дополнительном исследовании.

В этой связи, как отмечают авторы [18], практический интерес для задач герметологии вызывает сравнение зависимостей относительных площадей контакта от нагрузки при внедрении и сплющивании сферических неровностей шероховатых поверхностей.

Проанализировав проведенные исследования, можно прийти к выводу, что практический интерес для контактной задачи печатной пары имеет величины деформации декеля от нагрузки при внедрении неровностей шероховатых поверхностей.

Анализ методов упругопластической деформации при внедрении сферической неровности подробно рассмотрен в работе [16].

Для определения необходимости внедрения шероховатой поверхности воспользуемся дискретной моделью шероховатости, приведенной в [16]. Согласно [19], неровности представим в виде набора одинаковых сферических сегментов радиусом $R = a_c^2 / (2\omega R_{max})$, основанием a_c и высотой ωR_{max} . Для описания кривой опорной поверхности авторами [20] использована регуляризованная неполная бета-функция:

$$\eta(c) = \frac{B_\varepsilon(p, q)}{B(p, q)}, \quad (2)$$

где $B_\varepsilon(p, q)$, $B(p, q)$ – соответственно неполная и полная бета-функция; плотность функции распределения неровностей по высоте описывается выражением:

$$\varphi'_n(u) = \frac{u^{p-2}(1-u)^{q-2}[(p-1)(1-u)(q-1)u]}{\varepsilon_S^{p-1}(1-\varepsilon_S)^{q-1}}, \quad (3)$$

где p и q – параметры бета функции, которые определяются высотными параметрами шероховатости;

$$p = \left(\frac{R_p}{R_q}\right)^2 \left(\frac{R_{max}-R_p}{R_{max}}\right) - \frac{R_p}{R_{max}}; \quad q = p \left(\frac{R_{max}}{R_p} - 1\right);$$

$$\varepsilon_S = p / (p + q); \quad \omega = 1 - \varepsilon_S; \quad \omega = 0,2 \dots 0,6.$$

В работе [19] для i -ой неровности шероховатой поверхности величина внедрения определена формулой:

$$h_i = (\varepsilon - u)R_{max}, \quad (4)$$

$$\frac{h_i}{R} = \frac{(\varepsilon - u) \cdot 2\omega R_{max}^2}{a_c^2} = \left(\frac{\varepsilon - u}{2\omega}\right) \cdot \left(\frac{2\omega R_{max}}{a_c}\right)^2, \quad (5)$$

где ε – относительное сближение – исходное расстояние до вершины i -ой неровности. Число вершин в слое du :

$$dn_r = n_c \varphi'_n(u) du, \quad n_c = \frac{A_c}{\pi a_c}, \quad (6)$$

где n_c – число сфер; A_c – контурная площадь контакта.

4. Определение относительного передаточного числа с учетом шероховатости поверхности печатной формы

Рассмотрим взаимодействие жесткого цилиндра H с эластичным цилиндром E , обтянутым декем толщиной δ (рис. 1).

В работе [1] предложено изменение длины окружности декеля при контакте фрикционного обкатывания цилиндров эластичного E и жесткого H оценивать относительным передаточным числом

$$i_{ave} = \frac{L_E}{L_H} = \frac{V_E}{V_H} = \frac{R_E \omega_E}{R_H \omega_H} = \frac{R_E n_E}{R_H n_H}, \quad (7)$$

где L_E и L_H – пути проходимые поверхностями эластичного и жесткого цилиндров за время t ; R , n , ω , v – радиус (для цилиндра с декем недеформированного состояния), число оборотов за время t , угловая и окружная скорость соответствующего цилиндра.

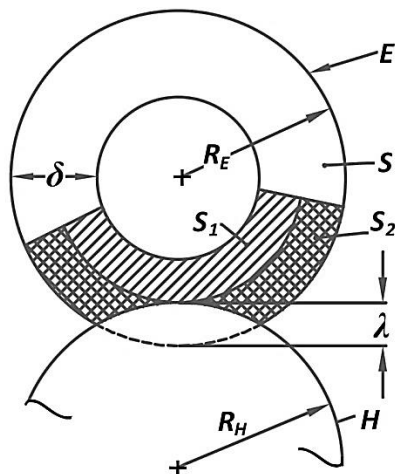


Рис. 1. Схема фрикционных пар

Также, поведение реального декеля, имеющего промежуточные свойства, характеризуется коэффициентом спрессовываемости q_1 , который определяется из равенства

$$S = S_1 + q_1 S_2$$

$$q_1 = \frac{S - S_1}{S_2} = \frac{S_2'}{S_2}, \quad (8)$$

где S – полная площадь поперечного сечения декеля, который он приобретает при взаимодействии с жестким цилиндром; S_1 – площадь внутреннего кольца декеля, не затрачиваемого жестким цилиндром; S_2, S_2' – площадь внешнего кольца декеля в свободном состоянии и при взаимодействии с жестким цилиндром.

Численно этот коэффициент показывает, какая часть внешнего кольца не впрессовывается по внутренней и идет на увеличение длины окружности декеля. Предельными значениями коэффициента q_1 являются: $q_1 = 0$ – для идеально спрессовывающихся декелей и $q_1 = 1$ – для идеально упругих.

Также, известно [1], что площадь S приближенно равно

$$S \approx L'_E (\delta - \lambda), \quad (9)$$

где L'_E – длина замкнутой поверхности развертки декеля. Эту длину он приобретает при взаимодействии с жестким цилиндром. Там же площади внутреннего и наружного колец декеля определены в следующих видах:

$$S_1 = 2\pi(R_E - \lambda)(\delta - \lambda), \quad (10)$$

$$S_2 = 2\pi R_E \lambda. \quad (11)$$

Известно [14], что контакт шероховатого тела с упругим приводит к дополнительным смещениям, которые обусловленные влиянием микронеровностей. Эти смещения, определяющиеся углублением микронеровностей шероховатости поверхности, влияют на значения деформации декеля.

Исходя из вышесказанного и учитывая (3), (4), (6), формулы (9), (10) и (11) запишем в следующем виде:

$$S = L'_E [\delta - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du], \quad (12)$$

$$S_1 = 2\pi [R_E - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du] [\delta - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du], \quad (13)$$

$$S_2 = 2\pi R_E [\lambda + (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du]. \quad (14)$$

Учитывая (13), (14), (8) запишем в виде

$$S = 2\pi [R_E - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du] [\delta - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du] + \quad (15)$$

$$+ 2\pi q_0 R_E [\lambda + (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du]$$

Приравнявая (12) и (15), также учитывая, что

$$\frac{\lambda + (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du}{\delta - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du} \approx \varepsilon_0, \quad \text{определим } L'_E:$$

$$L'_E = 2\pi [R_E (1 + q_0 \varepsilon_0) - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du]. \quad (16)$$

В частном случае при $n_E = n_H = 1$ должно соблюдаться равенство

$$\begin{aligned}
 L_H = L'_E &= 2\pi R_E [\lambda + (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du] = \\
 &= 2\pi [R_E (1 + q_o \varepsilon_o) - \lambda - (\varepsilon - u) R_{max} \varphi'_n(u) du] = \\
 &= 2\pi R_E \left[1 + q_o \varepsilon_o - \frac{\lambda}{R_E} - \frac{R_{max}}{R_E} (\varepsilon - u) \varphi'_n(u) du \right].
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Из формулы (17) определим относительное передаточное число

$$i_{ave} = \frac{L_E}{L_H} = \frac{2\pi R_E}{2\pi R_H} = \frac{2\pi R_E}{L_E} = \frac{1}{1 + q_o \varepsilon_o - \frac{\lambda}{R_E} - \frac{R_{max}}{R_E} (\varepsilon - u) \varphi'_n(u) du},
 \tag{18}$$

используя приближенную формулу [19], $(1 + x)^{-1} = 1 - x$, погрешность, которой не превышает 1 %, если $x \leq 0,1$ и 10 %, если $x \leq 0,3$, (18) запишем в виде

$$i_{ave} = 1 - q_o \varepsilon_o + \frac{\lambda}{R_E} + \frac{R_{max}}{R_E} (\varepsilon - u) \varphi'_n(u) du.
 \tag{19}$$

При $q = 0$ – для идеально спрессовывающихся декелей

$$i_{ave} = 1 + \frac{\lambda}{R_E} + \frac{R_{max}}{R_E} (\varepsilon - u) \varphi'_n(u) du
 \tag{20}$$

и $q = 1$ – для идеально упругих декелей

$$i_{ave} = 1 - \varepsilon_o + \frac{\lambda}{R_E} + \frac{R_{max}}{R_E} (\varepsilon - u) \varphi'_n(u) du.
 \tag{21}$$

Как видно из (20) и (21), что с увеличением деформации λ или ε_o величина i_{ave} для упругих декелей уменьшается, а для спрессовывающихся, наоборот увеличивается так же аналогичное влияние на i_{ave} для обеих видов декелей имеет значение шероховатости поверхности печатной формы.

5. Обсуждение результатов исследования влияния шероховатости поверхности печатной формы на относительное передаточное число фрикционной печатной пары

В результате исследований установлено, что микрогеометрия поверхности печатной формы имеет влияние на деформацию декеля. При этом определено относительное передаточное число с учетом шероховатости поверхности печатной формы. Для исследования влияния микрогеометрии на деформацию декеля учтено углубление микровыступов шероховатости поверхности печатной формы, которые приводят к дополнительным смещениям и деформации декеля в том числе. По предложенной методике рассчитаны значения передаточного числа, с учетом шероховатости поверхности печатной формы. Для проведения исследований и произведения расчетов выбрана офсетная печатная машина *Rapida KBA 105*, имеющая следующие параметры печатной пары: $R_E = 14,68$ см; $R_H = 14,94$ см – радиусы эластичного и жесткого цилиндров соответственно. Толщина декеля марки *CONTI – AIR – 3,1* мм; толщина металлической печатной формы марки *PRO – V* фирмы Fujifilm – $\delta_F = 0,3$ мм; $R_{max} = 2,19$ мкм, $R_p = 1,56$ мкм, $R_a = 0,317$ мкм – параметры шероховатости поверхности печатной формы, определенные по профилограмме, снятой профилометром мод. 130; $\lambda = 0,2$ мм – деформация декеля. По предложенной методике рассчитаны значения относительного передаточного числа, $i = 1,002$; $i = 0,999$; $i = 0,986$ с учетом различных значений шероховатости и $i = 0,998$; $i = 0,995$; $i = 0,978$ без учета шероховатости поверхности печатной формы.

Преимуществами данного исследования по сравнению с аналогами можно считать то, что, зная параметры печатной пары, механические характеристики и микрогеометрию поверхности печатной формы, также деформацию и толщину декеля, можно определить изменение длины декеля данного состава. Предложенная методика расчета позволяет прогнозировать качество печатных оттисков и тиражестойкость печатных форм, также правильно настраивать печатную машину перед печатным процессом.

Выводы

1. Обосновано и установлено влияние микрогеометрии поверхности печатной формы на деформацию декеля.
2. С учетом образования дополнительного смещения, при контакте поверхностей, обусловленного влиянием микронеровностей, определена схема углубления микровыступов шероховатости поверхности печатной формы.
3. Установлено, что с увеличением шероховатости поверхности печатной формы величина относительного передаточного числа i для упругих декелей уменьшается, а для спрессовывающихся – увеличивается.

4. Результаты исследований позволяют при регулировании печатной машиной правильного выбора форменных и печатных пакет, так же установить оптимальные значения технологических параметров печатного процесса, что необходимо для обеспечения качества оттисков и тиражестойкости печатных форм.

Литература

1. Тюрин, А.А. Печатные машины, автоматы / А.А. Тюрин. – М.: Книга, 1980. – 416 с.
2. Assessing Ink Transfer Performance of Gravure-Offset Fine-Line Circuitry Printing / H.C. Cheng, Y.W. Chen, W.H. Chen et al. // *Journal of Electronic Materials*. – 2018. – Vol: 47, no. 3. – P. 1832–1846. – <https://doi.org/10.1007/s11664-017-5967-x>.
3. Panichkin, A.V. The Numerical Calculation of the a Viscous Incompressible Fluid Transfer onto Porous Surface Between Rotating Cylinders / A.V. Panichkin, L.G. Varepo // *1st International Multidisciplinary Microscopy Congress (INTERM)*. Springer Proceedings in Physics. – Antalya, Turkey. – 2014. – Vol: 154. – P. 79–83. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-04639-6_11.
4. Effects of blanket roller deformation on Printing qualities in gravure-offset printing method / K. Kim, Ch.H. Kim, H.-Ye. Kim, D.-S. Kim // *The Japan Society of Applied Physics Japanese Journal of Applied Physics*. – 2010. – Vol. 49. – Numbers 5S1.
5. Liu, L.L. Dynamic Simulation Modeling of Inking System Based on Elastohydrodynamic Lubrication / L.L. Liu, K.K. Li, F. Lu // *International journal of heat and technology*. – 2016. – Vol. 34, no. 1. – P. 124–128. – <https://doi.org/10.18280/ijht.340118>.
6. Elton, N.J. Optical measurement of microroughness of pigment coatings on rough substrates / N.J. Elton // *Measurement science and technology*. – 2009. – Vol: 20, no. 2. – Number 025303. – <https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/2/025303>.
7. Thorman, S. Impact of non-uniform water absorption on water-interference print mottle in offset printing / S. Thorman, G. Strom, P.A.C. Gane // *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. – 2018 – Vol: 33, no. 1. – P. 150–163. – <https://doi.org/10.1515/npprj-2018-3011>.
8. Patterning defects in high-speed reverse offset printing: lessons from contact dynamics / Y. Kusaka, M. Mizukami, T. Yamaguchi et al. // *Journal of Micromechanics and Microengineering*. – 2019. – Vol. 29, no. 4. – <https://doi.org/10.1088/1361-6439/ab024b>.
9. Pyr'yev, Y. Analytical solution of thermal conduction in a two-layer cylinder modeling oscillator roller in an offset machine / Y. Pyr'yev // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2019. – Vol: 136. – P. 433–443. – <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.11.004>.
10. Hauck, S. Automated calibration system in an offset printing workflow / S. Hauck, S. Gooran // *Journal of Print and Media Technology Research*. – 2018. – Vol. 7, no. 3. – P. 115–125. – <https://doi.org/10.14622/JPMTR-1808>.
11. Software for Quantitative Estimation of Coefficients of Ink Transfer on the Printed Substrate in Offset Printing / L.G. Varepo, O.V. Trapeznikova, A.V. Panichkin, B.A. Roev, G.B. Kulikov // *Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice (MSQ – 2017)*. International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality – Theory and Practice (MSQ). Omsk, Nov 14-16, 2017 – 2018. – Vol. 998. – UNSP 012041. – <https://doi.org/10.1088/1742-6596/998/1/012041>.
12. Ink-lift-off during offset printing: a novel mechanism behind ink-paper coating adhesion failure / H.K. Alm, G. Strom, J. Schoelkopf, P. Gane // *Journal of Adhesion Science and Technology*. – 2015. – Vol: 29, no. 5. – P. 370–391. – <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.989650>.
13. Халилов, И.А. Влияние шероховатости поверхности печатной формы на силы трения в контактной зоне / И.А. Халилов, Э.А. Алиев, Э.М. Гусейнзаде // *АзТУ. Научные труды*. – 2015 – Т. 1, № 4, – С. 33–36.
14. Торская, Е.В. Моделирование фрикционного взаимодействия шероховатого индентора и двухслойного упругого полупространства / Е.В. Торская // *Физическая мезомеханика*. – 2012. – Т. 15, № 2. – С. 31–36.
15. Демкин, Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 227 с.
16. Огар, П.М. Контактные задачи в герметологии неподвижных соединений / П.М. Огар, Д.Б. Горохов, А.С. Кожевников. – Братск: Изд-во БрГУ, 2007. – 242 с.

17. Огар, П.М. Критерии появления пластических деформаций при контактировании шероховатых поверхностей в соединении технологического оборудования / П.М. Огар, Д.Б. Горохов, В.К. Елсуков // Системы Методы Технологии. – 2017. – № 3(35). – С. 32–39.

18. Огар, П.М. Относительная площадь контакта при внедрении и сплющивании сферических неровностей шероховатых поверхностей / П.М. Огар, В.К. Елсуков, Е.В. Узрюмова // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – №1(37). – С. 12–17.

19. Горохов, Д.Б. Плотность зазоров при контактировании жесткой шероховатой поверхности через слой упругопластического покрытия / Д.Б. Горохов, А.С. Кожевников // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 4(48) – С. 74–79.

Халилов Иса Али оглы, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Мехатроника и дизайн машин», Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджан, khalilov-isa@rambler.ru.

Алиев Эльдар Аббас оглы, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Мехатроника и дизайн машин», Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджан, elab57@mail.ru.

Гусейнзаде Эльнур Магсад оглы, аспирант, преподаватель кафедры «Инженерия и прикладные науки», Азербайджанский государственный экономический университет (UNEC), г. Баку, Азербайджан, e_huseynzade@unec.edu.az.

Поступила в редакцию 14 мая 2021 г.

DOI: 10.14529/engin210203

INFLUENCE OF THE SURFACE ROUGHNESS OF THE PRINTING FORM ON THE RELATIVE GEAR RATIO OF THE FRICTION PRINTING PAIR

I.A. Khalilov¹, khalilov-isa@rambler.ru,
E.A. Aliyev¹, elab57@mail.ru,
E.M. Huseynzade², e_huseynzade@unec.edu.az

¹Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

²Azerbaijan State Economic University, Baku, Azerbaijan

The article investigates the mechanics of a friction printing pair, taking into account the surface roughness of the printing form. The aim of the work is to study the influence of the surface roughness of the printing form on the relative gear ratio. It was found that the deepening of the microprotrusions of the surface roughness of the printing form create additional displacements and deformation of the deckle in the area of the printed contact. A brief review of the literature data on the study of a friction printed pair is given, the analysis of which has shown that the study of the mechanics of a printed pair does not take into account the influence of the microgeometry of the contacting surfaces on the parameters under study. To determine the penetration of surface roughness irregularities, a discrete roughness model is used, presented in the form of a set of identical spherical segments. The study of the influence of microgeometry on the deformation of the deckle also on the relative gear ratio was carried out taking into account the deepening of the micro-protrusions of the surface roughness of the printing form into the body of the deckel, which lead to additional displacements and deformation of the deckel, including. A method was developed for calculating the deformation of the deckle and the relative gear ratio, taking into account the surface roughness of the printing form, and it was found that at large values of the roughness value, the relative gear ratio for elastic deckles decreases, and for compressed ones, it increases. This study, in comparison with analogs, makes it possible to determine the change in the length of the deckle of a given composition with the known parameters of the printed pair,

mechanical characteristics and microgeometry of the surface of the printing form. The calculation method allows you to predict the quality of printed impressions, the circulation life of printing plates and to fine-tune the printing press before the printing process.

Keywords: friction pair, roughness, deckle, deformation, relative gear ratio, contact printed area.

References

1. Tyurin A.A. *Pechatniye mashini i avtomati* [Printing machines, automatic machines]. Moscow, Book Publ., 1980. 416 p.
2. Cheng H.C., Chen Y.W., Chen W.H., Lu S.T., Lin S.M. Assessing Ink Transfer Performance of Gravure-Offset Fine-Line Circuitry Printing. *Journal of Electronic Materials*, 2018, vol. 47, no. 3, pp. 1832–1846. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11664-017-5967-x>.
3. Panichkin A.V., Varepo L.G. The Numerical Calculation of the a Viscous Incompressible Fluid Transfer onto Porous Surface Between Rotating Cylinders. *1st International Multidisciplinary Microscopy Congress (INTERM). Springer Proceedings in Physics*. Antalya, Turkey, 2014, vol. 154, pp. 79–83. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-04639-6_11
4. Kim K., Kim Ch.H., Kim H.-Ye., Kim D.-S. Effects of blanket roller deformation on Printing qualities in gravure-offset printing method. *The Japan Society of Applied Physics Japanese Journal of Applied Physics*, 2010, vol. 49, Numbers 5S1.
5. Liu L.L., Li K.K., Lu F. Dynamic Simulation Modeling of Inking System Based on Elastohydrodynamic Lubrication. *International journal of heat and technology*, 2016, vol. 34, no. 1, pp. 124–128. Available at: <https://doi.org/10.18280/ijht.340118>
6. Elton N.J. Optical Measurement of Microroughness of Pigment Coatings on Rough Substrates. *Measurement science and technology*, 2009, vol. 20, no. 2. Available at: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/2/025303>.
7. Thorman S., Strom G., Gane P.A.C. Impact of Non-Uniform Water Absorption on water-interference print mottle in offset printing. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2018, vol. 33, no. 1, pp. 150–163. Available at: <https://doi.org/10.1515/npprj-2018-3011>.
8. Kusaka Y., Mizukami M., Yamaguchi T., Fukuda N., Ushijima H. Patterning defects in high-speed reverse offset printing: lessons from contact dynamics. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2019, vol. 29, no. 4. Available at: <https://doi.org/10.1088/1361-6439/ab024b>.
9. Pyr'yev Y. Analytical solution of thermal conduction in a two-layer cylinder modeling oscillator roller in an offset machine. *International Journal of Thermal Sciences*, 2019, vol. 136, pp. 433–443. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.11.004>.
10. Hauck S., Gooran S. Automated calibration system in an offset printing workflow. *Journal of Print and Media Technology Research*, 2018, vol. 7, no. 3, pp. 115–125. Available at: <https://doi.org/10.14622/JPMTR-1808>.
11. Varepo L.G., Trapeznikova O.V., Panichkin A.V., Roev B.A., Kulikov G.B. Software for Quantitative Estimation of Coefficients of Ink Transfer on the Printed Substrate in Offset Printing. *Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, (MSQ – 2017) International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality - Theory and Practice (MSQ)*. Omsk, Russia, 2018, vol. 998, UNSP 012041. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/998/1/012041>.
12. Alm H.K., Strom G., Schoelkopf J., Gane P. Ink-lift-off during offset printing: a novel mechanism behind ink-paper coating adhesion failure. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2015, vol. 29, no. 5, pp. 370–391. Available at: <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.989650>.
13. Khalilov I.A., Aliyev E.A., Huseynzade E.M. *Vliyaniye sheroxovatosti poverxnosti pechatnoy formi na sili treniya v kontaktnoy zone*. [Influence of the surface roughness of the printing plate on the friction forces in the contact zone]. *AzTU, nauchniye trudi* [AzTU. Scientific works]. Baku, 2015, vol. 1, no. 4, pp. 33–36. [in Azerbaijanian]
14. Torskaya E.V. [Modeling the Frictional Interaction of a Rough Indenter and a Two-Layer Elastic Half-Space] *Physical Mesomechanics*, 2012, vol. 15, no. 2, pp. 31–36
15. Demkin N.B. *Kontaktirovaniye sheroxovatotix poverxnostey* [Contacting Rough Surfaces]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 227 p.

16. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Kozhevnikov A.S. *Kontaktniye zadachi v germetologii nepodvijnix soedineniy*. [Contact problems in hermetology of fixed joints]. Bratsk: BrSU Publishing House, 2007. 242 p.

17. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Elsukov V.K. [Criteria for the Appearance of Plastic Deformations During Contact of Rough Surfaces in the Connection of Technological Equipment] *Systems Methods of Technology*, 2017, no. 3(35), pp. 32–39.

18. Ogar P.M., Elsukov V.K., Ugryumova E.V. [Relative Contact Area During the Penetration and Flattening of Spherical Irregularities of Rough Surfaces] *Systems Methods Technologies*, 2018, no. 1(37), pp. 12–17.

19. Gorokhov D.B., Kozhevnikov A.S. [Density of Gaps in Contact with a Rigid Rough Surface Through a Layer of Elastoplastic Coating]. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2015, no. 4(48), pp. 74–79.

Received 14 May 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Халилов, И.А. Влияние шероховатости поверхности печатной формы на относительное передаточное число фрикционной печатной пары / И.А. Халилов, Э.А. Алиев, Э.М. Гусейнзаде // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 23–32. DOI: 10.14529/engin210203

FOR CITATION

Khalilov I.A., Aliyev E.A., Huseynzade E.M. Influence of the Surface Roughness of the Printing Form on the Relative Gear Ratio of the Friction Printing Pair. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 23–32. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin210203