

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ДЕКЕЛЯ И ФАКТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПЕЧАТНОЙ ЗОНЕ

Э.А. Алиев, И.А. Халилов, Ш.В. Исмаилова

Азербайджанский технический университет, г. Баку, Республика Азербайджан

Установлено влияние микровыступов шероховатости поверхности печатной формы на деформацию декаля. Для исследования влияния шероховатости поверхности печатной формы на фактическую площадь контакта декаля в печатной зоне учтено взаимодействие микровыступов шероховатости с поверхностью более мягкого материала декаля. Произведен обзор и обсуждены результаты проведенных исследований, посвященных контактным задачам. Для определения фактической площади контакта от приложенной нагрузки учтено распределение микровыступов шероховатости поверхности печатной формы. Разработана методика расчета фактической площади контакта декаля и фактического давления в печатной зоне с учетом шероховатости поверхности печатной формы. По предложенной методике рассчитаны значения фактической площади контакта декаля и фактического давления в печатной зоне. Установлено, что с увеличением нормальной нагрузки фактическая площадь контакта декаля увеличивается. Также увеличение нормальной нагрузки приводит к увеличению фактического давления. Установленные значения фактической площади контакта и фактического давления способствуют образованию упругого насыщенного контакта декаля, который обеспечивает высокое качество оттисков. Полученные по разработанной методике результаты сопоставлены с расчетами по известным зависимостям. При расчетах число выступов, пересеченных средним уровнем, и число вершин выступов, расположенных над средней линией на площади, соответствующей базовой длине, определены соответственно по среднему шагу шероховатости и по среднему шагу между соседними выступами шероховатости. Результаты исследований позволяют произвести правильный выбор печатных форм и декалей при регулировании и эксплуатации печатной машины, а также установить значение фактического давления, обеспечивающее высокое качество оттисков.

**Ключевые слова:** фактическая площадь контакта, фактическое давление, шероховатость, деформация декаля, печатная зона.

### Введение

Для получения оттисков высокого качества в офсетной печати необходимо создавать требуемое технологическое давление. Из-за цилиндрической формы контактирующих поверхностей в контактной зоне материал декаля, который является более мягким, деформируется в радиальном и тангенциальном направлениях.

Известно, что в технике нет абсолютно гладких поверхностей. Поэтому необходимо проанализировать и рассчитать реальную площадь контакта для лучшего понимания трения, износа, смазки и теплопроводности [1]. Знание реальной площади контакта играет важную роль и в печатном процессе, так как она влияет на передачу красочного слоя с печатной формы на бумагу.

Исследование влияния шероховатости поверхности печатной формы, а также физико-механических свойств декаля на величину фактической площади контакта и на фактическое давление, что необходимо для обеспечения качества оттисков, – весьма актуальная задача.

### 1. Обзор литературы и постановка проблем

При определении допустимого диапазона деформации декаля [2] установлено, что диапазон, определяемый по жесткости декаля при постоянном слое краски на печатной форме, отличается от реальной ситуации, так как реальный допустимый диапазон деформации расширяется с помощью приработки декаля.

Предложена модель [3] отношения между технологическими, конструктивными и эксплуатационными параметрами печати с использованием теории контакта Герца. Исследовано влияние размера валика, скорости и давления на толщину краски.

Установлено, что свойства материала, вдавливание и скорость печати существенно влияют на размер и плотность дефектов офсетной печати, что необходимо учитывать при определении фактической площади контакта [4].

Для определения деформации вала использован метод конечных элементов [5]. Установлено, что искажение изображения, вызванное деформацией прижима резинотканевого полотна, зависит от нагрузки при печати.

В точном анализе методом конечных элементов трение и теплопередача должны рассматриваться с помощью численных моделей интерфейса, которые учитывают реальную площадь контакта. С этой целью в работе [6] представлен новый метод оценки реальной площади контакта, учитывающей свойства материала и реальные уклоны неровностей.

Для получения точной реальной площади контакта между шероховатой и гладкой поверхностями предлагается конечно-элементная модель контакта шероховатой–нежесткой–гладкой поверхностей, в которой шероховатая поверхность характеризуется теорией разрушения [1]. По сравнению с традиционным моделированием этот метод позволяет быстро получить данные ближе к реальной ситуации.

Исследована связь между реальной площадью контакта и контактной силой в предскользящем режиме, а также качественно рассмотрено распределение статического трения на поверхности контакта. Выявлены новые явления, при которых реальная площадь контакта расширяется вместе с увеличением статического трения [7].

Разработанная модель упругопластического сферического контакта шероховатых поверхностей при комбинированных нормальных условиях и тангенциальные нагрузки при условии полного контакта со стержнем позволяют оценить влияние шероховатости поверхности на реальную площадь контакта, статическое трение и рост соединения при малых нормальных нагрузках [8].

На основе теории фракталов построена модель прогнозирования контакта шероховатой поверхности трения, учитывающая относительное скольжение между неровностями поверхности трения, и получено соотношение между общей контактной нагрузкой и фактической общей площадью контакта [9]. Также в работе [10] исследовано фрикционное взаимодействие двухслойного упругого тела и шероховатого индентора.

В работе [11] представлены зависимости для определения приближения и фактической площади контакта одиночного микровыступа конической формы с поверхностью детали. Показано, что нагрузки могут существенно различаться при заданных условиях контакта при равных фактических площадях контакта микровыступов сферической и конической форм. Также приведены зависимости для определения сближения, радиуса кривизны контактной поверхности под нагрузкой и реальной площади контакта одиночного цилиндрического выступа с поверхностью детали [12]. Показано, что при одних и тех же значениях реальной площади контакта значения нагрузок, сжимающих стык деталей с шероховатостью, моделируемой цилиндрическими или сферическими микровыступами, могут существенно различаться.

Представлены зависимости для определения границы раздела, радиуса кривизны нагруженной контактной поверхности и фактической площади контакта между одиночным микровыступом и деталью при различных соотношениях твердостей их материалов [13].

Анализ литературного обзора показывает, что при исследовании печатного контакта необходимо учитывать влияние шероховатости поверхности печатной формы и физико-механических свойства материала декеля, что позволяет получить более точные значения технологически необходимого давления, суммарного усилия в зоне печатного контакта, также фактическую площадь контакта и деформацию декеля, оптимальные значения которых обеспечивают высокое качество оттисков.

## 2. Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является определение влияния шероховатости поверхности печатной формы и физико-механических свойств декеля на фактическую площадь контакта и на фактическое давление в печатной зоне. С этой целью были поставлены следующие задачи:

## Контроль и испытания

- выбор схемы печатного контакта с учетом шероховатости поверхности печатной формы;
- разработка методики расчета фактической площади контакта декеля и фактического давления в печатной зоне.

### 3. Влияние шероховатости на фактическую площадь контакта декеля

Известно, что контакт реальных тел происходит в отдельных зонах по вершинам и выступам шероховатости на различных уровнях, в которых осуществляется фактический контакт. При ненасыщенном контакте –  $n_r < n_c$ , а при насыщенном –  $n_r = n_c$ , где  $n_r$  – число контактирующих микровыступов;  $n_c$  – число микровыступов, расположенных на контурной площадке.

Под действием внешней нагрузки фактическая площадь контакта (ФПК)  $A_r$  меняется, так как с увеличением нагрузки фактический контакт увеличивается.

В нашем случае при контакте печатной формы с упругим декелем ФПК соответствует вышеуказанным свойствам.

При решении контактных задач применяются многочисленные модели, одним из которых является модель Гринвуда – Вильямсона, а также Н.Б. Демкина. Однако данные модели не обеспечивают точность расчета их контактных характеристик. Поэтому требуется определить соответствующую модель микровыступов шероховатости и учитывать реальное распределение их размеров, которая точно описывает реальную поверхность.

Использование при расчетах числовых моделей [14–16] позволяет учитывать многочисленные факторы и точно описывать характер контактного взаимодействия. При определении деформации шероховатых поверхностей часто используется метод конечных элементов [17, 18].

Одним из важных факторов при расчетах деформации шероховатых поверхностей является определение формы выступов шероховатости [19]. Сферический сегмент является наиболее распространенной и часто используемой формой для моделирования [19, 20].

Проведенные исследования показывают, что наилучшие результаты при моделировании реального распределения материала получаются с использованием бета-распределения [19, 21]. Установлено, что контакт металлических шероховатых поверхностей в основном является упруго-пластическим [22]. Для определения площадей контакта была применена дискретная модель шероховатости сферической формы, радиус которой определяется в виде  $R = a_c^2 / (2\omega R_{max})$  [23], где  $a_c$  и  $\omega R_{max}$  – соответственно основание и высота сферы;  $R_{max}$  – максимальная высота шероховатости;  $\omega = 1 - \varepsilon_s$ ;  $\omega = 0,2 \dots 0,6$ , где  $\varepsilon_s$  – относительное сближение.

По данным [24] число выступов  $n$  по мере удаления от верхней границы шероховатого слоя меняется по закону

$$n = n_0 \left( \frac{a}{R_p} \right)^{v-1}, \quad (1)$$

где  $n_0$  – число выступов, вершины которых лежат выше средней линии;  $a$  – сближение поверхностей;  $v$  – параметр опорной кривой;  $R_p$  – высотный параметр шероховатости.

### 4. Расчет фактической $m$ площади контакта декеля и фактического давления в печатной зоне

В печатном процессе под влиянием нагрузок происходит сближение контактирующих поверхностей печатной формы и декеля, изготовленных соответственно из твердого и упругого материалов. В площади фактического касания происходит внедрение микровыступов поверхности печатной формы в тело декеля. При этом фактическая площадь контакта (ФПК) определяется по формуле [24]

$$A_r = \sum_{i=1}^n A_{ri}. \quad (2)$$

Следовательно, фактическое давление

$$p_r = \frac{N}{A_r}, \quad (3)$$

где  $A_{ri}$  – площадь контакта двух сфер,  $N$  – нормальная нагрузка.

$$N = \left[ \frac{\sqrt{R}(v-1)n_0 A_c k}{0,82^{3/2} j R_p^{v-1}} \right] a^{v+0,5}, \quad (4)$$

где  $k = [1,5\Gamma(v-1)\Gamma(1,5)]/\Gamma(v+1,5)$ ;  $\Gamma$  – символ гамма-функции;  $n_0$  – число выступов, пересеченных средним уровнем;  $j = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}$ , где  $E_1, E_2, \mu_1, \mu_2$  – модули упругости и коэффициенты Пуассона тел.

Для расчета площади фактического контакта декеля учитываются следующие допущения:

- отдельные микровыступы шероховатой поверхности печатной формы имеют форму сферического сегмента, а контакт шероховатых поверхностей является дискретным;
- в результате упругих и пластических деформаций возникают пятна фактического контакта;
- фактическая площадь контакта зависит от приложенной нагрузки.

Рассмотрим формирование ФПК декеля–резины, который подчиняется закону Паскаля. При давлении, равном значению модуля упругости резины, фактическая площадь контакта приближается по величине к номинальной площади  $A_a$ . При этом также  $A_c = A_a$ , где  $A_c$  – контурная площадь.

Для расчета ФПК резины авторами [24] предложена уточненная формула Г.М. Бартенева–В.В. Лаврентьева:

$$A_r = A_a \left[ 1 - K_1 e^{-\delta(N/A_a E)^{2/3}} \right], \quad (5)$$

где  $K_1 = 0,8 \div 1$ ;  $\delta \cong 1,2 (\alpha R/R_Z)^{1/3}$ ;  $\alpha = n_0/n_m, n_m$ ;  $E$  – модуль упругости резины. Если учесть то, что число выступов, пересеченных средним уровнем на площади, соответствующей базовой длине,  $n'_0 = \frac{l^2}{S_m^2}$ , то  $n_0$  – число выступов на площади  $1 \text{ mm}^2$ , пересеченных средним уровнем, равно  $n_0 = \frac{1}{S_m^2}$ , где  $l$  – базовая длина шероховатости,  $S_m$  – средний шаг шероховатости. Соответственно,  $n_m = \frac{1}{S_i^2}$ , где  $S_i$  – средний шаг между соседними выступами шероховатости. По предложенной схеме (рис. 1) [25] номинальная площадь печатного контакта определяется выражением

$$A_a = \frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1, \quad (6)$$

где  $\gamma_1$  – центральный угол сектора контактной зоны;  $L$  – длина контакта;  $R'_H$  – радиус формного цилиндра с печатной формой;

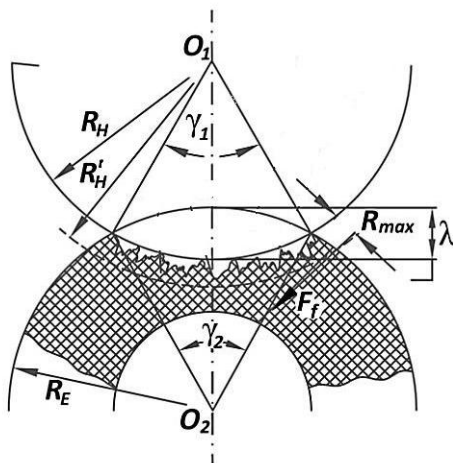


Рис. 1. Схема контакта формного цилиндра с офсетным цилиндром

Учитывая (6), (4) и (5), запишем в виде

$$N = \left[ \frac{\sqrt{R}(v-1)n_0 \frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1 k}{0,82^{3/2} \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) R_p^{v-1}} \right] a^{v+0,5}, \quad (7)$$

$$A_r = \frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1 \left[ 1 - K_1 e^{-\delta \left( \frac{N}{\frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1 E} \right)^{2/3}} \right]. \quad (8)$$

Учитывая (7) и (8), (3), запишем в виде

$$p_r = \frac{\left[ \frac{\sqrt{R}(v-1)n_0 \frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1 k}{0,82^{3/2} \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) R_p^{v-1}} \right] a^{v+0,5}}{\frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1 \left[ 1 - K_1 e^{-\delta \left( \frac{N}{\frac{L\pi R'_H}{180^\circ} \gamma_1 E} \right)^{2/3}} \right]} \quad (9)$$

В приведенных формулах не учтено влияние времени действия нагрузки, т. е. упругая и пластическая деформации возникают не мгновенно после нагружения, а развиваются во времени.

### 5. Обсуждение результатов исследования влияния шероховатости поверхности печатной формы на фактическую площадь контакта декаля и на фактическое давление в печатной зоне

Установлено, что деформация декаля существенно зависит от шероховатости поверхности печатной формы и физико-механических свойств декаля. При этом определены значения фактической площади контакта декаля и фактическое давление в печатной зоне. Для исследования влияния шероховатости поверхности печатной формы на фактическую площадь контакта декаля в печатной зоне учтено взаимодействие микровыступов шероховатости поверхности печатной формы с поверхностью декаля. По разработанной методике рассчитаны значения фактической площади контакта декаля и фактическое давление в печатной зоне. Установлено значение фактической площади контакта и фактического давления, которые обеспечивают упругий насыщенный контакт декаля и, следовательно, высокое качество оттисков. Для проведения исследований выбрана офсетная печатная машина *Rapida KBA 105*.  $R_E = 14,68$  см;  $R_H = 14,94$  см – радиусы офсетного и формного цилиндров соответственно. Толщина декаля марки *CONTI – AIR* – 1,96 мм; толщина металлической печатной формы марки *PRO – V* фирмы *Fujifilm* –  $\delta_F = 0,3$  мм;  $R_{max} = 0,644; 1,03; 1,85; 2,5; 0,644$  мкм,  $R_a = 0,0615; 0,127; 0,375; 0,396; 0,0615$  мкм,  $R_p = 0,773; 0,426; 1,21; 1,31; 0,773$  мкм,  $l = 0,25$  мм,  $S_m = 34,1; 25,7; 41,6; 30,1$  мкм,  $S_i = 4,64; 4,8; 6,37; 7,32$  мкм – параметры шероховатости поверхности печатной формы, которые определены по профилограмме, снятой профилометром мод. 130. По предложенной методике рассчитаны значения фактической площади контакта декаля и фактического давления. На рис. 2 показана зависимость фактической площади контакта декаля от нормальной нагрузки. Как видно из расположения кривых, при больших значениях шероховатости  $R_{max}$  с увеличением нормальной нагрузки  $N$  фактическая площадь контакта декаля  $A_r$  увеличивается, что объясняется возрастанием сближения  $a$  контактирующих поверхностей печатной формы и декаля. Также увеличение нормальной нагрузки  $N$  и фактической площади контакта декаля  $A_r$  приводит к увеличению фактического давления  $P_r$  (рис. 3).

Однако эта закономерность соблюдается не всегда, так как с увеличением коэффициента осадки  $\alpha$ , который зависит от количества контактирующих выступов шероховатости ( $R_{max} = 1,85 \text{ мкм}$ ), наблюдается ограничение увеличения и уменьшение значений параметров  $N$ ,  $A_r$  и  $P_r$ , что объясняется ранним достижением требуемого сближения контактирующих поверхностей печатной формы и декаля.

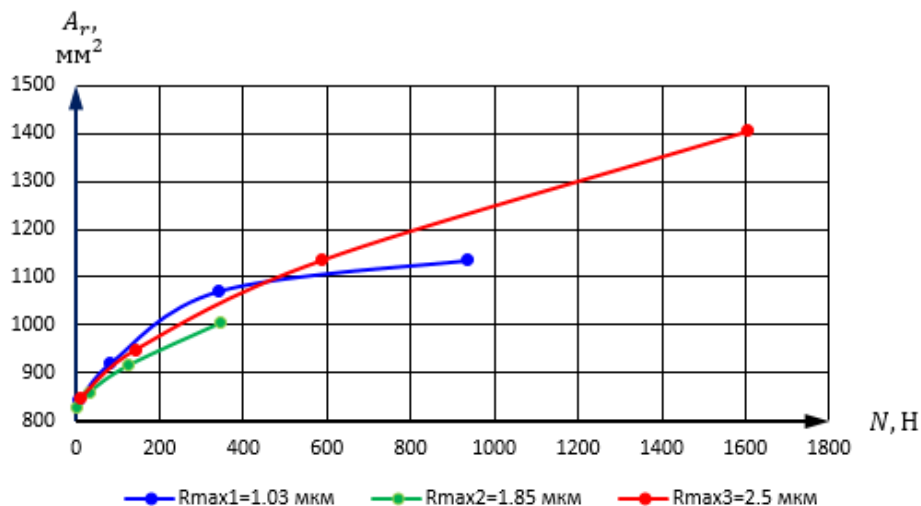


Рис. 2. Зависимость фактической площади контакта декаля от нормальной нагрузки

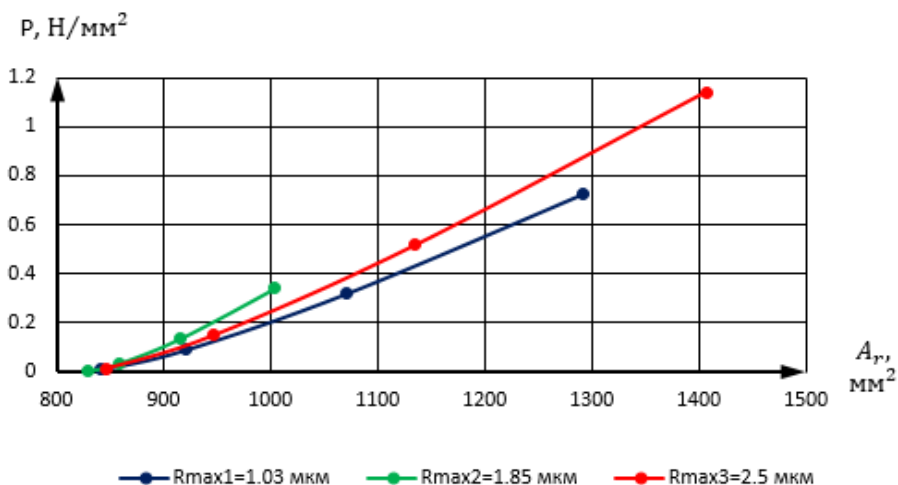


Рис. 3. Зависимость фактического давления от фактической площади контакта декаля

Преимуществами данного исследования по сравнению с аналогами можно считать то, что при известных значениях шероховатости поверхности печатной формы, а также физико-механических характеристик декаля можно определить фактическую площадь контакта декаля и фактического контактного давления, что необходимо для обеспечения качества оттисков при печати.

### Выводы

1. Установлено влияние шероховатости поверхности печатной формы на значения фактической площади контакта и фактического давления.
2. Учитывая внедрение микровыступов шероховатости поверхности печатной формы в тело декаля, определены значения фактической площади контакта и фактического давления, которые обеспечивают упругий насыщенный контакт в печатной зоне.
3. Результаты исследований позволяют произвести правильный выбор печатной формы и декаля, при которых обеспечивается оптимальное значение фактического давления, обеспечивающее качество оттисков.

### Литература

1. Wang, Jia Chun *Finite Element Analysis (FEA), Fractal Characterization, Real Contact Area, Rough-Smooth Surface Contact* / Jia Chun Wang, Bo Qiang Xing, Teng Zhao // *Key Engineering Materials*. – 2014. – Vol. 579–580. – P. 517–522. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.579-580.517>
2. Суслов, М.В. Диапазон допустимых деформаций цилиндров печатного аппарата / С.А. Гуляев, И.Ш. Герцштейн, М.В. Суслов // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. – 2010. – № 4 – С. 41–47.
3. Liu, L.L. *Dynamic Simulation Modeling of Inking System Based on Elastohydrodynamic Lubrication.* / Liu, LL, Li KK, Lu F // *International journal of heat and technology*. – 2016. – Vol. 34, No. 1. – P. 124–128. <https://doi.org/10.18280/ijht.340118>
4. *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>
5. *Effects of blanket roller deformation on Printing qualities in gravure-offset printing method* / Kwangsoo Kim, Chung Hwan Kim, Heon-Young Kim et al. // *The Japan Society of Applied Physics Japanese Journal of Applied Physics*. – 2010. – Vol. 49. – Numbers 5S1.
6. Buchner, B. *Determination of the real contact area for numerical simulation* / B. Buchner, M. Buchner, B. Buchmayr // *Tribology International*. – 2009. – Vol. 42, Iss. 6. – P. 897–901. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2008.12.009>
7. Song, B. *Relationship between the real contact area and contact force in pre-sliding regime* / B. Song, Sh. Yan // *Chinese Physics B*. – 2017. – Vol. 26(7). – Number 074601.
8. Cohen, D. *The Effect of Surface Roughness on Static Friction and Junction Growth of an Elastic-Plastic Spherical Contact* / D. Cohen, Y. Kligerman, I. Etsion // *ASME. J. Tribol.* – 2009. – Vol. 131(2). – Number 021404. <https://doi.org/10.1115/1.3075866>
9. *Fractal Prediction Model for the Contact of Friction Surface and Simulation Analysis* / Liang Ao, Bian Yongming, Chen Qifan et al. // *IEEE PROCEEDINGS OF 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM 2019)*. – P. 189–195. WOS:000474733300037
10. Торская, Е.В. Моделирование фрикционного взаимодействия шероховатого индентора и двухслойного упругого полупространства / Е.В. Торская // *Физическая мезомеханика* – 2012. – Т. 15, № 2. – С. 31–36.
11. *Calculation of actual area in the contact of a single microasperity modeled by a cone with a smooth surface of the part* / М.М. Matlin, А.И. Mozgunova, Е.Н. Kazankina et al. // *J. Frict. Wear*. – 2014. – Vol. 35. – P. 443–447. <https://doi.org/10.3103/S1068366614050110>
12. *Calculating real area of contact of single microasperity modeled by a cylinder with smooth surface* / М.М. Matlin, А.И. Mozgunova, Е.Н. Kazankina et al. // *J. Frict. Wear* – 2013. – Vol. 34. – P. 391–397. <https://doi.org/10.3103/S1068366613050085>
13. Matlin, М.М. *Calculation of the actual contact area between a single microasperity and the smooth surface of a part when the hardnesses of their materials are similar* / М.М. Matlin, Е.Н. Kazankina, V.A. Kazankin // *J. Frict. Wear*. – 2011. – Vol. 32. – P. 140–144. <https://doi.org/10.3103/S1068366611020073>
14. Дёмкин, Н.Б. Зависимость эксплуатационных свойств фрикционного контакта от микрогеометрии контактирующих поверхностей / Н.Б. Дёмкин, В.В. Измайлов // *Трение и износ*. – 2010. – Т. 31, № 1. – С. 68–77.
15. Ильин, А.В. Моделирование процессов электрофрикционного взаимодействия в узлах скользящего токосъема / А.В. Ильин, И.В. Плохов, О.И. Козырева // *Научно-технический вестник Поволжья* – 2013. – № 4. – С. 166–173.
16. Измайлов, В.В. Числовое и аналитическое моделирование дискретного контакта деталей машин / Измайлов В.В., Чаплыгин С.А. // *Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ»*. – 2014. – № 6. – Электронный ресурс: <http://naukovedenie.ru/PDF/10TVN614.pdf> (дата обращения 01.11.2022г). DOI: 10.15862/10TVN614
17. Kogut, L. *A Finite Element Based Elastic-Plastic Model for the Contact of Rough Surfaces* / L. Kogut, I. Etsion // *Tribology Transactions*. – 2003. – Vol. 46, No. 3. – P. 383–390.

18. Болотов, А.Н. Исследование упругопластических контактных деформаций металлов применительно к процессам фрикционного взаимодействия / А.Н. Болотов, О.В. Сулягин, М.В. Васильев // Известия Самарского научн. центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 4(3). – С. 977–981.
19. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 644 с.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Огар, П.М. Относительная площадь контакта при внедрении и сплющивании сферических неровностей шероховатых поверхностей / П.М. Огар, В.К. Елсуков, Е.В. Угрюмова // Системы Методы Технологии. – 2018. – № 1 (37). – С. 12–17.
24. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; под ред. Д.Г. Громаковского; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000. – 268 с.
25. Халилов, И.А. Явление пыления краски с учетом шероховатости поверхности офсетной печатной формы / И.А. Халилов, Э.А. Алиев, Э.М. Гусейнзаде // Проблеми охорони праці в Україні – 2021. – Т. 37(2). – С. 16–24.

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

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

**Исмаилова Шебнем Видади гызы**, докторант, ассистент, кафедра «Мехатроника и дизайн машин», Азербайджанский технический университет, г. Баку, shebinem.ismayilova@aztu.edu.az.

Поступила в редакцию 11 ноября 2022 г.

DOI: 10.14529/engin230104

## DETERMINATION OF THE ACTUAL DECKLE CONTACT AREA AND THE ACTUAL PRESSURE IN THE PRINTED AREA

**E.A. Aliyev**, elab57@mail.ru

**I.A. Khalilov**, khalilov-isa@rambler.ru

**Sh.V. Ismailova**, shebinem.ismayilova@aztu.edu.az

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

The article determines the effect of micro-roughening of the surface roughness of the printing plate on the deformation of the deck. To study the effect of printing plate surface roughness on the actual contact area of the deck in the printing area, the interaction of the roughness micro-roughness with the surface of the softer material of the deck was considered. A review and discussion of the results of studies on contact problems was made. To determine the actual contact area from the applied load, the distribution of micro protrusions of the surface roughness of the printing plate is taken into account. A method has been developed for calculating the actual deckle contact area and the actual pressure in the printing area, taking into account the surface rough-



ness of the printing plate. According to the proposed method, the values of the actual deckle contact area and the actual pressure in the printing zone were calculated. It has been established that with an increase in the normal load, the actual deckle contact area increases. Also, an increase in the normal load leads to an increase in the actual pressure. The set values of the actual contact area and the actual pressure contribute to the formation of an elastic saturated contact of the deckle, which ensures high quality prints. The results obtained by the developed method are compared with calculations based on known dependencies. In calculations, the number of protrusions crossed by the average level and the number of protrusion tops located above the midline in the area corresponding to the base length are determined, respectively, by the average roughness step and by the average step between adjacent roughness protrusions. The research results make it possible to make the right choice of printing plates and decals when adjusting and operating a printing machine, as well as to set the actual pressure value, which ensures high quality prints.

*Keywords:* actual contact area, actual pressure, roughness, deformation of deckle, printing area.

### References

1. Jia Chun Wang, Bo Qiang Xing, Teng Zhao. Finite Element Analysis (FEA), Fractal Characterization, Real Contact Area, Rough-Smooth Surface Contact. *Key Engineering Materials*, 2014, Vol. 579–580. pp. 517–522. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.579-580.517>
2. Suslov M.V., Gulyayev S.A., Gertshteyn I.Sh. [Range of admissible deformations of cylinders of the printing device]. *Izvestiya of higher educational institutions. Problems of printing and publishing*, 2010, no. 4. pp. 41–47.
3. 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. <https://doi.org/10.18280/ijht.340118>
4. 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. <https://doi.org/10.1088/1361-6439/ab024b>
5. Kim K., Kim Ch.H., Kim H-Y., 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, no. 5S1.
6. Buchner B., Buchner M., Buchmayr B. Determination of the real contact area for numerical simulation. *Tribology International*. 2009. vol. 42, iss. 6, pp. 897–901. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2008.12.009>.
7. Song B., Yan Sh.. Relationship between the real contact area and contact force in pre-sliding regime. *Chinese Physics B*, 2017, vol. 26(7), no. 074601
8. Cohen, D., Kligerman, Y., Etsion, I. The Effect of Surface Roughness on Static Friction and Junction Growth of an Elastic-Plastic Spherical Contact. *ASME. J. Tribol.* 2009, vol. 131(2). number 021404. <https://doi.org/10.1115/1.3075866>
9. Liang Ao, Bian Yongming, Chen Qifan, Liu Guangjun. Fractal Prediction Model for the Contact of Friction Surface and Simulation Analysis. *IEEE PROCEEDINGS OF 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM 2019)*. 2019. pp. 189–195. WOS:000474733300037
10. Torskaya Ye.V. [Simulation of the Frictional Interaction of a Rough Indenter and a Two-Layer Elastic Half-Space]. *Physical mesomechanics*, 2012, vol. 15, no. 2, pp. 31–36. (in Russ).
11. Matlin M.M., Mozgunova A.I., Kazankina E.N. *et al.* Calculation of actual area in the contact of a single microasperity modeled by a cone with a smooth surface of the part. *J. Frict. Wear* 2014, vol.35, pp. 443–447. <https://doi.org/10.3103/S1068366614050110>
12. Matlin M.M., Mozgunova A.I., Kazankina E.N. *et al.* Calculating real area of contact of single microasperity modeled by a cylinder with smooth surface. *J. Frict. Wear*, 2013, vol. 34, pp. 391–397. <https://doi.org/10.3103/S1068366613050085>
13. Matlin, M.M., Kazankina, E.N. & Kazankin, V.A. Calculation of the actual contact area between a single microasperity and the smooth surface of a part when the hardnesses of their materials are similar. *J. Frict. Wear*, 2011, vol. 32, pp. 140–144. <https://doi.org/10.3103/S1068366611020073>.

14. Demkin N.B., Izmailov V.V. [Dependence of operational properties of friction contact on the microgeometry of contacting surfaces]. *Friction and wear* 2010, vol. 31, no. 1, pp. 68–77. (in Russ).
15. Ilyin A.V., Plokhov I.V., Kozyreva O.I. [Modeling of the processes of electrofriction interaction in the nodes of sliding current collection]. *Scientific and technical bulletin of the Volga region* 2013. no. 4. pp. 166–173. (in Russ).
16. Izmailov V.V., Chaplygin S.A. [Numerical and analytical modeling of discrete contact of machine parts]. Internet journal “NAUKOVEDENIE” 2014. no. 6. – Electronic resource: <http://naukovedenie.ru/PDF/10TVN614.pdf> (accessed 01.11.2022). DOI: 10.15862/10TVN614 (in Russ).
17. Kogut L., Etsion I. A Finite Element Based Elastic-Plastic Model for the Contact of Rough Surfaces. *Tribology Transactions*. 2003. vol. 46, no. 3. pp. 383–390.
18. Bolotov A.N., Sutyagin O.V., Vasiliev M.V. Investigation of elastic-plastic contact deformations of metals in relation to the processes of frictional interaction. *Proceedings of the Samara scientific. Center of the Russian Academy of Sciences*, 2011. vol. 13, no. 4(3). pp. 977–981. (in Russ).
19. Chichinadze A.V. (ed.), Brown E.D., Bush N.A. et al. *Osnovy tribologii (treniye, iznos, smazka)* [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)] Moscow Mashinostroenie, 2001. 644 p.
20. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Kozhevnikov A.S. *Kontaknyye zadachi v germetologii nepodvizhnykh soyedineniy*. [Contact problems in the hermetology of fixed joints]. Bratsk: Publishing House of BrGU, 2007. 242 p.
21. Gorokhov D.B., Kozhevnikov A.S. [Density of gaps when contacting a rigid rough surface through a layer of elastic-plastic coating]. *Modern technologies. System analysis. Modeling* 2015. no. 4 (48). pp. 74–79. (in Russ).
22. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Elsukov V.K. [Criteria for the appearance of plastic deformations when contacting rough surfaces in the connection of technological equipment]. *Systems Methods of Technology*. 2017, no. 3 (35). pp. 32–39.
23. Ogar P.M., Elsukov V.K., Ugryumova E.V. [Relative area of contact during the introduction and flattening of spherical irregularities of rough surfaces]. *Sistemy Methody Tekhnologii*. 2018. no. 1 (37). pp. 12–17. (in Russ).
24. Berkovich I.I., Gromakovskiy D.G. (ed) *Tribologiya. Fizicheskiye osnovy, mekhanika i tekhnicheskiye prilozheniya* [Tribology. Physical foundations, mechanics and technical applications] Samar. state tech. un-t. Samara, 2000. 268 p.
25. Khalilov I.A., Aliev E.A., Huseynzadze E.M. [The phenomenon of paint dusting, taking into account the surface roughness of the offset printing plate]. *Problems of protection of work in Ukraine*, 2021, vol. 37(2). pp. 16–24. (in Russ).

*Received 11 November 2022*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Алиев, Э.А. Определение фактической площади контакта декеля и фактического давления в печатной зоне / Э.А. Алиев, И.А. Халилов, Ш.В. Исмаилова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 40–49. DOI: 10.14529/engin230104

**FOR CITATION**

Aliyev E.A., Khalilov I.A., Ismailova Sh.V. Determination of the actual deckle contact area and the actual pressure in the printed area. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 40–49. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin230104

---