

УДК 655.3

М. И. Кулак, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ);
О. В. Сидельник, студентка (БГТУ)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТИРАЖЕСТОЙКОСТИ ПЕЧАТНЫХ ФОРМ

Статья посвящена разработке методики статистического моделирования тиражестойкости печатных форм. Проанализированы физические основы сопротивления форм износу и формирования их тиражестойкости. Построена обращенная функция жизненного цикла, описывающая динамику износа форм на протяжении всего периода их эксплуатации. Приведены результаты расчетов износа форм для различных видов и способов печати, а также штампов для тиснения.

Article is devoted to development of a technique of statistical modeling of a resistance to wear of printing forms. Physical bases of resistance of forms to wear and formations of their resistance to wear are analysed. The turned function of life cycle describing dynamics of wear of forms throughout the entire period of their operation is constructed. Results of calculations of wear of forms for different types and ways of the press and stamps for a stamping are given.

Введение. Производственные потери, вызванные необходимостью смены форм при всех видах печати, связаны с затратами времени, материалов и средств, которые могли быть использованы на выпуск существенных объемов дополнительной продукции [1, 2]. Необходимость в исследовании тиражестойкости печатных форм (ТСПФ) диктуется также непрерывным и достаточно интенсивным развитием технологии формных процессов, появлением новых материалов и оборудования для их изготовления, а также потребностями печатных процессов, возрастающими требованиями к качеству печатной продукции.

Активизация исследований в области формных процессов, в том числе и тиражестойкости форм, произошла в середине прошлого века в связи с развитием плоской офсетной печати, разработкой фотополимерных форм (ФПФ) для высокой печати, расширением использования специальных способов печати. За прошедший период накоплен весьма большой объем информации, в том числе и с использованием методов фундаментальных наук — механики, физики и химии [3–7, 12–15]. Однако при наличии довольно развитой теории формных и печатных процессов приходится констатировать, что теоретические работы в области ТСПФ отсутствуют. Этот дефицит в настоящее время уже становится сдерживающим фактором в развитии как теории, так и технологии формных и печатных процессов.

Целью данной работы является теоретическое исследование динамики и причин износа форм для различных видов и способов печати, а также построение универсальной аналитической функции,

описывающей их сопротивление изнашиванию на протяжении печатания тиража.

Трение и износ металлов и полимеров. В настоящее время сложилось два подхода к решению задачи оценки сопротивления деталей и узлов машин и оборудования изнашиванию [8–10]. Первый из них [8, 9] является в большей степени фундаментальным, однако он не связан с исследованием изнашивания непосредственно. В его основе лежат общие положения механики деформируемого твердого тела. На первом этапе формулируется контактная задача для двух тел определенной формы, изготовленных из реальных материалов с известными механическими свойствами. Решение этой задачи позволяет определить коэффициент трения для контактной пары. Изучение трения и является основной целью подхода. Далее при необходимости исследования износа устанавливается связь между коэффициентом трения и сопротивлением материалов изнашиванию для конкретных условий трения и формы контактирующих тел (деталей).

Подход привлекателен своей логической стройностью, однако реализация такой программы на практике существенно затруднена. Основная сложность — это то, что контактная задача может быть решена аналитически в полном объеме только для тел простейшей геометрической формы. Вторая проблема — связь между трением и износом устанавливается эмпирически. Таким образом, подход с теоретической точки зрения не является замкнутым.

В рамках второго подхода [10] основное внимание уделяется исследованию непосредственно износа. Такие работы в большей степени целена-

правленны, но, с другой стороны, это снижает их универсальность. Конкретно, в литературе [10] исследовалось сопротивление абразивному изнашиванию деталей и узлов сельскохозяйственных машин. Рассматривать их результаты применительно к исследованию износа печатных форм можно только в методическом плане.

Физические основы сопротивления печатных форм износу и формирования их тиражестойкости. Принципиальная картина износа применительно к металлическим печатным формам высокой печати была установлена в конце пятидесятых годов прошлого века. Так, в книге [1] приведена ссылка на журнал «Print in Britain» (Print in Britain, 1959, Sept.), в котором указывается, что в результате исследований, проведенных в ФРГ, установлены следующие стадии износа форм. До тиража 50 тыс. оттисков износ равномерно возрастает, затем в интервале от 50 тыс. до 100 тыс. остается практически постоянным и опять увеличивается после 100 тыс. оттисков.

В последующих работах [2–7, 12] данная картина детализировалась применительно к формам для различных видов и способов печати, было изучено влияние на износ всего комплекса факторов, связанных с технологией изготовления форм, а также с режимами и условиями печатания. Вместе с тем деление динамики износа на три стадии и в настоящее время является общепризнанным — по сути классическим.

Первая стадия — начальный износ. Происходит приработка формы, в результате абразивных воздействий сошлифовываются шероховатости, скругляются грани печатающих элементов на формах высокой печати, образуются вторичные структуры, которые начинают замедлять износ, формируя постоянные условия работы трения. Для форм плоской офсетной печати на первой стадии абразивный износ, в первую очередь пробельных элементов, также играет преобладающую роль. У форм глубокой печати абразивное воздействие направлено на пробельные элементы и ракели. На данной стадии имеет место значительное изменение качества оттисков.

Вторая стадия — установившийся износ. Для нее характерно относительное постоянство условий трения. Происходит это потому, что в результате удаления шероховатостей увеличивается площадь контакта, снижается удельное давление и температура на поверхности трения. Вторичные структуры сформированы. В металлических формах первичные микротрещины локализованы в кристаллических зернах. Печатная краска, попадая в эти трещины, пластифицирует металл на поверхности формы (эффект П. А. Ребиндера). На ФПФ в результате

окислительного изнашивания образуется вторичная пленка. Таким образом, процесс изнашивания на данной стадии уравнивается (компенсируется) процессом упрочнения (восстановления). Показатели качества оттисков находятся в пределах нормативных значений.

Третья стадия — усиленный износ. В результате циклических нагрузок инициируется усталостное разрушение металла формы. Микротрещины группируются в кластеры, из которых формируются макротрещины в виде царапин, пор, сеток из глубоких трещин, поверхность печатающих элементов начинает разрушаться, образуются сколы. Усталость ФПФ проявляется через механохимический механизм. В результате циклических механических воздействий химические связи в полимерах разрываются с образованием свободных макро-радикалов. Происходящие затем вторичные химические реакции приводят к деструкции полимеров формы. Качество оттисков резко снижается.

Ограниченный объем статьи не позволяет раскрыть различные механизмы износа печатных форм более подробно. Они рассмотрены в работах [2–7, 12]. В данной работе эти механизмы далее будут использованы для построения статистической модели процесса изнашивания печатных форм.

Статистическое прогнозирование жизненного цикла печатных форм. Различия в материалах, структуре и технологии изготовления форм для разных видов и способов печати обуславливают отличия в скорости и сочетаниях механических, физических, химических процессов, приводящих к износу печатных форм. Соответственно математическая модель должна быть в достаточной степени универсальной, чтобы описывать все эти процессы с требуемой точностью. В данной работе для построения такого описания предлагается использовать функцию жизненного цикла (ФЖЦ) [11].

Определяющим дифференциальным уравнением для ФЖЦ является уравнение Ферхюльста – Перла

$$\frac{dy}{dt} = by(A - y), \quad (1)$$

где y — значение анализируемого показателя в некоторый момент времени t ; A — асимптота ФЖЦ; b — параметр задачи.

Уравнение (1) интегрируется аналитически, его решение и есть искомая ФЖЦ:

$$y(t) = \frac{Ay_0}{y_0 + (A - y_0)e^{-Abt}}, \quad (2)$$

где y_0 — начальное значение функции y .

Неизвестные коэффициенты A и b , а также начальное значение y_0 в выражении (2) нахо-

дятся с помощью регрессионного анализа по методу наименьших квадратов (МНК). При этом исходными данными являются статистические, полученные в результате промышленных или лабораторных исследований тиражестойкости печатных форм.

Анализ экспериментальных данных по исследованию тиражестойкости печатных форм, а также штампов для тиснения [3–7, 12–15] показывает, что в большинстве случаев динамика износа описывается не классической S-образной ФЖЦ (2), а обратной по отношению к ней функцией.

Обозначим, так как это принято в специальной литературе по трению и износу [8–10], износ печатной формы символом W . Индексами у этого символа будем обозначать вид износа: h — износ печатных элементов формы по высоте; b — по ширине; S — изменение площади печатных или пробельных элементов; V — износ материала в объеме. Символом T обозначим тираж, а N — количество циклов при лабораторных испытаниях на истирание.

В этом случае, уравнение обратное по отношению к (1), будет иметь вид

$$\frac{dT}{dW} = bT(A - T). \quad (3)$$

Решение (3) соответственно следующее:

$$T(W) = \frac{AT_0}{T_0 + (A - T_0)e^{-AbW}}. \quad (4)$$

Функцию (4) можно обратить, выразив износ W как функцию тиража T . Она будет иметь следующий вид

$$W(T) = \frac{1}{Ab} \ln \left[\frac{(A - T_0)T}{T_0(A - T)} \right]. \quad (5)$$

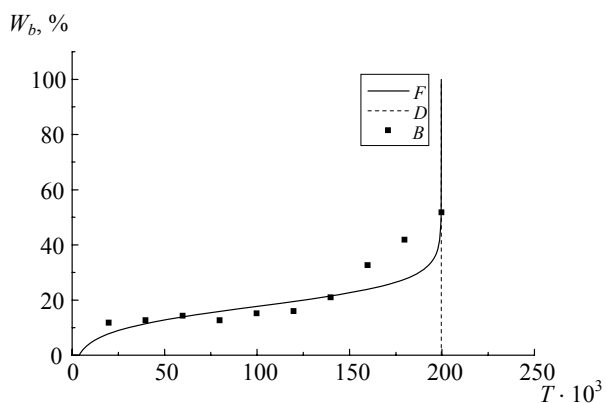
Построенные модели позволяют учесть в общих чертах рассмотренный выше механизм износа печатных форм. Первый член в правой части дифференциальных уравнений (1) и (3) описывает рост скорости процесса, второй — замедление процесса. Замедление происходит в условиях, когда наряду с основным процессом начинает проявляться конкурирующий, который его уравнивает или компенсирует. Как уже указывалось выше, при износе печатных форм на второй стадии образуются вторичные структуры, в результате процесс изнашивания уравнивается (компенсируется) процессом упрочнения (восстановления).

Анализ результатов моделирования. Результаты обработки экспериментальных данных и найденные с помощью МНК значения параметров ФЖЦ (5) износа печатных форм и штампов для тиснения приведены в таблице.

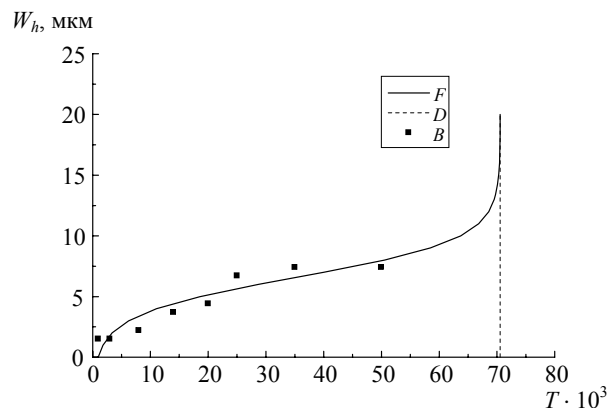
Асимптота A является характеристикой предельного значения износа форм в рамках рассмотренных механизмов. Превышение ее величины означает, что износ и разрушение форм будут происходить на мезо- и макро-структурном уровне.

Значения параметров ФЖЦ для печатных форм различных видов

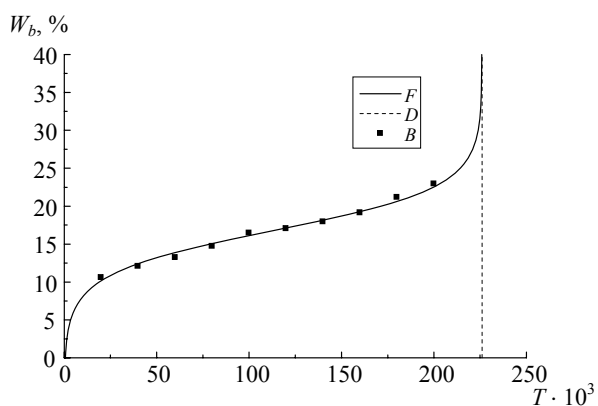
Печатная форма: вид печати, материал, источник данных, рис.	Исследуемый элемент формы	Значения параметров			Значения критерия Фишера	
		$A \cdot 10^3$, цикл.	b	T_0	расчетные, F_p	табличные, F_r
Высокая печать, ФПФ, [12], а	Штриховой, ширина	199,607	$1,117 \cdot 10^{-3}$	3,800	1,226	3,180
Высокая печать, ФПФ, [12], б	Пробельный, ширина	225,999	$1,564 \cdot 10^{-3}$	0,600	1,076	3,180
Плоская офсетная, биметаллическая, [6], в	Пробельный, высота	413,217	$29,000 \cdot 10^{-3}$	5,400	1,027	5,050
Тампопечать, сталь, [13], г	Штриховой, ширина	30,940	$2,632 \cdot 10^{-3}$	1,700	1,123	3,440
Штамп для тиснения, ФПФ, [14], д	Штриховой, высота	78,284	$3,267 \cdot 10^{-3}$	1,000	1,049	3,790
Штамп для тиснения, ФПФ, [14], е	Растровый, высота	70,567	$9,246 \cdot 10^{-3}$	0,950	1,308	3,790
Штамп для тиснения, ФПФ, [15], ж	Штриховой, площадь	40,609	$1,322 \cdot 10^{-3}$	2,300	1,043	3,790



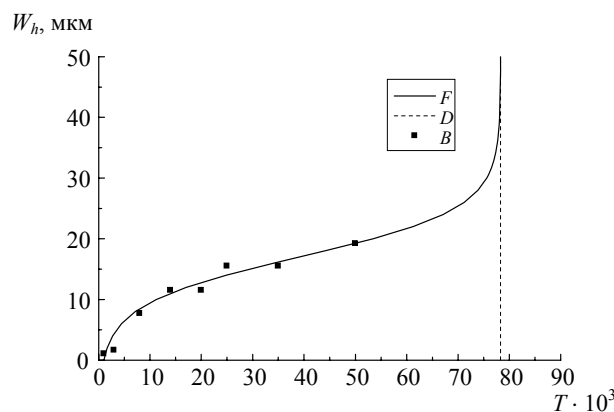
а



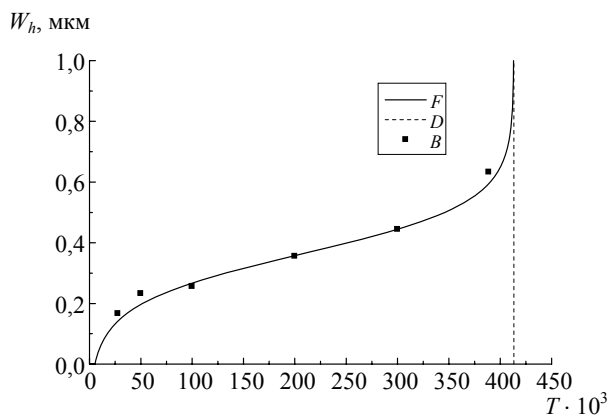
д



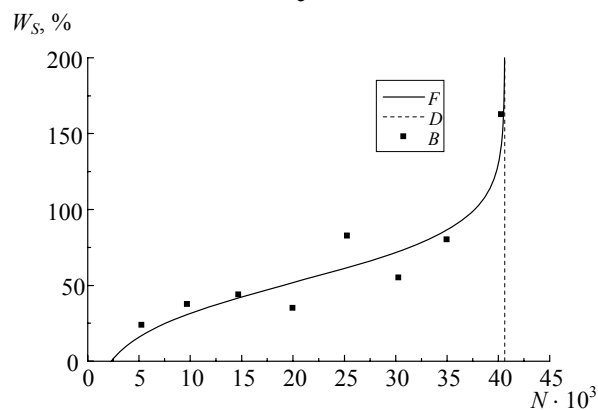
б



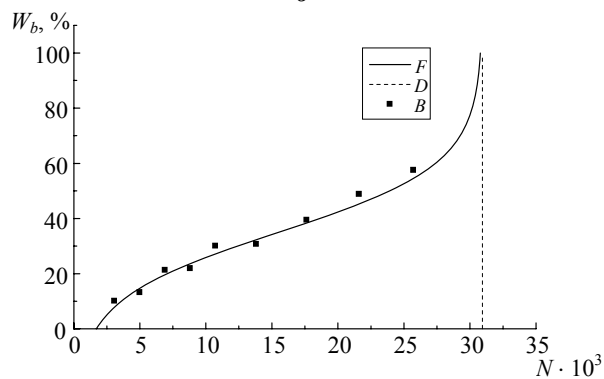
е



в



ж



з

Динамика износа форм и штампов для тиснения: а — печатные элементы, высокая печать; б — пробельные элементы, высокая печать; в — пробельные элементы, плоский офсет; д — печатные элементы, тампопечать; е — штрихи, штамп; ж — растровые точки, штамп; з — искажения штрихов, штамп; обозначения: В — данные эксперимента; D — асимптота; F — теоретическая функция

Параметр b характеризует интенсивность (кинетику) процессов износа на стадии установившегося роста. Этот параметр удобен для

сравнительных исследований процесса износа форм из различных материалов, в различных условиях их изготовления и эксплуатации.

Параметр T_0 характеризует начальную величину тиража, или количества циклов испытаний, при которых износ становится заметным. Его значения, как правило, на 3–4 порядка меньше A . Параметр важен как характеристика начала процесса износа.

Адекватность моделей проверялась по критерию Фишера. Табличное значение данного критерия F_T , при количестве степеней свободы $\nu = n - 1$ (n — количество экспериментальных точек) и уровне значимости $\alpha = 0,05$, больше для всех значений F_p , полученных при обработке экспериментальных данных.

На рисунке приведена динамика износа форм и штампов для тиснения при печатании или лабораторных испытаниях.

Анализ данных на рисунке показывает, что ФЖЦ обладает универсальностью в достаточной степени для описания различных видов износа как печатных, так и пробельных элементов — по высоте, ширине и площади. В рамках единого описания можно моделировать изменение тиражестойкости печатных форм различных видов и способов печати, включая специальные способы, а также штампов для тиснения из различных материалов. Количественное соответствие теории и эксперимента не только подтверждается критерием Фишера, но и наблюдается визуально и на графиках.

Применение ФЖЦ позволяет описать все три стадии динамики износа, а также определенные нюансы их изменения для различных печатных форм и штампов.

В рамках данной статьи не ставилась задача широкого исследования с помощью ФЖЦ физико-механических и физико-химических свойств фотополимерных или других печатных форм. Важно было продемонстрировать потенциальные возможности ФЖЦ на характерных примерах и образцах форм. Таким образом, актуальной становится задача применения модели для конкретных исследований по технологии формных и печатных процессов.

Заключение. Предложенная в статье методика и результаты моделирования износа печатных форм и штампов для тиснения позволяют решать широкий спектр задач по диагностике их тиражестойкости в рамках как допечатного и печатного процесса, так и других технологических операций, разрабатывать мероприятия по профилактике отказов форм, на новой методической базе прорабатывать управленческие решения на этапах планирования и организации полиграфического производства.

Литература

1. Попрядухин, П. А. Технология печатных процессов / П. А. Попрядухин. — М.: Книга, 1968. — 360 с.
2. Раскин, А. Н. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин, И. В. Ромейков, Н. Д. Бирюкова. — М.: Книга, 1989. — 432 с.
3. Лазаренко, Э. Т. Фотохимическое формирование печатных форм / Э. Т. Лазаренко. — Львов: Вища шк., 1984. — 151 с.
4. Печатные формы из фотополимеризующихся материалов / О. Ф. Розум [и др.]. — Киев: Техніка, 1987. — 207 с.
5. Величко, Е. М. Тиражестойкость печатных форм / Е. М. Величко, Т. Г. Осипова, О. Ф. Розум. — Киев: Реклама, 1987. — 22 с.
6. Розум, О. Ф. Физико-химические основы тиражестойкости печатных форм / О. Ф. Розум. — Киев: УМКВО, 1989. — 81 с.
7. Лабинский В. С. Печатающие и пробельные элементы форм офсетной плоской печати / В. С. Лабинский. — Киев: Реклама, 1989. — 26 с.
8. Бартенев Г. М. Трение и износ полимеров / Г. М. Бартенев. — Л.: Химия, 1972. — 240 с.
9. Трение и износ материалов на основе полимеров / В. А. Белый [и др.]. — Минск: Наука и техника, 1976. — 431 с.
10. Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию / М. М. Тененбаум. — М.: Машиностроение, 1976. — 271 с.
11. Кулак, М. И. Анализ устойчивости статистической модели жизненного цикла печатной продукции к изменению набора данных / М. И. Кулак, Н. М. Семеняко // Труды БГТУ. Сер. IX, Издательское дело и полиграфия. — 2007. — Вып. XV. — С. 69–72.
12. Розум, О. Ф. Исследование физико-механических и физико-химических свойств фотополимерных печатных форм: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.15 / О. Ф. Розум. — М.: МПИ, 1972. — 29 с.
13. Иванчишин, Г. М. Зносостійкість сталевих друкарських форм / Г. М. Иванчишин // Технологія і техніка друкарства. — 2006. — № 3. — С. 35–37.
14. Иванчишин, Г. М. Тиражестійкість фото полімерних штампів / Г. М. Иванчишин, Е. Т. Лазаренко, В. З. Маїк // Технологія і техніка друкарства. — 2008. — № 1. — С. 29–33.
15. Иванчишин, Г. М. Зносостійкість штампів для тиснення / Г. М. Иванчишин, В. З. Маїк // Технологія і техніка друкарства. — 2007. — № 1–2. — С. 60–64.

Поступила 28.03.2012