

УДК 655.2

В. З. Маик, кандидат технических наук, доцент, проректор (УАП, г. Львов, Украина);
М. И. Кулак, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ)

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ШТАМПОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ТИСНЕНИЯ

В статье представлены результаты экспериментального и теоретического исследования износостойкости полимерного материала для изготовления лазерным гравированием штампов горячего тиснения. Приведены данные эксперимента по истиранию материала. Построена математическая модель, описывающая процесс износа.

In article results of experimental and theoretical research of wear resistance of a polymeric material for manufacturing by laser engraving of press tools of a hot stamping are presented. Experimental data on material attrition is cited. The mathematical model presenting process of deterioration is built.

Введение. Кинетика износа формируется в результате взаимодействия штампа и изнашивающей среды, обладающих комплексом физико-механических свойств и имеющих определенную внутреннюю структуру.

С целью разработки новых композиций для изготовления лазерным гравированием штампов для горячего тиснения была проведена апробация основных классов полимерных материалов. В процессе проведения исследований к материалу предъявлялись следующие требования: совмещение и возможность введения в полимерную композицию сажи (до 10%); возможность качественного нанесения композиции на металлическую основу; отсутствие после затвердевания на поверхности трещин, раковин, неровностей, наплывов и других механических дефектов; чувствительность к лазерному излучению с длиной волны 1,064 мкм; возможность получения высоких репродукционно-графических и печатно-технических показателей; высокие физико-механические показатели (тиражестойкость, износостойкость); оптимальные деформационные свойства для создания условий постепенного износа формы вместо скола или разрушения; сопротивление термомеханической деструкции.

Исходя из рабочей гипотезы и проведенного анализа, для исследований была разработана термочувствительная саженая композиция на основе роливсанов [1].

Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование разработанного полимерного материала на износ при истирании.

Экспериментальное исследование износа. Износостойкость полимерного материала исследовалась методом истирания на приборе ИМП-1 [2]. Прибор состоит из ползуна с приводом от кривошипно-шатунного механизма и пуансона, установленного в направляющем патроне вертикально к плоскости движения пол-

зуна. На нижнем конце пуансона крепится абразивный материал. На ползуне закрепляется образец исследуемого материала. Ползун приводится в движение электродвигателем и совершает возвратно-поступательное перемещение в горизонтальной плоскости. Перед включением прибора на образец материала опускают пуансон массой 500 г.

Прибор ИМП-1 имеет следующие технические характеристики: скорость работы – 60 циклов/мин; масса переменных пуансонов 70, 100, 500 г; ход ползуна – 50 мм.

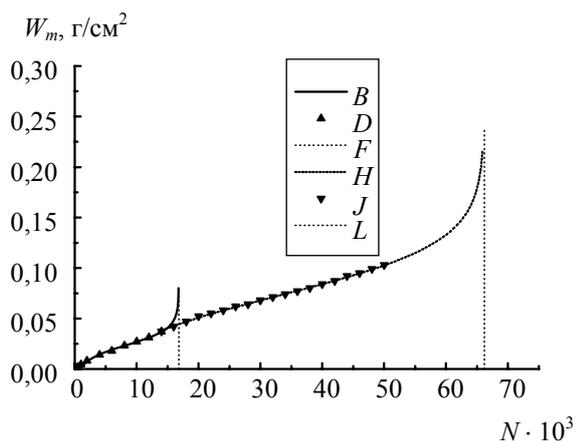
Истирание исследуемого полимерного материала осуществлялось с помощью шлифовальной бумаги марки Р-320, изготовитель – ОАО «Запорожский абразивный завод». Для предотвращения «засаливания» шлифовальную бумагу меняли через каждые 500 циклов истирания.

Для определения изменения массы образцов использовались электронные весы AD 500 (изготовитель – фирма «AXIS», Польша). Точность взвешивания составляла – 0,01 г.

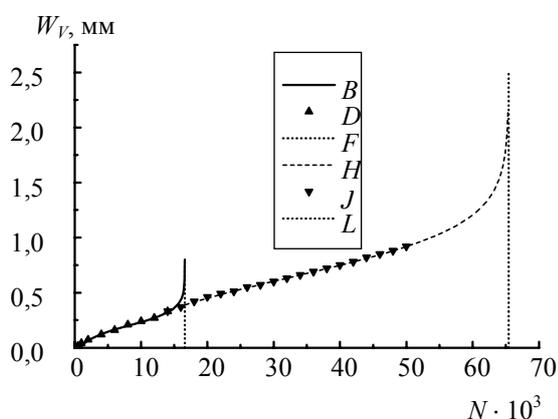
Анализ характера поверхности истирания проводился методом оптической микроскопии с помощью системы, состоящей из микроскопа МБИ-3, видеокамеры «ССТV Camera Vizion», подключенной к компьютеру с программным обеспечением «Fly 2000-TV».

Износостойкость полимерного материала оценивали по таким показателям как: удельный износ по массе W_m , удельный износ по объему W_v , скорости износа материала v_w и интенсивность истирания I_w [3, 4]. Результаты измерений и теоретических расчетов данных показателей приведены на рис. 1 и 2.

Удельный износ по объему W_v является более информативным в плане оценки стойкости штампа и прогнозирования изменения качества тиснения. Износ по массе W_m представляет интерес, как первичная измеряемая характеристика.



a



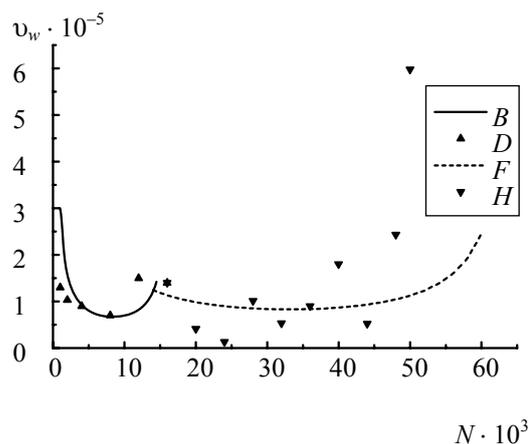
б

Рис. 1. Динамика удельного износа образцов материала:

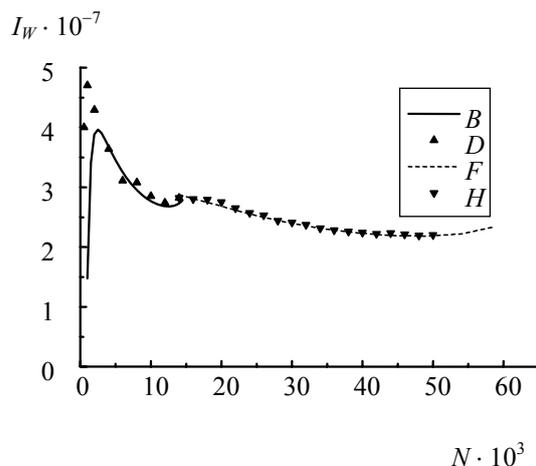
a – по массе; *б* – по объему; обозначения:
фаза 1: *B* – теоретическая функция;
D – данные эксперимента; *F* – асимптота;
фаза 2: *H* – теоретическая функция;
J – данные эксперимента; *L* – асимптота

Анализ экспериментальных данных с помощью предложенной в работе [5] кинетической функции показал, что процесс износа исследуемого полимерного материала для штампов включает 2 фазы. Переход ко второй фазе свидетельствует об определенном изменении материала износа. Поскольку первая фаза соответствует глубине износа 0,4 мм, то это поверхностная пленка. Вторая фаза связана с износом объема материала на предельную глубину 1,5 мм.

При пересчете степени износа по массе на степень износа по объему используются параметры, которые не зависят от количества циклов трения. Поэтому по сути дела происходит масштабирование зависимостей, но их характер не изменяется. Это видно в таблице по значениям параметра *A*. Об этом также свидетельствует рис. 1.



a



б

Рис. 2. Зависимость скорости (*a*) и интенсивности (*б*) износа образцов материала от количества циклов истирания; обозначения:
фаза 1: *B* – теоретическая функция;
D – данные эксперимента;
фаза 2: *F* – теоретическая функция;
H – данные эксперимента

Моделирование износа полимерного материала. На основе анализа физических процессов сопротивления форм износу и формирования их тиражестойкости в работе [5] построена кинетическая функция, описывающая динамику износа печатных форм на протяжении всего периода их эксплуатации.

В данной работе с помощью этой функции предлагается провести теоретическое исследование износа рассматриваемого полимерного материала-основы штампов для горячего тиснения.

Зависимость износа *W* от количества циклов истирания *N* описывается следующей функцией:

$$W(N) = \frac{1}{Ab_0} \ln \left[\frac{(A - N_0)N}{N_0(A - N)} \right]. \quad (1)$$

Значения параметров функции износа для образцов полимерного материала

| Вид износа | Фаза износа | Значения параметров | | | Значения критерия Фишера | |
|---------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------|-------|--------------------------|------------------|
| | | A , циклов | b_0 | N_0 | расчетные, F_p | табличные, F_T |
| По массе, удельный, г/см ² | Первая | $1,679 \cdot 10^4$ | $7,390 \cdot 10^{-3}$ | 845 | 1,047 | 3,440 |
| | Вторая | $6,618 \cdot 10^4$ | $5,721 \cdot 10^{-4}$ | 3950 | 1,009 | 2,190 |
| По объему, удельный, мм | Первая | $1,659 \cdot 10^4$ | $8,661 \cdot 10^{-4}$ | 845 | 1,013 | 3,440 |
| | Вторая | $6,543 \cdot 10^4$ | $6,529 \cdot 10^{-5}$ | 3950 | 1,015 | 2,190 |

При обработке экспериментальных данных параметры функции (1) – A , b_0 , N_0 – определялись с помощью метода наименьших квадратов. Результаты расчетов приведены в таблице.

Скорость износа v_w представляет собой производную от функции (1). Окончательное выражение для нее имеет следующий вид:

$$v_w(N) = \frac{N_0 S}{A b_0 N (A - N)} [(A - N) - (A - N_0) N]. \quad (2)$$

В (2) присутствует площадь износа S , так как удельный износ по массе W_m определяется путем деления потери массы Δm за определенное количество циклов N на S

$$W_m = \Delta m / S. \quad (3)$$

При проведении эксперимента измерение массы образца выполняется с определенным шагом по количеству циклов трения. Поэтому, при определении по экспериментальным данным, после проведения i -ого измерения потери массы, скорости износа, использовалась разностная формула для первой производной второго порядка точности по шагу

$$v_w(N_i) = \frac{\Delta m_{i+1} - \Delta m_{i-1}}{N_{i+1} - N_{i-1}}. \quad (4)$$

Скорость износа, как производная от (1), существенно зависит от стадии износа [5]. На первой стадии (начальный износ) скорость большая. По мере перехода ко второй стадии (установившийся износ) скорость падает, в некоторых случаях резко. При наступлении третьей стадии (усиленный износ) скорость опять возрастает.

Как видно на рис. 2, *a*, на каждой фазе износа эта закономерность сохраняется. В результате, при переходе от одной фазы к другой имеет место «всплеск» скорости.

В соответствии с определением [4] интенсивность износа I_w определяется как отношение износа к пути трения L . Если скорость износа является локальной характеристикой, то интенсивность характеризует интегральный износ после прохождения определенного пути трения.

В данной работе при обработке экспериментальных данных по интенсивности износа

использовался удельный износ по объему W_V [3], т. е. фактически износ материала штампов по высоте Δh :

$$W_V = \Delta m k / \rho S = k \Delta h, \quad (5)$$

где k – поправочный коэффициент, учитывающий износ стержня прибора ИМП-1, $k = 0,98$; ρ – плотность материала штампа.

Путь трения при этом определялся через количество циклов трения:

$$L = k l_p N, \quad (6)$$

где l_p – путь трения при выполнении одного цикла.

Таким образом, интенсивность износа окончательно определяется по следующей формуле:

$$I_w = W_V / k l_p N. \quad (7)$$

Как видно на рис. 2, *б*, на первой стадии интенсивность износа возрастает, но по мере замедления износа интенсивность начинает падать, поскольку путь износа растет быстрее. На третьей стадии интенсивность износа несколько возрастает. Рис. 2, *б* также свидетельствует о том, что значение интенсивности зависит от фазы износа.

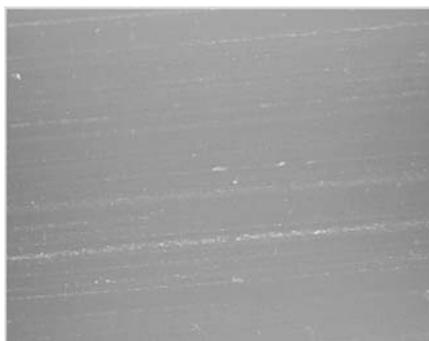
Асимптота A является характеристикой предельного значения износостойкости материала. Величина асимптоты зависит от структуры и качества материалов, используемых при изготовлении штампов. Задаваясь значением предельного допустимого износа, по формуле (1) можно определить количество циклов трения, которые будут характеризовать износостойкость материала.

Допустимый износ может быть определен и путем задания предельного количества циклов трения в виде доли от асимптоты k_c . Например, если рассматривать удельный износ по объему и принять $k_c = 0,97$, то получим значение предельного количества циклов трения равное $N_c = k_c A = 0,95 \cdot 65\,430 = 63\,467$. При этом допустимый удельный износ материала по объему в соответствии с (1) составит $W_V(N_c) = 1,456$ мм.

На рис. 3 и 4 приведены микрофотографии образцов полимерного материала до и после истирания полученные с увеличением соответственно $\times 80$ и $\times 160$.

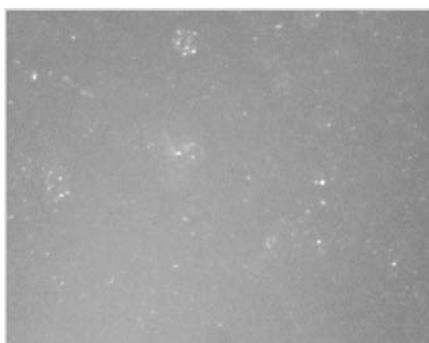


а



б

Рис. 3. Вид образцов материала при увеличении $\times 80$:
а – исходный; б – после износа



а



б

Рис. 4. Вид образцов материала при увеличении $\times 160$:
а – исходный; б – после износа

Сопоставляя внешний вид образцов на микрофотографиях до и после истирания, можно сделать вывод, что процесс износа происходит по механизму микрорезания поверхности материала абразивными частицами шлифовальной бумаги. Данный факт также является подтверждением того, что исследуемый полимер имеет твердость и жесткость, удовлетворяющую технологическим требованиям к штампам для горячего тиснения.

Заключение. Таким образом, в результате проведения исследования износа разработанного полимерного материала установлено, что он обладает требуемыми свойствами и может быть использован в качестве основы при изготовлении штампов для горячего тиснения. Построена статистическая модель износа материала. Адекватность модели подтверждена сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными.

Предложенная модель позволяет прогнозировать износостойкость штампов при проведении процесса горячего тиснения. Результаты моделирования могут быть использованы в дальнейшем при исследовании других формных материалов и штампов для тиснения.

Литература

1. Спосіб виготовлення штампів для тиснення лазерним гравіюванням та полімерна композиція для його реалізації: пат. 92087 Україна, МПК (2009) В23К 26/00, В32В 27/38, В41С 1/00 / В. З. Маїк, Б. А. Зайцев, І. Д. Швабська, Л. Г. Слєпцова, Г. Храмова. – № 92087; заявл. 29.12.08; опубл. 27.09.10 // Бюл. № 18. – 2010.

2. Контрольно-измерительные приборы для полиграфической промышленности: каталог-справочник / Гос. комитет Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли; Всесоюзная книжная палата; ЦБНТИ по печати. – М.: Книга, 1976. – 44 с.

3. Маїк, В. З. Вплив матеріалу штампів на кількості циклів тиснення на об'ємне зношування, питома зношування по масі, градієнт швидкості зношування, інтенсивність стирання / В. З. Маїк, М. Іванчишин // Комп'ютерні технології друкарства. – 2008. – № 21. – С. 241–246.

4. Обеспечение износостойкости изделий. Триботехнические требования и показатели. Принципы обеспечения. Общие положения: ГОСТ 30858–2003. – Введ. 01.01.06. – М.: Стандартинформ, 2005. – 15 с.

5. Кулак, М. И. Прогнозирование тиражестойкости печатных форм / М. И. Кулак, О. В. Сидельник // Труды БГТУ. – 2012. – № 9: Издат. дело и полиграфия. – С. 18–22.

Поступила 26.03.2013